

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANTONIO EDUARDO KLOC

OPORTUNIDADES TECNOLÓGICAS A PARTIR DA INDÚSTRIA 4.0: UM ESTUDO
SOBRE AS POTENCIALIDADES E CAPACIDADES NO SISTEMA SETORIAL DE
INOVAÇÃO EM CELULOSE E PAPEL

CURITIBA

2022

ANTONIO EDUARDO KLOC

OPORTUNIDADES TECNOLÓGICAS A PARTIR DA INDÚSTRIA 4.0: UM ESTUDO
SOBRE AS POTENCIALIDADES E CAPACIDADES NO SISTEMA SETORIAL DE
INOVAÇÃO EM CELULOSE E PAPEL

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Políticas Públicas.

Orientador: Prof. Dr. Walter Tadahiro Shima

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS

Kloc, Antonio Eduardo

Oportunidades tecnológicas a partir da indústria 4.0 : um estudo sobre as potencialidades e capacidades no sistema setorial de inovação em celulose e papel / Antonio Eduardo Kloc. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas.

Orientador: Prof. Dr. Walter Tadahiro Shima.

1. Sistema de inovação. 2. Política industrial. 3. Indústria de celulose. 4. Indústria 4.0. I. Shima, Walter Tadahiro. II. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas. III. Título.

Bibliotecária: Maria Lidiane Herculano Graciosa CRB-9/2008



ATA DE SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DE DOUTORADO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM POLÍTICAS PÚBLICAS

No dia oito de julho de dois mil e vinte e dois às 14.00 horas, na sala Sala de reuniões do Dep. de Economia, Lothario Meissner 632 - Curitiba - PR, foram instaladas as atividades pertinentes ao rito de defesa de tese do doutorando **ANTONIO EDUARDO KLOC**, intitulada: "**Política Industrial e o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil: um estudo sobre as potencialidades e capacidades das novas tecnologias no setor de celulose e papel**", sob orientação do Prof. Dr. WALTER TADAIRO SHIMA. A Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação POLÍTICAS PÚBLICAS da Universidade Federal do Paraná, foi constituída pelos seguintes Membros: WALTER TADAIRO SHIMA (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ), JANAÍNA RUFFONI TREZ (UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS), HERMES YUKIO HIGACHI (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA), EDUARDO LIQUIO TAKAO (INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PARANÁ -IFPR). A presidência iniciou os ritos definidos pelo Colegiado do Programa e, após exarados os pareceres dos membros do comitê examinador e da respectiva contra argumentação, ocorreu a leitura do parecer final da banca examinadora, que decidiu pela **APROVAÇÃO**. Este resultado deverá ser homologado pelo Colegiado do programa, mediante o atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca dentro dos prazos regimentais definidos pelo programa. A outorga de título de doutor está condicionada ao atendimento de todos os requisitos e prazos determinados no regimento do Programa de Pós-Graduação. Nada mais havendo a tratar a presidência deu por encerrada a sessão, da qual eu, WALTER TADAIRO SHIMA, lavrei a presente ata, que vai assinada por mim e pelos demais membros da Comissão Examinadora. Observações: A banca sugeriu a alteração do título para: Oportunidades tecnológicas a partir da Indústria 4.0: um estudo sobre as potencialidades e capacidades no sistema setorial de inovação em celulose e papel. Ademais de alterar o título da tese, o discente deverá proceder às demais alterações sugeridas pela banca que devem ser conferidas pelo orientador.

CURITIBA, 08 de Julho de 2022.

Assinatura Eletrônica
26/07/2022 15:43:07.0
WALTER TADAIRO SHIMA
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
27/07/2022 13:45:49.0
JANAÍNA RUFFONI TREZ
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS)

Assinatura Eletrônica
26/07/2022 15:59:40.0
HERMES YUKIO HIGACHI
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA)

Assinatura Eletrônica
26/07/2022 15:48:44.0
EDUARDO LIQUIO TAKAO
Avaliador Externo (INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO PARANÁ -IFPR)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO POLÍTICAS PÚBLICAS -
40001016076P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação POLÍTICAS PÚBLICAS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **ANTONIO EDUARDO KLOC** intitulada: "**Política Industrial e o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil: um estudo sobre as potencialidades e capacidades das novas tecnologias no setor de celulose e papel**", sob orientação do Prof. Dr. WALTER TADAIRO SHIMA, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 08 de Julho de 2022.

Assinatura Eletrônica
26/07/2022 15:43:07.0
WALTER TADAIRO SHIMA
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
27/07/2022 13:45:49.0
JANAÍNA RUFFONI TREZ
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS)

Assinatura Eletrônica
26/07/2022 15:59:40.0
HERMES YUKIO HIGACHI
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA)

Assinatura Eletrônica
26/07/2022 15:48:44.0
EDUARDO LIQUIO TAKAO
Avaliador Externo (INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO PARANÁ -IFPR)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela sabedoria e resiliência necessárias em todos os momentos desta importante etapa. Agradeço aos meus pais Terezinha e Rosalvo por todo amor e carinho dedicados à minha vida e por acreditarem nos meus sonhos. O agradecimento especial é para minha esposa Pyêrlla por todos os anos de luta, trabalho e amor compartilhados. Agradeço pela criteriosa e competente correção ortográfica da tese. Obrigado, minha amada esposa e professora Pyêrlla. À minha filha Amábille, minha companheira de pesquisa e doutorado que desenvolve seu trabalho como pesquisadora em outro país e compartilha comigo o grande amor pela ciência e pela academia. À minha filha Camilla, que também é educadora e alegra nossas vidas com a linda Maria Vitória.

Dedico meu especial agradecimento ao professor Walter Tadahiro “Shogun” Shima, amigo e mentor intelectual, que compartilhou todo o seu conhecimento e mudou a forma com que compreendo a área de ciências sociais aplicadas. Além disso, tornou-se uma referência como amigo, docente e colega de profissão. Quero agradecer, também, aos professores do Programa de Pós-graduação em Políticas Públicas. Obrigado por todo o conhecimento compartilhado. Agradeço aos professores Janaína Ruffoni, Hermes Yukio Higachi e Eduardo Takao pela dedicação na análise e contribuição científica na Tese.

Aos meus amigos e amigas de doutorado, grandes pesquisadoras e pesquisadores que atuam na luta em defesa da ciência e da educação. Em especial, Marcelo Lopes, Marcelo Vargas, Mara, Andressa, Hellen, Nicole e Emanuel. Agradeço aos colegas do Instituto Federal do Paraná, em especial aos colegas do Campus Telêmaco Borba e Campus Colombo, meus colegas de jornada em busca de uma educação pública digna e de qualidade.

Agradeço, também, a participação dos colaboradores e representantes institucionais que nos receberam no trabalho de campo e dedicaram tempo para a realização da pesquisa.

A educação é um ato de amor, por isso, um ato de coragem. Não pode temer o debate. A análise da realidade. Não pode fugir à discussão criadora, sob pena de ser uma farsa.

Paulo Freire

RESUMO

A análise de oportunidades tecnológicas em setores específicos da indústria nacional, onde o Brasil tem competitividade global, reflete uma importante estratégia de política pública. Esta tese busca analisar a dinâmica tecnológica de um player setorial de celulose e papel e como essa dinâmica impulsiona processos setoriais inovadores relacionados às tecnologias da Indústria 4.0. Portanto, a teoria dos sistemas de inovação apresenta elementos que organizam a integração entre instituições e atores, bem como a direção da política industrial. Para analisar esses elementos, utilizou-se a metodologia de análise de conteúdo, em quatro fases: i) Organização dos procedimentos para coleta de dados; ii) Trabalho de campo e entrevistas com gestores, equipe técnica, fornecedores e órgão representativo do setor; iii) Sistematização e estruturação dos dados recolhidos e iv) Tratamento dos dados. A partir dos dados coletados, foi possível identificar os desafios e lacunas tecnológicas do setor de celulose e papel. Esses desafios estão focados na incorporação de novas tecnologias no chão de fábrica, devido à necessidade de atualização de máquinas e equipamentos que operam há mais de 50 anos. As tecnologias identificadas como núcleo para atualização são: sensoriamento remoto (IoT), computação em nuvem, inteligência artificial e realidade mista. Considerando o grau de maturidade da firma e do sistema de inovação setorial, é possível afirmar que a firma alcançou importantes habilidades e capacidades digitais relacionadas à inovação incremental. No entanto, a firma depende fortemente de players internacionais que são fornecedores de máquinas e equipamentos pesados. O acesso a fontes de investimento, parcerias para o desenvolvimento de tecnologias e uma estrutura fortalecida de P&D, representam vantagens competitivas da firma. Por fim, os determinantes do processo de inovação são descritos como a soma dos fatores concernentes à construção da base de conhecimento endógeno, a partir da relação entre oportunidades e recursos disponíveis, bem como o grau de conhecimento acumulado de experiências anteriores. Além disso, é importante destacar que o estabelecimento de parcerias para novos produtos, soluções e transmissão de conhecimento fortalece o desenvolvimento de novas TICS na firma. Em geral, isso oferece oportunidades para o desenvolvimento de novas tecnologias, onde ainda não há players incumbentes e o *lock-in* não foi estabelecido. O atual cenário de inovação e desenvolvimento tecnológico relacionado à Indústria 4.0 pode apontar para uma nova corrida tecnológica, onde o direcionamento e o fortalecimento da política industrial podem fortalecer uma indústria nacional de base tecnológica.

Palavras-chave: Sistemas de Inovação. Política Industrial. Indústria de Celulose e Papel. Indústria 4.0

ABSTRACT

The analysis of technological opportunities in specific sectors of the national industry, where Brazil has global competitiveness, reflects an important public policy strategy. This thesis seeks to analyse the technological dynamics of a pulp and paper sectoral player and how this dynamic boosts innovative sectoral processes related to Industry 4.0 technologies. Therefore, the theory of innovation systems presents elements that organize the integration between institutions and actors, as well as the direction of industrial policy. The content-analysis methodology was used to examine these elements, and this study was divided into four phases: i) Procedures organization for data collection; ii) Fieldwork and interviews with managers, technical team, suppliers and a representative body for the sector; iii) Systematization and organization of the collected data and iv) Data processing. From the data collected, it was possible to identify the firm and pulp and paper sector challenges and technological gaps. These challenges are focused on the implementation of new technologies on the factory floor, due to the growing need for upgraded machines and equipment that have been operating for more than 50 years. Technologies identified as being the core for an updating process are remote sensing (IoT), cloud computing, artificial intelligence, and mixed reality. As regards the firm and sectoral innovation system maturity degree it is possible to state that it has reached important digital skills and capabilities related to incremental innovation. However, the firm depends heavily on international players that are the suppliers of heavy machines and equipment. The access to investment sources, partnerships for the development of technologies and a strengthened structure for R&D, represent the firm's competitive advantages. Finally, the determinants of the innovation process are described as the sum of factors that make the construction of the endogenous knowledge base possible, regarding the relation between opportunities and available resources, as well as the degree of accumulated knowledge from previous experiences. In addition, it is important to highlight that the establishment of partnerships for new products, solutions and knowledge transmission strengthens the development of new ICTs in the firm. In general, this provides opportunities to evolve new technologies, where there are still no incumbent players and lock-in has not been established. The current innovation and technological development scenario related to Industry 4.0 may presumably foster a new technological race, in which the direction and strengthening of industrial policy can also strengthen a national technology-based industry.

Keywords: Innovation Systems. Industrial Policy. Pulp and Paper Industry. Industry 4.0

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – SPIN-OFFS ORIGINADAS DA FAIRCHILD SEMICONDUTOR	55
FIGURA 2 – ORIGEM DOS PRODUTOS POPULARES DA APPLE.....	77
FIGURA 3 – AÇÕES DO PLANO TI MAIOR.....	99
FIGURA 4 – REVOLUÇÕES DAS GERAÇÕES DA INDÚSTRIA	145
FIGURA 5 – TECNOLOGIAS NA INDÚSTRIA 4.0.....	147
FIGURA 6 – CAPTURA DE TRÁFEGO DE REDE ETHERNET POR SOFTWARE WIRESHARK	150
FIGURA 7 – SÍNTESE DAS ETAPAS NA LINHA DE PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL.....	158
FIGURA 8 – VISÃO GERAL DO CHÃO DE FÁBRICA: MÁQUINA PARA PRODUÇÃO DE PAPEL-CARTÃO.....	159
FIGURA 9 – ETAPAS DA MÁQUINA NA PRODUÇÃO DE PAPEL	160
FIGURA 10 – CAIXA DE ENTRADA DA MÁQUINA DE PAPEL-CARTÃO.....	161
FIGURA 11 – ESTEIRA MÓVEL NO PROCESSO DE FORMAÇÃO DO PAPEL- CARTÃO	162
FIGURA 12 – ESTRUTURA DE PRENSAGEM EM UM MODELO DE MÁQUINA PARA FABRICAÇÃO DE PAPEL.....	163
FIGURA 13 – MÁQUINA DE FABRICAÇÃO DE PAPEL-CARTÃO: ETAPA DE PRENSAGEM	163
FIGURA 14 – MÁQUINA DE FABRICAÇÃO DE PAPEL-CARTÃO: ETAPA DE SECAGEM	164
FIGURA 15 – VARIÁVEIS E EFEITOS NA ETAPA DE CALANDRAGEM	165
FIGURA 16 – MÁQUINA DE FABRICAÇÃO DE PAPEL-CARTÃO: MODELO DE CALANDRA.....	165
FIGURA 17 – MODELO DE ENROLADEIRA.....	166
FIGURA 18 – MÁQUINA DE FABRICAÇÃO DE PAPEL-CARTÃO: ENROLADEIRA	166
FIGURA 19 – ETAPAS PARA A INCORPORAÇÃO DE SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS	173

FIGURA 20 – ORGANIZAÇÃO DAS ETAPAS INICIAIS PARA NOVAS TICS.....	174
FIGURA 21 – VISÃO GERAL DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO DE PAPEL- CARTÃO.....	185
FIGURA 22 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO EQUIPAMENTO MANCAL DE ROLAMENTO	186
FIGURA 23 – EXEMPLO DO SENSOR DESENVOLVIDO PARA CONTROLE DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO	187
FIGURA 24 – SENSOR DE MONITORAMENTO DE MANCAL.....	188
FIGURA 25 – VISÃO GERAL DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO DE PAPEL-CARTÃO: ETAPA DE PRENSAGEM.....	190
FIGURA 26 – MÁQUINA PARA DETECÇÃO DE TRINCAS POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	191
FIGURA 27 – PROCEDIMENTO TÉCNICO DE ULTRASSONOGRRAFIA INDUSTRIAL	192
FIGURA 28 – EXEMPLO DE UM SISTEMA DE <i>SETUP</i> AUTOMATIZADO.....	195
FIGURA 29 – CAPTURA E TRANSMISSÃO DE DADOS NA LINHA DE PRODUÇÃO DA FIRMA BR.....	198

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – TRAJETÓRIA DAS POLÍTICAS INDUSTRIAIS QUE IMPACTARAM O SETOR DE CELULOSE E PAPEL	110
GRÁFICO 2 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL NO BRASIL ENTRE 1950 E 2018.....	111
GRÁFICO 3 – PRINCIPAIS PRODUTORES MUNDIAIS DE CELULOSE ENTRE 2000 E 2018	119
GRÁFICO 4 – PRINCIPAIS PAÍSES EXPORTADORES DE CELULOSE NO MUNDO	120
GRÁFICO 5 – TAXA DE CRESCIMENTO MÉDIO DA PRODUÇÃO GLOBAL.....	122
GRÁFICO 6 – PRINCIPAIS PRODUTORES E EXPORTADORES GLOBAIS DE PAPEL IMPRENSA – MÉDIAS ENTRE 2000 E 2018.....	123
GRÁFICO 7 – PRINCIPAIS PRODUTORES E EXPORTADORES GLOBAIS DE PAPEL IMPRENSA – MÉDIAS ENTRE 2000 E 2018.....	123
GRÁFICO 8 – PRINCIPAIS PRODUTORES E EXPORTADORES GLOBAIS DE PAPÉIS PARA IMPRIMIR E ESCREVER – MÉDIAS ENTRE 2000 E 2018.....	123
GRÁFICO 9 – PRINCIPAIS PRODUTORES E EXPORTADORES GLOBAIS DE PAPÉIS PARA IMPRIMIR E ESCREVER – MÉDIAS ENTRE 2000 E 2018.....	123
GRÁFICO 10 – PRINCIPAIS PRODUTORES E EXPORTADORES GLOBAIS DE PAPEL PARA EMBALAGENS – MÉDIAS ENTRE 2000 E 2018...	124
GRÁFICO 11 – PRINCIPAIS PRODUTORES E EXPORTADORES GLOBAIS DE PAPEL PARA EMBALAGENS – MÉDIAS ENTRE 2000 E 2018...	124
GRÁFICO 12 – PRINCIPAIS PRODUTORES E EXPORTADORES GLOBAIS DE PAPEL-CARTÃO – MÉDIAS ENTRE 2000 E 2018	124
GRÁFICO 13 – PRINCIPAIS PRODUTORES E EXPORTADORES GLOBAIS DE PAPEL-CARTÃO – MÉDIAS ENTRE 2000 E 2018	124
GRÁFICO 14 – PRINCIPAIS PRODUTORES E EXPORTADORES GLOBAIS DE PAPÉIS PARA FINS SANITÁRIOS (<i>TISSUE</i>) – MÉDIAS ENTRE 2000 E 2018.....	125

GRÁFICO 15 – PRINCIPAIS PRODUTORES E EXPORTADORES GLOBAIS DE PAPÉIS PARA FINS SANITÁRIOS (<i>TISSUE</i>) – MÉDIAS ENTRE 2000 E 2018.....	125
GRÁFICO 16 – TOTAL DE ESTABELECEMENTOS NO SETOR DE CELULOSE E PAPEL ENTRE 2010 E 2019	131
GRÁFICO 17 – TOTAL DE EMPREGOS NO SETOR DE CELULOSE E PAPEL ENTRE 2010 E 2019.....	132
GRÁFICO 18 – EVOLUÇÃO DA BALANÇA COMERCIAL DO SETOR DE CELULOSE ENTRE 2010 E 2018.....	134
GRÁFICO 19 – PRINCIPAIS DESTINOS DA CELULOSE BRASILEIRA – MÉDIA DOS ÚLTIMOS 10 ANOS	135
GRÁFICO 20 - BALANÇA COMERCIAL DO SETOR DE PAPEL ENTRE 2010 E 2018	136
GRÁFICO 21 – DIRECIONAMENTO DOS INVESTIMENTOS EM FLORESTAS ENTRE 2013 E 2019.....	137
GRÁFICO 22 – DIRECIONAMENTO DOS INVESTIMENTOS EM UNIDADES INDUSTRIAIS ENTRE 2013 E 2019.....	138
GRÁFICO 23 – INVESTIMENTOS EM P&D ENTRE 2013 E 2019.....	139
GRÁFICO 24 – AS DIFERENTES FORMAS DE MANUTENÇÃO PARA A DETECÇÃO DE FALHAS EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	181
GRÁFICO 25 – MONITORAMENTO CONTÍNUO DE VIBRAÇÃO PARA DETECÇÃO DE ANOMALIAS	189
GRÁFICO 26 – RECONFIGURAÇÃO AUTOMÁTICA DE <i>SETUP</i>	194
GRÁFICO 27 – COMPARAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS WIRELESS	199
GRÁFICO 28 – NÍVEIS DE DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA 4.0	203
GRÁFICO 29 – DETERMINANTES DO PROCESSO DE INOVAÇÃO	215

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – ENTREVISTADOS E FUNÇÕES EXERCIDAS NA ÁREA	32
QUADRO 2 – MODELO ANALÍTICO DA PESQUISA DE CAMPO	36
QUADRO 3 – ELEMENTOS ESTRUTURAIS DAS REDES DE FIRMAS	44
QUADRO 4 – ESTRATÉGIAS TECNOLÓGICAS BÁSICAS.....	67
QUADRO 5 – ESTRATÉGIAS PARA A INDÚSTRIA 4.0 NO JAPÃO	85
QUADRO 6 – AÇÕES ORIENTADAS PELA REDE CATAPULTA NO REINO UNIDO	86
QUADRO 7 – AÇÕES PARA A AGENDA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA 4.0.....	103
QUADRO 8 – CADEIA PRODUTIVA DO SETOR DE CELULOSE E PAPEL	127
QUADRO 9 – DELIMITAÇÃO DO SETOR DE CELULOSE E PAPEL	130
QUADRO 10 – TICS QUE NECESSITAM DE UPGRADES NA FIRMA BR.....	184
QUADRO 11 – MODELO ACATECH PARA ANÁLISE DOS NÍVEIS DE MATURIDADE DA FIRMA.....	204

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: VISÃO GERAL DAS TECNOLOGIAS LPWAN: SIGFOX, LORAWAN E NB-IOT	201
--	-----

LISTA DE SIGLAS

3GPP	- <i>3rd Generation Partnership Project</i>
ABDI	- Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABINC	- Associação Brasileira de Internet das Coisas
ABTCP	- Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel
ACATECH	- <i>Academy and Technology</i>
AES	- <i>Advanced Encryption Standard</i>
AI	- <i>Artificial Intelligence</i>
AIF	- <i>Alliance Industrie du Futur</i>
ANPD	- Autoridade Nacional de Proteção de Dados
APC	- <i>Advanced Process Control</i>
APEX	- Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos
BI	- <i>Business Intelligence</i>
BLE	- <i>Bluetooth Low Energy</i>
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BPSK	- <i>Binary Phase-shift Keying</i>
BRACELPA	- Associação Brasileira de Celulose e Papel
BSKP	- <i>Bleached Softwood Kraft Pulp</i>
CAPRE	- Comissão de Coordenação de Processamento Eletrônico
CCPA	- <i>California Consumer Privacy Act</i>
CEITEC	- Centro Nacional de Tecnologia Eletrônica Avançada
CerTICS	- Certificação de Tecnologia Nacional de Software e Serviços
CMD	- <i>Cross Machine Direction</i>
CNAE	- Código Nacional de Atividades Econômicas
CNI	- Confederação Nacional da Indústria
CNPF	- Centro Nacional de Pesquisa de Florestas
COMEX	- Comércio Exterior
CPS	- <i>Cyber-physical Systems</i>
CSS	- <i>Chirp Spread Spectrum</i>
CT&I	- Ciência, Tecnologia e Inovação
D2D	- <i>Device to Device</i>
DARPA	- <i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>
DoD	- <i>Department of Defense</i>

DoE	- <i>Department of Energy</i>
ECF	- <i>Elementary Chlorine Free</i>
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMBRAPII	- Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
ENCTI	- Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação
EPT	- Educação Profissional e Tecnológica
FAO	- <i>Food and Agriculture Organization</i>
FAPESP	- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FDT	- <i>Field Devices and Technology</i>
FIEP	- Federação das Indústrias do Estado do Paraná
FIESP	- Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FINEP	- Financiadora de Estudos e Projetos
FRM	- Fábrica de Rolamentos e Mancais
FSF	- <i>Free Software Foundation</i>
FSK	- <i>Frequency-shift keying</i>
GDPR	- <i>General Data Protection Regulation</i>
GPU	- <i>General Public License</i>
GRPEU	- <i>Good Regulatory Practices European</i>
GSK	- <i>Glaxo Smith Kline</i>
IBÁ	- Indústria Brasileira de Árvores
IBDF	- Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEDI	- Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial
IEEE	- <i>Electronic and Electrical Engineers</i>
IEL/NC	- Instituto Euvaldo Lodi/Núcleo Central
IIM 3.0	- <i>Industry Innovation Movement 3.0</i>
IMF	- <i>International Monetary Fund</i>
INCTs	- Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia
IoT	- <i>Internet of Things</i>
IPEA	- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IpqM	- Instituto de Pesquisa da Marinha
IP	- <i>Internet Protocol</i>
IPT	- Instituto de Pesquisa Tecnológica
ISM	- <i>Industrial Scientific and Medical</i>

ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
ITEC	- <i>Innovative Energy Technology Center</i>
KARI	- <i>Korea Aerospace Research Institute</i>
KITECH	- <i>Korea Institute of Industrial Technology</i>
LGPD	- <i>Lei Geral de Proteção de Dados</i>
LGPL	- <i>Lesser General Public License</i>
LoRA	- <i>Long Range</i>
LoWPAN	- <i>Low power Wireless Personal Area Networks</i>
LPWAN	- <i>Low Power Area Network</i>
LTE	- <i>Long Term Evolution</i>
MCTIC	- <i>Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações</i>
MDIC	- <i>Ministério do Desenvolvimento e Comércio Exterior</i>
ME	- <i>Ministério da Economia</i>
MEITY	- <i>Ministry of Electronics and Information Technology</i>
METI	- <i>Ministry of Economy, Trade and Industry</i>
MIC25	- <i>Made in China 2025</i>
MIT	- <i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MITI	- <i>Ministério da Indústria e Comércio Exterior</i>
MRO	- <i>Maintenance, Repair and Overhaul</i>
MTTR	- <i>Mean Time to Repair</i>
NB-IoT	- <i>Narrow Band – Internet of Things</i>
NDT	- <i>Non Destructive Testing</i>
NIH	- <i>National Institutes of Health</i>
NIST	- <i>National Institute of Standards and Technology</i>
NSF	- <i>National Science Foundation</i>
OCDE	- <i>Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico</i>
OWL	- <i>OstWestfalen Lippe</i>
P&D	- <i>Pesquisa e Desenvolvimento</i>
PAC	- <i>Programa de Aceleração do Crescimento</i>
PACTI	- <i>Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação</i>
PBM	- <i>Plano Brasil Maior</i>
PDD	- <i>Plano Diretor de Digitalização</i>
PDP	- <i>Política de Desenvolvimento Produtivo</i>
PIB	- <i>Produto Interno Bruto</i>

PINTEC	- Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica
PITCE	- Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior
PL	- Projeto de Lei
PMEs	- Pequenas e Médias Empresas
PIM	- Polo Industrial de Manaus
PND	- Plano Nacional de Desenvolvimento
PNI	- Política Nacional de Informática
PwC	- <i>Price Waterhouse Coopers</i>
QPSK	- <i>Quadrature phase shift keying</i>
RFID	- <i>Radio Frequency Identification</i>
RGE	- <i>Royal Golden Eagle</i>
RMF	- <i>Risk Management Framework</i>
RRI	- <i>Robot Revolution Initiative</i>
RRS	- <i>Robotic Revolution Initiative</i>
RSSF	- Rede de Sensores sem Fio
RT	- Regime Tecnológico
SAP	- <i>System Applications and Products in Data Processing</i>
SAPPHO	- <i>Scientific Activity Predictor from Patterns with Heuristic Origins</i>
SERPRO	- Serviço Federal de Processamento de Dados
SI	- Sistema de Inovação
SIMED	- <i>Single-Minute Exchange of Die</i>
SLI	- Sistema Local de Inovação
SNI	- Sistema Nacional de Inovação
SPC	- Systems process control
SRI	- Sistema Regional de Inovação
SSI	- Sistema Setorial de Inovação
STD	- <i>Standard</i>
TCF	- <i>Totally Chlorine Free</i>
TCP/IP	- <i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
TI	- Tecnologia da Informação
TIC	- Tecnologia de Informação e Comunicação
YIS	- <i>Yale Innovation Survey</i>
ZED	- <i>Zero Defect Zero Effect</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	24
1.1	MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
1.2	METODOLOGIA.....	30
2	A INSTITUCIONALIZAÇÃO DA ATIVIDADE INOVADORA E O CONCEITO SOBRE OS SISTEMAS DE INOVAÇÃO NO ATUAL CENÁRIO PRODUTIVO.....	37
2.1	INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA ÓTICA NEOSCHUMPETERIANA.....	37
2.2	CARACTERÍSTICAS E ESTRUTURAS DAS REDES DE FIRMAS.....	41
2.2.1	Elementos estruturais das redes de firmas.....	44
2.3	OS SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO (SNIS)	46
2.3.1	A organização dos SNIS: os exemplos da Inglaterra e dos EUA.....	49
2.4	AS DIFERENTES DIMENSÕES DOS SISTEMAS DE INOVAÇÃO	52
2.4.1	O conceito de Sistemas Regionais de Inovação (SRIS)	52
2.4.1.1	Exemplos de formação dos SRIS.....	51
2.4.2	As principais características dos Sistemas Locais de Inovação (SLIS)	57
2.4.3	As especificidades dos Sistemas Setoriais de Inovação (SSIS)	61
2.4.4	Os regimes tecnológicos e a organização do processo de aprendizado na firma.....	63
2.5	A RELAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE INOVAÇÃO E AS NOVAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0.....	69
3	O PAPEL DO ESTADO NA CONFORMAÇÃO DO PROCESSO INOVATIVO	72
3.1	AS POLÍTICAS PÚBLICAS COMO INSTRUMENTOS DE FOMENTO À INOVAÇÃO.....	72
3.1.1	Estratégias para o direcionamento de políticas públicas.....	74
3.2	EXPERIÊNCIAS DE POLÍTICAS INDUSTRIAIS: O CASE DA APPLE	76
3.3	EXEMPLOS DE AÇÕES ORIENTADAS PELO ESTADO EM DIFERENTES PAÍSES.....	79
3.3.1	O Plano Made in China (MIC ²⁵).....	79
3.3.2	As estratégias para fomento da inovação na Coreia do Sul.....	80
3.3.3	A estratégia Indústria do Futuro na França.....	83

3.3.4	Iniciativa Revolução Robótica – RRI (2015) e o Plano Indústrias Conectadas de 2017 no Japão	84
3.3.5	O projeto Catapulta do Reino Unido.....	86
3.3.6	A Política Nacional de Eletrônicos na Índia	88
3.4	AS ESTRATÉGIAS NACIONAIS PARA O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA	90
3.4.1	Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior - PITCE (2004 -2007)	91
3.4.2	Política de Desenvolvimento Produtivo - PDP (2008-2010)	94
3.4.3	Plano Brasil Maior - PBM (2010-2014)	97
3.4.4	O atual cenário das ações para inovação: o Plano de Ação para a Internet das Coisas (IoT - <i>Internet of Things</i>)	101
3.4.5	A Agenda Brasileira para Indústria 4.0	103
3.5	O PAPEL DO ESTADO NA CONFORMAÇÃO DAS POLÍTICAS SETORIAIS: A TRAJETÓRIA DA INDÚSTRIA NACIONAL DE CELULOSE	108
3.5.1	A trajetória de desenvolvimento do setor de celulose e papel.....	109
3.5.1.1	Os avanços das capacidades tecnológicas na indústria de celulose.....	114
4	ANÁLISE SETORIAL DA INOVAÇÃO: O CONTEXTO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL	118
4.1	O CENÁRIO GLOBAL DO SETOR DE CELULOSE E PAPEL	118
4.1.1	Características gerais do segmento de celulose.....	119
4.1.2	Panorama geral do segmento de papel.....	121
4.2	CARACTERÍSTICAS DA CADEIA PRODUTIVA DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL	126
4.3	ASPECTOS GERAIS DO ATUAL CENÁRIO DA INDÚSTRIA NACIONAL	129
4.3.1	O impacto da indústria de celulose e papel na economia nacional.....	133
5	AS TECNOLOGIAS EMERGENTES E AS POSSIBILIDADES DE PRODUÇÃO TECNOLÓGICA PARA ATENDER A DEMANDA SETORIAL DA INDÚSTRIA NACIONAL	141
5.1	CONCEITOS E ORIGEM DA INDÚSTRIA 4.0	141
5.2	A TRAJETÓRIA DE DESENVOLVIMENTO DAS NOVAS TICS	143

5.2.1	SEGURANÇA CIBERNÉTICA NA INDÚSTRIA 4.0.....	149
5.3	O AVANÇO DAS NOVAS TICS NO SETOR DE CELULOSE E PAPEL.....	152
5.3.1	A inserção das novas TICS nas principais firmas do setor de celulose e papel	155
5.3.1.1	As etapas na produção de papel-cartão	157
5.3.1.1.1	As seções de formação, secagem, calandragem e enrolamento	160
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	168
6.1	OS DESAFIOS PARA PREENCHER OS GAPS TECNOLÓGICOS DA FIRMA	168
6.1.1	As estratégias para o desenvolvimento tecnológico na Firma BR	170
6.1.2	As ações internas da firma para a inovação	173
6.1.3	A construção das redes de inovação	175
6.1.3.1	As chamadas abertas para fornecedores de TICS	175
6.1.3.2	As parcerias com universidades e centros de pesquisa.....	176
6.1.3.3	As parcerias com o Estado e o desenvolvimento de tecnologias com características disruptivas.....	178
6.2	TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0: AS PRINCIPAIS TICS INCORPORADAS NA FIRMA BR E AS POSSIBILIDADES DE MELHORIAS NO CHÃO DE FÁBRICA	180
6.2.1	As tecnologias de antecipação à falhas e interrupções na linha de produção	180
6.2.2	As principais demandas e as tecnologias implementadas nas etapas de produção na Firma BR	183
6.2.2.1	Análise de vibração	184
6.2.2.2	Análise de trincas por partículas magnéticas e medição de espessuras	190
6.2.2.3	Setups automatizados	194
6.2.2.4	Computação em nuvem e inteligência artificial	196
6.2.3	Possibilidades de incorporação de novas TICS identificadas na linha de produção	197
6.3	DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E O GRAU DE MATURIDADE DA FIRMA.....	203
6.3.1	Os processos iniciais de digitalização: informatização e conectividade	205
6.3.2	A visibilidade como etapa inicial de incorporação da Indústria 4.0	206

6.3.3	O aprimoramento da produção de conhecimento com base nos dados coletados.....	208
6.3.4	A Capacidade Preditiva da Firma BR	209
6.3.5	Os níveis de Adaptabilidade da Firma	210
6.3.6	Grau de Maturidade do Sistema Setorial de inovação da indústria do papel	211
6.4	OS DETERMINANTES DO PROCESSO DE GERAÇÃO, DIFUSÃO E RETARDAMENTO DA INOVAÇÃO.....	214
6.4.1	As políticas públicas como ferramentas de articulação e organização do desenvolvimento tecnológico e setorial.....	218
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	221
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	226
	APÊNDICE A – ROTEIRO DA ENTREVISTAS	253
	APÊNDICE B – FLUXOGRAMA COM AS PRINCIPAIS ETAPAS DA PESQUISA	262

1 INTRODUÇÃO

As mudanças tecnológicas recentes, que ocorreram a partir das décadas de 1980 e 1990, impactaram a forma de organização na sociedade e conduziram uma nova estrutura produtiva global. Essas mudanças avançaram com a incorporação de produtos e serviços nas relações de consumo e impulsionaram a formação de redes para o desenvolvimento de novas Tecnologias de Informação e Comunicação (TICS) (SCHWAB, 2016; SÁTYRO, *et al.*, 2018; REISCHAUER, 2018). Neste contexto, a formação de Sistemas de Inovação (SI), integrando instituições e atores, resultaram em diferentes formas de competitividade e estruturas de mercado (FREEMAN, 1987; DOSI *et al.*, 1988; LUNDVALL, 1992, 1993; EDQUIST, 1996). Diante disso, é possível afirmar que o desenvolvimento econômico pode ser direcionado por diferentes fatores, entre eles, as novas combinações para a produção e difusão de conhecimento técnico (NELSON, 2005; ROSEMBERG, 2006). Busca-se, assim, identificar possibilidades para conduzir esses conhecimentos e inovações por meio de ações efetivas, com foco na composição de políticas públicas para o desenvolvimento industrial.

O conceito referente à Indústria 4.0, abordado nesta tese, apresenta as novas tecnologias como ferramentas que permitem a remodelagem e integração dos processos de produção. Assume-se, diante disso, que os impactos referentes ao aumento de competitividade e qualidade na produção podem ser orientados pela agilidade na integração das redes de comunicação e impulsionados por máquinas com inteligência artificial e pela digitalização de processos nas cadeias de valores (BRYNJOLFSSON; MCAFFEE, 2014; SCHWAB, 2016; SÁTYRO, *et al.*, 2018). Essas são características das novas TICS voltadas para a Indústria 4.0.

Neste cenário, observa-se que com o advento da Indústria 4.0, as inovações em processos se tornam mais intensas e impactam diretamente as inovações de produto e nas inovações organizacionais. Isso ocorre devido ao fato de que ocorre um aprimoramento nos modelos tradicionais, em decorrência da incorporação de soluções mais automatizadas na linha de produção. Assim, compreender a trajetória de desenvolvimento tecnológico no âmbito das políticas públicas e direcioná-las em setores onde o Brasil é referência, representa um grande desafio para a economia industrial.

Para o direcionamento desta pesquisa, define-se como objeto de estudo o impacto das novas TICS para a produção de papel-cartão em um *player* específico no

setor de celulose e papel. A escolha do referido setor, justifica-se por fatores como a relevância produtiva e comercial do Brasil em nível global, onde o País ocupa a posição de maior exportador de celulose do mundo e um dos maiores produtores de celulose e papel (MDIC, 2021). Nesse sentido, é importante ressaltar que a análise do referido setor será detalhada no Capítulo 4. No contexto que envolve a industrial nacional de celulose e papel, destaca-se que este setor se mantém sob intensa competição global e, como consequência, grandes avanços tecnológicos em relação a produtos e processos nas linhas de produção.

No cenário em análise, é importante destacar o aumento de investimentos tanto no segmento de celulose quanto na produção papel, no que se refere à construção de novas fábricas já adaptadas às novas tecnologias. Mais especificamente, observa-se que a maior parte dos investimentos são direcionados para a expansão da capacidade produtiva e para a renovação de máquinas e equipamentos. A projeção para os próximos três anos, segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2020), apresenta investimentos de aproximadamente R\$ 32,6 bilhões para o setor de base florestal. No caso do *player* que será analisado, os investimentos serão de aproximadamente R\$ 9,1 bilhões nos próximos anos. Assume-se, neste cenário, que existem ações estratégicas da indústria em questão para atender uma demanda crescente por novas tecnologias no setor de celulose e papel, com o propósito de manter-se competitiva em nível global.

Desse modo, considerando a relevância desta indústria no cenário competitivo global e a firma em estudo, que representa uma das líderes nacionais do setor, busca-se responder a seguinte pergunta: qual é a dinâmica tecnológica “*in-house*”, de tal forma que a firma em questão seja capaz de atuar como um carro-chefe nos processos inovativos para fabricação de papel-cartão?

Neste contexto, a hipótese a ser investigada sustenta que o processo de inovação pode ser impulsionado por um *player* setorial dominante, denominada nesta tese como “Firma BR”, no sentido de agir como um incentivador de inovações incrementais que complementam a configuração de um Sistema Setorial de Inovação. Isso pode ocorrer em função de que a demanda por novas tecnologias em máquinas e processos, que são originadas do referido *player*, impacta a capacidade de crescimento e desenvolvimento de novos fornecedores e do sistema de inovação. Cabe ressaltar que no cenário a ser investigado, se reconhece que a maior parte das inovações está relacionada às tecnologias adaptativas da Indústria 4.0.

Com base na relevância do tema e na definição do objeto de estudo, define-se como objetivo geral da pesquisa: analisar a dinâmica inovativa da Firma BR, como elemento central para a composição de um Sistema Setorial de Inovação (SSI). Esse objetivo pode ser desdobrado em ações específicas como:

- Analisar o desempenho inovativo do setor ao longo da série histórica;
- Identificar políticas e instrumentos de incentivos à indústria;
- Analisar a trajetória dos avanços tecnológicos do setor, tendo em vista as possibilidades de crescimento da indústria em nível global;
- Analisar as características e necessidades específicas dos processos de produção na Firma BR e identificar possibilidades de incorporação de novas tecnologias nestes processos.

Desse modo, buscou-se compreender as necessidades tecnológicas da indústria, bem como avaliar as possibilidades de produção e fornecimento de tecnologias voltadas à Indústria 4.0. Além disso, serão analisadas as possibilidades de o Brasil participar dessa nova corrida tecnológica com base nas mudanças tecnológicas, contrapondo o que foi vivenciado na década de 1980, onde havia prospecções e tentativas de produção de tecnologias nacionais de software e computadores que, no entanto, não foram continuamente incorporadas pela falta de estratégias políticas. Em síntese, buscou-se, por meio desta pesquisa, encontrar elementos que poderão direcionar políticas públicas de inovação para o fortalecimento deste importante setor da economia. Cabe ressaltar também que, ao testar a hipótese e alcançar os objetivos apontados, buscou-se identificar mecanismos de aprendizagem, acumulação e apropriabilidade de capacidades na indústria.

Os resultados obtidos por meio da análise empírica possibilitaram o entendimento da relação entre a demanda por novas TICS e a busca pelo desenvolvimento dessas tecnologias na firma em estudo. Nesse sentido, cabe ressaltar que as características inerentes à indústria nacional são direcionadas à incorporação de atualizações em máquinas e equipamentos antigos. Isso ocorre devido ao fato de que, em muitos casos, as grandes firmas operam com estes ativos desatualizados no chão de fábrica. Diante disso, há evidências do predomínio do caráter incremental da inovação relacionada ao objeto de estudo. No *player* em estudo, observou-se que a conformação de redes de parcerias para o

desenvolvimento de soluções adaptativas pode resultar da estruturação de um sistema para a produção de soluções como: IoT para sensoriamento remoto, computação em nuvem, inteligência artificial e realidade mista. No entanto, no que diz respeito à relação universidade-empresa, observou-se que existe a necessidade de ajustes e o direcionamento em ações que possibilitem o aumento destas parcerias para a promoção de pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Outra limitação observada se refere às tecnologias proprietárias de grandes máquinas, equipamentos e plataformas de serviços de software de *players* globais. Essas tecnologias causam o efeito *lock-in*, que estabelece uma dependência por fornecedores globais (PAVITT, 1984). Isso pode ser explicado por fatores como a cumulatividade de aprendizado, que as grandes firmas globais mostram ao longo do tempo. Nesse sentido, a maior parte do conhecimento tecnológico emerge do desenvolvimento de novas TICS e uso de produtos específicos desenvolvido por fornecedores globais. O conhecimento tácito obtido através destas experiências é de importância central (PAVITT, 1994). Além disso, os grandes *players* apresentam resiliência no desenvolvimento de suas tecnologias, apesar das ondas sucessivas de inovações radicais que colocaram em questão suas habilidades e procedimentos estabelecidos (MOWERY, 1983). Observa-se, diante disso, que diferente das ações para inovações radicais, as tecnologias adaptativas e incrementais podem ser direcionadas por meio de investimentos e mecanismos para o fomento de inovação no nível da firma, mas também por meio de ações práticas de atores institucionais para o fortalecimento da competitividade nacional.

Diante disso, a contribuição desta tese pode ser atribuída ao provimento de uma abordagem direcionada para as potencialidades da Indústria 4.0 para a produção de papel-cartão. Assim, a investigação sobre os avanços da trajetória de inovação, à luz dos Sistemas de Inovação com foco na conformação destes sistemas em nível setorial, poderá contribuir para identificar elementos que fortaleçam as estratégias competitivas. Além disso, acredita-se que o conceito da Indústria 4.0, investigado nesta pesquisa, poderá ser ampliado para as cadeias de produção em diferentes setores da indústria. Assim, as ações para o desenvolvimento de novas TICS podem significar uma nova dinâmica competitiva em setores onde o Brasil representa referência na produção global. Por outro lado, é importante destacar a necessidade de pesquisas que complementem esta tese e avaliem os impactos e desdobramentos das novas tecnologias nas relações de trabalho e sociedade.

A tese está organizada em seis capítulos, além desta introdução e das considerações finais. No segundo capítulo se faz uma revisão teórica sobre os SIS, onde serão detalhados aspectos geográficos e setoriais desses sistemas. Busca-se, assim, o alinhamento conceitual entre sistemas de inovação, ambientes tecnológicos e o objeto de estudo da pesquisa. O terceiro capítulo aborda o papel do Estado na conformação do processo inovativo. Nesse contexto, assume-se a centralidade do Estado como agente condutor das políticas de desenvolvimento industrial. Como forma de detalhar as políticas industriais orientadas pelo Estado, algumas estratégias na trajetória evolutiva em diferentes países serão apresentadas. Por fim, o capítulo apresenta aspectos institucionais e legais que impactaram as políticas de inovação no Brasil, com ênfase em políticas industriais implementadas no Brasil a partir de 2003. Após considerar a literatura sobre inovação, sistemas e políticas de inovação em diferentes países, o quarto capítulo volta-se para a análise setorial da indústria de celulose e papel. O objetivo é detalhar a relevância do setor na indústria nacional, com foco nas possibilidades de incorporação de novas tecnologias nos processos de produção. O quinto capítulo destina-se a apresentar, de forma mais detalhada, as potencialidades das novas tecnologias disruptivas voltadas para a Indústria 4.0. O último capítulo destina-se aos resultados e discussões sobre os principais elementos da tese. Busca-se, assim, relacionar as necessidades da indústria nacional com as possibilidades de desenvolvimento de novas TICS. Por fim, serão apresentadas as considerações finais da pesquisa.

1.1 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa tem caráter exploratório e se caracteriza como qualitativa. Busca-se, por meio da análise empírica, a compreensão de como a inovação pode contribuir para o desenvolvimento da indústria nacional de celulose e papel. Neste contexto, é importante ressaltar que a análise do fenômeno ocorrerá de forma integrada ao objeto da pesquisa (FLICK, 1995; GODOY, 1995). Ou seja, a investigação analisará as possibilidades de desenvolvimento tecnológico em um setor específico na economia nacional, à luz da teoria sobre SI. Para isso, o caminho definido para a condução da pesquisa é o estudo de caso. Para Godoy (1995), essa estratégia é definida quando pesquisadores procuram responder às questões "como" e "por quê" e, assim,

compreender os fenômenos atuais dentro de algum contexto de vida real. Desse modo, busca-se identificar as necessidades tecnológicas dentro da cadeia produtiva na indústria de celulose e papel, bem como avaliar as possibilidades de produção e fornecimento dessas TICS.

Assim, para a realização desta pesquisa, foi definido como ambiente de estudo um *player* nacional no setor celulose e papel. A escolha do setor de celulose e papel ocorreu devido à relevância do Brasil em nível global. Neste setor, as plantas industriais apresentam características únicas e restritas ao processo contínuo de produção, como: i) Alto nível de integração entre os equipamentos; ii) Indivisibilidade das matérias-primas ao longo do processo; iii) Plantas industriais intensivas de capital e custos de mão-de-obra fixos; iv) Maior possibilidade de centralização e controle dos processos (TOLEDO *et al.*, 1986). Cabe ressaltar, que outras plantas que concentram a linha de produção em manufatura repetitiva ou serviços, por exemplo, apresentam características distintas que não serão abordadas neste estudo.

A análise de campo buscou detalhar como ocorre a integração do referido *player* com outras instituições vinculadas ao respectivo setor, como fornecedores, entidades de representação e instituições de pesquisa. Desse modo, foram organizadas etapas para a coleta e análise dos dados.

A técnica definida para a análise de dados utilizada foi a Análise de Conteúdo (BARDIN, 1977). Esta técnica de análise é descrita como:

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/ recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (BARDIN, 1977, p. 42).

A análise de conteúdo prevê quatro fases fundamentais: i) Organização dos procedimentos para coleta de dados; ii) Pré-análise dos dados coletados por meio de entrevistas, relatos de observações e/ou documentos; iii) Exploração do material e iv) Tratamento dos dados. A pré-análise pode ser descrita como a fase de sistematização e estruturação dos dados coletados. Assim, após a leitura dos dados coletados, ocorrerá a identificação dos principais elementos que orientam a interpretação e a preparação formal do material (BARDIN, 1977; GODOY, 1995).

A etapa seguinte ocorre com a exploração do material em busca das unidades de análise, que são os trechos das narrativas relacionados com os objetivos propostos. Em seguida, são identificadas as unidades de registro, que são

classificadas em grupos dos recortes abstraídos das entrevistas. O conjunto das unidades de registro configuram as categorias para a análise do conteúdo, que nesta tese são apresentadas como: i) Desafios e lacunas tecnológicas do setor de celulose e papel; ii) Tecnologias da indústria 4.0: as principais demandas e as TICS incorporadas na firma; iii) Grau de maturidade da firma e do Sistema Setorial de Inovação da indústria de celulose e papel; iv) Os determinantes do processo de inovação. Foram estas categorias que possibilitam a identificação das respostas utilizadas para a significação dos objetivos da pesquisa. Cabe ressaltar, que a ferramenta utilizada para a identificação de padrões comuns nos textos das entrevistas foi o Atlas TI¹.

O próximo passo diz respeito ao tratamento dos dados, que são apresentados com as sínteses que expressam a compreensão obtida do fenômeno e relacionadas com as referências teóricas admitidas para a orientação conceitual da tese. Busca-se, neste momento, tornar os dados significativos e válidos em relação ao problema de pesquisa (BARDIN, 1977; GODOY, 1995). Na próxima seção, será apresentada a metodologia detalhada do trabalho de campo.

1.2 METODOLOGIA

As etapas de trabalho de campo e entrevistas foram organizadas com uma visita técnica na Firma BR, com entrevistas direcionadas ao órgão de representação do setor e fornecedores de tecnologias. Os conceitos tratados nesta pesquisa buscaram relacionar dados obtidos nestas etapas, com as estratégias para mudanças tecnológicas adotadas por empresas em termos de inovação (MALERBA; ORSENIGO, 1993). Nesse sentido, buscou-se, também, identificar como essas estratégias podem ser organizadas por meio das redes de firmas para inovação (BRITTO, 1999; HAGEDOORN; SCHAKENRAAD, 1992), bem como por meio da acumulação das capacidades tecnológicas e mecanismos subjacentes de aprendizagem (MALERBA; ORSENIGO 1993). Como resultado final, buscou-se a

¹ Atlas.ti é um software utilizado em pesquisas qualitativas ou análises qualitativas de dados. Este software apresenta uma versão gratuita (Atlas.ti Cloud), que é limitada a arquivos em texto. (Disponível em <https://atlasti.com>)

organização de um material relacionado a análise setorial da indústria e dos principais recursos tecnológicos incorporados e desenvolvidos por um *player* nacional.

Diante disso, a pesquisa de campo procurou identificar elementos para a análise das estratégias de inovação no nível da firma. Buscou-se, assim, compreender quais os desafios e resultados esperados com a incorporação de novos produtos, processos e/ou métodos nos processos de produção. Segundo o Manual de Oslo (OCDE, 1997), isso pode reformular as fronteiras e a natureza da própria firma no que diz respeito à inovação. Entretanto, foi investigado também o impacto que a firma exerce no Sistema Setorial de Inovação (SSI) em que está inserido, no sentido de agir como um incentivador que impulsiona o desenvolvimento de inovação de todo o setor em análise. Assim, as ações estruturadas para o trabalho de campo tiveram como foco apresentar as principais características da firma, bem como detalhar os fatores internos e sistêmicos que podem influenciar a inovação e identificar as atuais atividades de incorporação de novas TICS.

Para isso, as entrevistas foram organizadas de forma semiestruturadas, o que permitiu maior flexibilidade na condução das perguntas. Tais perguntas foram elaboradas com o objetivo de identificar as principais demandas tecnológicas da firma, bem como a visão estratégica dos entrevistados em relação à inovação e às novas tecnologias voltadas para a Indústria 4.0. Para este propósito, foi elaborado um roteiro para orientação dos entrevistadores (APÊNDICE A). Ao organizar uma dinâmica de entrevistas, alguns critérios foram adotados, entre eles: i) A cobertura de uma série de elementos centrais sobre o tema. Neste caso, em relação à incorporação de novas TICS e o aprimoramento de produtos e processos no chão de fábrica; ii) A especificidade das opiniões da situação, a partir do ponto de vista do entrevistado; iii) A profundidade e o contexto da indústria apresentados pelo entrevistado (FLICK, 2013). Diante disso, a abordagem definida para a coleta de dados é a “Abordagem pelo Sujeito – que neste caso, partiu do comportamento inovador e das atividades inovadoras da empresa” (OCDE, 1997, p. 25). Esta abordagem tem como prioridades a descrição da cobertura setorial, onde estão inseridos os processos de inovação, bem como a definição dos processos e produtos tecnológicos e estratégias adotadas pela firma e para a coleta de dados.

As perguntas foram direcionadas a gestores, engenheiros e equipe técnica, em decorrência da conexão dos entrevistados com a linha de produção e tecnologias da Indústria 4.0 (QUADRO 1). Cabe destacar que as observações primárias coletadas

na pesquisa de campo foram complementadas por evidências secundárias definidas a partir da análise de documentos de um órgão de representação setorial.

QUADRO 1 – ENTREVISTADOS E FUNÇÕES EXERCIDAS NA ÁREA

Entrevistado	Cargo/ Função	Ramo de Negócio	Tempo de Firma	Data	Tempo de entrevista	Formato
Gerente-A	Gerente de Manutenção	Papel e Celulose	10 anos	29/07/21	00:57:12s	on-line
Coordena- dor-A	Coordenador de Manutenção	Papel e Celulose	40 anos	19/10/21	02:00:00s	Presencial
Coordena- dor-B	Coordenadora técnica (Corporativo)	Papel e Celulose	10 anos	10/12/21	00:50:24s	on-line
Analista-A	Analista de TI Corporativo	Papel e Celulose	5 anos	21/11/21	00:50:26s	on-line
Engenheiro- A	Engenheiro de Manutenção	Papel e Celulose	7 anos	19/10/21	03:30:00s	Presencial
Engenheiro- B	Engenheiro de Processos	Papel e Celulose	10 anos	14/12/21	01:04:44s	on-line
Consultor-A	Consultor	Papel e Celulose	30 anos	29/07/20	01:03:12s	on-line
Fornecedor- A	Desenvolvedor /Equipe técnica	Tecnologia (produtos e sistemas)	7 anos	06/12/21	01:12:23s	on-line
Fornecedor- B	Proprietário/ Projetista	Tecnologia (sistemas especialistas)	5 anos	30/11/21	00:54:14s	on-line
Fornecedor- C	Engenheiro de Produtos	Tecnologia - máquinas e equipamentos	15 anos	25/11/21	00:50:30s	on-line
Fornecedor- D	Sócio/ Projetista	Tecnologia (soluções para sistemas industriais)	5 anos	28/07/20	01:11:33s	on-line

FONTE: Elaboração própria (2021).

O trabalho de campo foi organizado em quatro categorias pré-definidas de acordo com a técnica de análise adotada (QUADRO 2). No primeiro momento,

buscou-se identificar pontos centrais relacionados ao setor de celulose e papel e a Firma BR. Isso possibilitou trabalhar a especificidade do objeto de estudo e permitiu a exposição detalhada dos principais aspectos da pesquisa que são apresentados no Capítulo 6. Nesse sentido, a partir da análise da firma e dos principais produtos e matérias-primas utilizadas, buscou-se evidências sobre as estratégias para inovação em relação a processos, máquinas, equipamentos, mercado e concorrência. Em outras palavras, a abordagem inicial teve como foco os principais gargalos e desafios tecnológicos do setor de celulose e papel. Nesta etapa, foi importante identificar o que é necessário para se inovar diante do atual cenário e quais as estratégias da firma associadas à inovação.

Em seguida, as entrevistas foram direcionadas para a compreensão das prioridades em relação à incorporação de TICS nos processos de produção. Com isso, a análise foi organizada para identificar o total de ativos que a firma possui e quais destes ativos necessitam de adaptações e aprimoramento. Neste cenário, também foram elencadas algumas questões direcionadas também a engenheiros e à equipe técnica de manutenção, o que possibilitou conhecer algumas ações efetivas para incorporação destas TICS. Em outras palavras, foi possível constatar como ocorrem *upgrades* em máquinas e equipamentos e como são realizadas as ações para inserção das respectivas tecnologias (por meio de desenvolvimento interno ou contratações e parcerias com fornecedores de TICS). Nesta etapa, também foram observados elementos técnicos associados a padrões de conectividade, protocolos de rede e rotinas de segurança na transmissão de dados. De modo geral, buscou-se nesta etapa, identificar o impacto das novas tecnologias na ampliação do escopo de produtos e como essas TICS se relacionam com a otimização e a expansão das capacidades produtivas na firma. Além disso, foram identificados os mecanismos utilizados pela firma para treinamento e capacitação da equipe técnica.

A trajetória de desenvolvimento tecnológico da firma também foi analisada. O objetivo foi compreender como o nível de conhecimento acumulado no passado pode contribuir para o desenvolvimento de novas TICS. Outros aspectos relacionados à vida útil das máquinas e em que medida as ações para renovação do parque de máquinas podem solucionar problemas na produção de forma mais eficaz também foram analisados. Além disso, observou-se as condições para a adoção de tecnologias de baixo custo como: i) Microcontroladores a partir de plataformas para prototipagem eletrônica de hardware livre; e ii) Plataformas que seguem padrões de

licença de software GNU *Lesser General Public License* - LGPL e *General Public License* GPL e hardware em *Creative Commons*.

A sequência da análise de campo teve como foco analisar fatores que podem contribuir para a vantagem competitiva da empresa. Esses fatores podem estar relacionados com as estratégias e a velocidade de adoção de novas tecnologias e as formas de inserção da firma em redes de inovação. Isso possibilitou elementos na compreensão do grau de maturidade da firma e como isso pode refletir no Sistema Setorial de Inovação na indústria do papel. Assim, buscou-se identificar como a firma se diferencia de outras organizações em relação à inovação. Outros pontos observados podem ser direcionados à quantidade de TICS estrangeiras incorporadas pela firma no que se refere às tecnologias nacionais e as possibilidades de adoção dessas tecnologias, caso existisse oferta de produtos e serviços locais.

Por fim, as perguntas direcionadas para a firma foram organizadas para identificar quais são os determinantes no processo de geração e difusão de tecnologias da Indústria 4.0. Ou seja, foram analisados quais as condições de oportunidade, apropriabilidade e cumulatividade em relação ao conhecimento tecnológico da firma. Neste contexto, estão inseridos os riscos e incertezas que envolvem mudanças e como a falta de conhecimento técnico pode retardar os avanços tecnológicos. Além disso, buscou-se identificar quais ações prolongam a obsolescência de máquinas e equipamentos, quais as fontes de financiamento e os impactos da falta de regulação.

A segunda etapa das entrevistas ocorreu com responsáveis da entidade que representa o setor e fornecedores de TICS. O foco foi identificar algumas estratégias e perspectivas do setor em relação a investimentos e crescimento e, também, buscar dados que auxiliem na análise das políticas setoriais por meio de relatórios e documentos que ilustrem a trajetória de desenvolvimento do referido setor. Nesse sentido, as entrevistas com os diferentes atores foram analisadas em relação às seguintes questões: i) Quais as perspectivas para o setor em relação à inovação?; ii) Qual a análise do órgão que representa o setor?; iii) O que os fornecedores (grandes e pequenos) estão vendo e fazendo? e iv) O que os outros *players* internacionais estão desenvolvendo e implantando? Isso possibilitou compreender quais as estratégias e impedimentos são encontrados por fornecedores em termos de investimentos e parcerias com outras instituições para a composição de redes de inovação. Com isso, essa etapa de investigação analisa a dinâmica das relações entre agentes e

instituições ligadas ao setor e as necessidades de implantação de soluções tecnológicas.

A partir dos dados coletados nas entrevistas foi possível construir uma relação entre a teoria dos SSIS e o impacto da incorporação das novas TICS nestes sistemas. Buscou-se, com isso, apresentar elementos para a composição de estratégias, que podem impulsionar o processo de inovação tecnológica e o crescimento econômico. O próximo capítulo detalhará os resultados da pesquisa na Firma BR e apresenta discussões sobre os pontos abordados na pesquisa.

QUADRO 2 - MODELO ANALÍTICO DA PESQUISA DE CAMPO

I - Principais gargalos e/ou desafios tecnológicos do setor de papel e da firma em estudo	II – Identificar (<i>in house</i>) quais as principais demandas em relação à Indústria 4.0	III - Grau de maturidade tecnológica da firma	IV - Determinantes do processo de geração, difusão ou retardamento de tecnologias da Indústria 4.0
<p>Visão da gestão e equipe técnica em relação às principais estratégias e desafios tecnológicos;</p> <p>Como são organizadas as estratégias em relação à inovação (visão da gestão e engenheiros responsáveis setoriais);</p> <p>Identificar qual o nível/grau de inovação que a Unidade Monte Alegre busca (imitação, adaptação, P&D, desenvolvimento tecnológico);</p> <ul style="list-style-type: none"> - Compreender se a inovação ocorre em nível radical (P&D) ou incremental ou nos dois níveis; - Qualidade das máquinas para produzir estes produtos (necessitam de upgrades para melhor desempenho); <p>Principais Produtos: qual o foco da inovação – papel (produto final) ou celulose (matéria-prima).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analisar as máquinas e equipamentos (em termos de quais tipos de papel produzem e quais as principais necessidades de upgrade para a Indústria 4.0. 	<p>Raio-X:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quantos ativos a firma possui; - Identificar qual é o produto estratégico na firma e quais inovações estão focadas neste produto (como são incorporadas as novas tecnologias nestas máquinas); - Quantos desses ativos necessitam de adaptações e/ou aprimoramento; - Qual o tempo de uso desses ativos (buscar de forma inicial, fazer uma espécie de análise de viabilidade); <p>Quais tecnologias a firma necessita (em termos de prioridades);</p> <p>Quais as formas de incorporação destas TICs (contratação de fornecedores, <i>outsourcing</i> - desenvolvimento interno;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existem parcerias para o desenvolvimento de TICs <p>Questões técnicas: tecnologias de conectividade, simuladores, sensoriamento remoto, etc. – Indústria 4.0</p> <p>Possibilidades de TICs <i>open source</i></p>	<p>Buscar dados para compor uma análise referente ao grau de maturidade tecnológica da firma e tentar criar um <i>benchmarking</i> em relação ao setor de celulose e papel. A partir disso, será possível determinar se a firma é uma locomotiva que puxa o setor.</p> <p>Fazer um cruzamento de várias visões: i) o que a Firma BR está fazendo; ii) qual a visão do setor (Sinpacel); iii) o que os fornecedores (grandes e pequenos) estão vendo e fazendo;</p> <p>Como a firma se diferencia de outras organizações em relação à inovação;</p> <p>As TICs desenvolvidas na Firma BR podem ser adotadas por outras firmas do setor? Como ocorrem as patentes em relação à P&D e tecnologias?</p> <p>Qual o diferencial da Firma BR, em termos de inovação?</p> <p>Qual o percentual de TICs estrangeiras em relação às nacionais (qual fator leva a comprar TICs estrangeiras)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tecnologias nacionais (qual a visão) – Caso existissem TICs nacionais com qualidade e suporte. Esta seria uma opção viável adotada pela firma? <p>Quais as formas de interações entre firmas (transferência de TICs, parcerias, etc.);</p> <p>Qual o tipo de interação entre a firma e fornecedores (<i>learning by doing</i>, <i>learning by interacting</i> - há algum tipo de transferência de conhecimento? Ou é somente uma relação comercial – compra/venda? Quais são as barreiras para que isso aconteça?).</p>	<p>Identificar quais são os determinantes (obsolescência, necessidade de adaptações, mecanismos para avançar na inovação, metas para aumento da capacidade produtiva, fontes de investimentos, redes de inovação, capacitação de colaboradores, etc.);</p> <p>Buscar quais as condições de oportunidade e apropriabilidade; Quais os graus de cumulatividade do conhecimento tecnológico da firma; Quais as fontes de conhecimento relevantes;</p> <p>Relacionar com os fatores que retardam os avanços tecnológicos? (Incertezas ao implementar novas TICs – segurança nas informações, fontes/recursos para novos investimentos (BNDES), regulamentação);</p> <p>Qual o nível de acesso às políticas de inovação?</p> <p>Qual a estimativa de retorno dos investimentos na visão da gestão.</p>

A DINÂMICA DE INOVAÇÃO DA FIRMA IMPACTA (OU NÃO) A COMPOSIÇÃO DO SISTEMA SETORIAL DE CELULOSE E PAPEL

FONTE: Elaboração própria (2021).

2 A INSTITUCIONALIZAÇÃO DA ATIVIDADE INOVADORA E O CONCEITO SOBRE OS SISTEMAS DE INOVAÇÃO NO ATUAL CENÁRIO PRODUTIVO

O propósito deste capítulo é apresentar uma visão geral da inovação no contexto da dinâmica econômica. Busca-se, a partir dos estudos neoschumpeterianos, descrever a importância da inovação tecnológica na composição de arranjos sistêmicos da indústria. Para isso, a abordagem inicial caracteriza a inovação como elemento central na trajetória de desenvolvimento tecnológico, com ênfase nas relações entre agentes e instituições. Na sequência, são descritas as principais características das redes de firmas, com destaque para os elementos estruturais que auxiliam na compreensão das relações interorganizacionais.

Diante da perspectiva sistêmica adotada nesta pesquisa, este capítulo inicial descreve a correlação dos principais componentes dos sistemas de inovação. Além disso, apresenta as diferentes formas com que as firmas combinam seus recursos e decisões para adoção de novas tecnologias. Assim, a soma dos componentes sistêmicos e das ações endógenas da firma para a incorporação de inovações podem resultar no aumento de competências e competitividade das firmas. A organização e correlação destes elementos representam os principais fundamentos para a composição do referencial teórico da tese.

2.1 INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA ÓTICA NEOSCHUMPETERIANA

A análise da inovação como uma forma de direcionar os processos de produção, uso e difusão de conhecimento, pode ser relacionada às mudanças técnicas e às trajetórias desenvolvimento tecnológico. A síntese dessa análise descreve a inovação como um processo de aprendizado não-linear, cumulativo, conformado institucionalmente e não como um ato isolado (LUNDVALL, 1992; NELSON, 1993; FREEMAN, 1995). Assim, ao incorporar novas concepções nos estudos da inovação, especificamente nesta pesquisa, busca-se identificar diferentes possibilidades nos meios de produção, que podem ocorrer por meio das relações entre atores e instituições para a produção tecnológica.

A inovação foi descrita por Schumpeter (1961) como motor do desenvolvimento econômico, indicando a necessidade do desenvolvimento de novas

tecnologias como um impulso fundamental para as firmas. Para Schumpeter (1982), existem cinco tipos possíveis de inovação: i) um novo produto (bem) ou uma nova qualidade de um produto; ii) um novo método de produção ou um novo método de tratar comercialmente um bem; iii) a abertura de um novo mercado; iv) a conquista ou descoberta de uma nova fonte de insumos; e v) uma nova estrutura de organização de indústria ou fim de uma posição de monopólio. Szmrecsányi (2006) afirma que a gênese e consolidação dessas inovações tendem a ocorrer por meio das relações entre diferentes atores (internos ou externos) e da criação de novas firmas, diante do processo de competição entre mercados e recursos disponíveis.

Nesse contexto, as mudanças derivadas dos processos inovativos impactam de forma significativa a concorrência entre as firmas, que buscam diferentes formas de obter vantagens competitivas. Observa-se, também na teoria proposta pelo autor, o enfoque na articulação de diversos atores, integrando assim, as características inerentes aos sistemas à inovação. Nesse sentido, analisar o processo inovativo, significa explorar um elemento fundamental para impulsionar o sistema econômico. Para Schumpeter (1961, p. 111):

O impulso fundamental que põe e mantém em funcionamento a máquina capitalista procede dos novos bens de consumo, dos novos métodos de produção ou transporte, dos novos mercados e das novas formas de organização industrial criadas pela firma capitalista. [...] Este processo de destruição criadora é básico para se entender o capitalismo. É dele que se constitui o capitalismo e a ele deve se adaptar toda a firma capitalista para sobreviver.

A inovação, sob a ótica schumpeteriana, representa um fator de impacto na vida econômica das sociedades capitalistas, que resulta em um novo comportamento dos agentes de negócios e nas relações de mercado. Diante disso, as inovações constituem eventos decisivos na história econômica do sistema capitalista, ou nos processos que são puramente econômicos dentro dessa história, sendo inclusive responsáveis por boa parte das mudanças que habitualmente atribuímos a outros fatores (SCHUMPETER, 1939; SZMRECSÁNYI, 2006).

Além disso, é necessário destacar a característica sistêmica da inovação, que contrapõe a abordagem linear (LUNDVALL, 1988; 1992). De forma geral, a visão sistêmica é mais ampla e dinâmica, na medida em que permite ampliar a dimensão do processo inovativo relacionado a novos produtos e processos, novas formas de produção, novas fontes de matérias-primas e novos mercados. Assim, o processo de

inovação é caracterizado por ações de cooperação interorganizacional, bem como pelo aprendizado e cumulatividade da atividade inovativa no nível da firma (DOSI, 1988). Deste modo, as redes de inovação que são originadas das parcerias entre atores e instituições, representam importante fator nos estudos sobre inovação e podem direcionar o desenvolvimento tecnológico de diferentes setores.

Nesse contexto, nota-se a relação entre inovação e crescimento econômico e que os avanços em inovação podem ser compreendidos como estratégias para o desenvolvimento econômico em diferentes níveis e países. Para Tigre (2006) muitos países vêm conseguindo superar o subdesenvolvimento graças a investimentos em educação e tecnologia e à entrada bem-sucedida em setores mais inovadores e dinâmicos da economia. O resultado disso, é observado no caso da Coreia do Sul que, no intervalo de 30 anos passou de uma economia estruturada na agricultura para uma economia industrializada e moderna (KIM, 2005).

Outro aspecto observado, diz respeito às diferentes formas de inovação e são descritos por Freeman e Perez (1988), como incrementais e radicais. Para os autores, a inovação incremental é caracterizada por meio de ações voltadas às firmas e setores industriais e estão relacionadas a fatores como demanda, oportunidades e trajetórias tecnológicas. Essas ações consistem na adição de melhorias a determinado produto, processo ou serviço. Essas inovações impactam os processos de produção, apesar de não apresentarem elementos disruptivos que resultam em mudanças estruturais na linha de produção. Por outro lado, no que diz respeito às inovações radicais, os autores afirmam que estas são implementadas com eventos descontínuos e disruptivos. Para que isso ocorra, deve haver uma correlação entre pesquisa e desenvolvimento (P&D), firmas, universidades e laboratórios governamentais. Essas inovações, quando ocorrem, impactam de forma significativa o desenvolvimento de novas tecnologias e resultam no crescimento de mercados. Além disso, agregam elementos como produto, processos e ações organizacionais (FREEMAN; PEREZ, 1988). Essas características radicais, podem ser descritas como elementos fundamentais no ambiente de concorrência global, diante da necessidade de integração das cadeias produtivas em nível global e nos processos de produção no nível da firma.

No entanto, Freeman (2008) afirma que, em decorrência dos riscos e altos investimentos voltados para P&D nas inovações radicais, as firmas tendem a adotar como estratégias competitivas os processos incrementais para inovação. Isso ocorre por meio de adaptações, ou mesmo imitações de novos produtos e processos. Por

outro lado, as possibilidades de incorporação de inovações radicais no processo produtivo, podem decorrer das já mencionadas parcerias, resultando assim em um sistema de inovação para determinado setor. Isso contribui para a constituição da trajetória de aprendizado adotada de forma específica às firmas. Analisar o ambiente de aprendizado, bem como estratégias de inovação e regimes tecnológicos para a incorporação de novas TICs, representam elementos para a análise nesta tese.

De modo geral, estes elementos podem ser compreendidos por meio das relações entre atores econômicos, políticos e sociais, que refletem condições culturais e institucionais próprias (NELSON, 1993). Busca-se, assim, referências para descrever como ocorrem as redes de inovação em níveis nacional e setorial, e como o Estado pode contribuir na formação das redes de inovação para o desenvolvimento tecnológico. O resultado dessas relações é descrito como Sistema Nacional de Inovação (SNI)² e busca identificar novas possibilidades de aprendizagem com base na ciência e na experiência e se caracterizam por elementos que interagem na produção, difusão e uso do conhecimento (LUNDVALL *et al.* 2009). Diante de algumas incertezas que a inovação pode representar para a firma, principalmente em relação a algo que é disruptivo e envolve investimentos em P&D, a análise dos SNIS e seus impactos no desenvolvimento de novas tecnologias, representa um importante fator na análise nas trajetórias de desenvolvimento tecnológico.

Diante disso, no que diz respeito aos elementos constituintes do processo inovativo e sua respectiva conformação, a teoria neoschumpeteriana descreve essas relações como as diferentes formas que as firmas combinam seus recursos e decisões internas para adoção de novas tecnologias. Isso está relacionado com o conceito sobre Sistemas de Inovação que será abordado na Seção 2.3. A seção seguinte trata dos principais elementos estruturais constituintes destas redes, com o objetivo de detalhar as características destes arranjos.

² O tema Sistema Nacional de Inovação é apresentado pelos autores neoschumpeterianos Freeman (1987), Lundvall (1992) e Nelson (1993). No entanto, o termo Sistema de Inovação é também aplicado como forma de referenciar a mesma teoria. Assim, a nomenclatura adotada na tese é a de Sistema Nacional de Inovação, seguindo os termos utilizados por autores de referência.

2.2 CARACTERÍSTICAS E ESTRUTURAS DAS REDES DE FIRMAS

O conceito sobre redes de cooperação está relacionado às relações interorganizacionais, que ocorrem por meio de alianças estratégicas para busca de complementaridade entre competências produtivas, tecnológicas e organizacionais (BRITTO, 1999; HAGEDOORN e SCHAKENRAAD, 1992). As redes envolvem, ainda, a capacidade de aprendizado no nível da firma em relação a transmissão de experiências e habilidades adquiridas nas trajetórias de desenvolvimento (MALERBA e ORSENIGO 1993; LUNDVALL, 1992). Nesse contexto, os arranjos cooperativos entre firmas, podem ser descritos como estruturas que buscam criar mecanismos para avanços nas capacidades produtivas e competitivas com foco no aprimoramento e diversificação de atividades produtivas (BRITTO, 1999).

Os resultados desses arranjos podem ser relacionados com aumento nas competências tecnológicas e organizacionais por meio da inovação, em um contexto de mudanças econômicas e integração das cadeias produtivas. Esse cenário de mudanças em nível global demanda maior valor agregado a produtos e serviços, o que resulta em maiores oportunidades tecnológicas. As interações entre firmas com foco na inovação podem impactar o desenvolvimento de novas tecnologias.

A consolidação de uma rede de firmas, envolve elementos como a presença de compatibilidade e complementaridade técnica entre os agentes e as atividades por eles realizadas. Isso ocorre devido à presença de externalidades técnicas e diferentes demandas. Outro aspecto pode ser relacionado com ganhos relacionados ao progresso técnico, devido à variedade de firmas inseridas nesses arranjos e à interdependência entre as respectivas competências. A correção destes fatores é apresentada por Britto (1999) como as características principais das redes de firmas. Nesse contexto, Freeman (1991, p. 502) detalha as relações de cooperação podem ocorrer, por meio de “vínculos selecionados e explícitos com parceiros preferenciais no espaço de ativos complementares e relações de mercado de uma firma, tendo como objetivo principal a redução da incerteza estática e dinâmica”.

A análise das relações entre firmas e outras organizações ou instituições tem sido estudada, cada vez mais, por meio da utilização de um recorte analítico baseado no conceito de rede (HAGEDOORN, 1994; JOERGES, 1988; DUYSER e HAGEDOORN, 2005). A utilização deste conceito como referencial analítico tem auxiliado a investigação de temas diversos e são apresentados por meio das relações

entre instituições e agentes para o desenvolvimento de ativos complementares e estratégias de mercado, tendo como objetivo principal a redução da incerteza nos processos de inovação. Essas estratégias pode ocorrer, segundo Britto (2002, pg. 211), como:

i) Alianças estratégicas entre firmas e outras formas de cooperação produtiva e tecnológica; ii) Programas de cooperação específicos, envolvendo agentes com competências em áreas distintas, que interagem entre si para viabilizar determinada inovação; iii) Processos de subcontratação e terceirização realizados por firmas especializadas em determinadas atividades, que dariam origem a redes estruturadas verticalmente no interior de cadeias produtivas; iv) Sistemas flexíveis de produção baseados em relações estáveis e cooperativas entre firmas atuantes em determinado ramo de atividades; v) Distritos industriais baseados na aglomeração espacial de firmas e outras instituições que interagem entre si no âmbito de determinada região. Sistemas nacionais e regionais de inovação baseados na especialização e na interação de diversos tipos de agentes envolvidos com a realização de atividades inovativas (firmas, universidades, outras instituições etc.).

No que diz respeito às relações entre firmas, destacam-se, ainda, as convergências existentes entre diferentes categorias que independem do tamanho destas firmas. Nesse sentido, grandes e pequenas firmas podem estar envolvidas simultaneamente em diferentes formas de cooperação. Assim, a organização das redes ocorre a partir das categorias que correlacionam a evolução e a transformação das estruturas industriais em diferentes ambientes. Outro aspecto importante abrange as interações com outros agentes inseridos na rede, que possibilitam acesso a recursos e competências complementares e que reforçam sua competitividade em relação a outras firmas não inseridas no arranjo (BRITO, 2002).

Em relação as ações originadas destes arranjos, Freeman (1991) destaca que os acordos para a promoção de P&D representam o foco de maior interesse de grandes *players*. Diante do advento das relações institucionais a partir da década de 70, observa-se que muitas parcerias naquele período foram instituídas por acordos de colaborações internacionais que envolveram países como os EUA e diferentes firmas estrangeiras de manufatura. Assim, os acordos de *joint venture* em conjunto com a pesquisa reportaram rápido crescimento entre firmas norte-americanas, europeias e japonesas. Naquele cenário, as parcerias entre EUA, Europa e Japão representavam mais de 90% de todos os acordos registrados e apenas os centros de inovação asiáticos se destacaram no cenário externo ao eixo EUA e Europa.

Outro aspecto observado durante as décadas de 70 e 80 foi que diversas firmas iniciaram processos de fusões e investimentos em outros países, como forma

de adequação às mudanças estruturais na economia global e o advento das novas TICS. Essas estratégias buscaram o acesso ao desenvolvimento de pesquisa básica e aplicada e acessos a diferentes mercados (DUYSTERS, HAGEDOORN, 2005), o que reforça a tese de que os acordos para P&D e ampliação de mercado são razões para a associação entre firmas. No entanto, o processo colaborativo pode ser compreendido como estratégias de competitividade diante da complexidade tecnológica e da natureza multidisciplinar das tecnologias emergentes. Diante disso, as associações podem possibilitar que as firmas capitalizem suas economias de escopo por meio de esforços conjuntos (HAGEDOORN, 1993). Além disso, Belussi e Arcangeli (1988) destacam que as redes de firmas permitem o aumento das possibilidades de distribuição, resultando no alcance maior de mercados. Segundo os autores, a firma avança de um caráter transacional para relacional, ou seja, além da troca de bens e serviços entre diferentes firmas, essas compartilham as relações de produção, maximizando o aprendizado organizacional. Diante disso, destaca-se o aumento da capacidade de aprendizagem em atividades inovadoras.

Como consequência, as firmas diferem não apenas porque atuam em setores distintos ou porque seus conhecimentos especializados são específicos, elas diferem também em termos do nível, intensidade e compromisso com o qual elas estabelecem redes (BELUSSI e ARCANGELI, 1988). Esta perspectiva acrescenta uma nova e terceira dimensão à dicotomia tradicional entre o comportamento da firma Schumpeteriana redirecionando insumos para um novo empreendimento e o agente neoclássico coletando insumos para a produção rotineira (NELSON e WINTER, 1982; MALERBA, 1990).

De modo geral, a análise das redes pode ser estruturada a partir as relações entre a firma e o ambiente externo em que está inserida. Nesse sentido, as relações que são originadas desse processo ressaltam na conformação do ambiente econômico e das estratégias internas para promover a inovação. Diante disso, Britto (2002) destaca elementos para a operacionalização de estudos empíricos, entre eles a ênfase na estrutura das redes com a definição de critérios para o agrupamento de elementos constituintes e das ligações a eles associadas. O resultado disso pode ser uma melhor compreensão dos agentes que compõem uma rede de inovação. Particularmente importante é sua caracterização como um "nó nas relações produtivas" e o papel dos atores envolvidos. A próxima subseção apresenta aspectos

estruturais necessários para a constituição das relações entre firmas, atores e mercados.

2.2.1 Elementos estruturais das redes de firmas

A análise de elementos estruturais das redes, tem como objetivo apresentar contribuições para a compreensão das relações interorganizacionais (BRITTO, 1999; HAGEDOORN e SCHAKENRAAD, 1992; BELUSSI, F.; ARCANGELI, 1998). Neste contexto, busca-se descrever as características morfológicas das redes de firmas, como forma de detalhar os processos para a conformação dessas redes e dos sistemas de inovação. O conceito de rede como instrumento de análise, apoia-se na estrutura das relações entre atores e instituições para compreender diferentes aspectos. As estruturas de relações podem ser econômicas, políticas, interacionais entre outras formas. As relações são expressas por meio de ligações entre as unidades de análise. Desse modo, ocorre, ligações de recursos materiais e não materiais, além da interação física dos atores e relações formais de autoridade. Nesse sentido, Britto (1999) descreve quatro elementos morfológicos genéricos nas estruturas das redes de firmas: pontos, posições, ligações e fluxos. Esses elementos podem ser descritos como “partes” constituintes das estruturas em rede. O Quadro 3 procura sintetizar estas características, associando a cada um dos elementos morfológicos genéricos constituintes das estruturas em “rede”, a expressão dos mesmos no âmbito específico das “redes de firmas”.

QUADRO 3 – ELEMENTOS ESTRUTURAIS DAS REDES DE FIRMAS

Elementos estruturais	Elementos constitutivos das redes
Nós ou vértices	Firmas ou atividades
Posições	Divisão de trabalho em cadeias produtivas
Ligações	Vínculos organizacionais, produtivos e tecnológicos
Fluxos	Fluxos de transações (tangíveis) e fluxos de informações (intangíveis)

Fonte: Britto (1999).

Na caracterização morfológica de uma rede, o conjunto de agentes e eventos são associados por meio de nós. Estes “nós” representam as unidades basilares das redes de firmas e podem ser analisados sob duas perspectivas distintas. A primeira apresenta a firma como unidade central na organização de uma rede. Essa rede pode resultar de estratégias adotadas por agentes nelas inseridos que induzem a organização de relacionamentos sistemáticos entre eles. Assim, torna-se possível captar a conformação da estrutura a partir da análise das estratégias de relacionamentos dessas firmas, que se refletem na formação de alianças estratégicas com outros agentes. Por outro lado, existem determinadas atividades que podem ser consideradas pontos centrais desses arranjos como, por exemplo, as ações internas de aprendizado e as estratégias para a inovação (BRITTO, 1999). Além disso, observa-se a necessidade de compreender em que medida a trajetória de aprendizado de determinada firma pode influenciar o desenvolvimento e busca de parceiras para novas tecnologias.

A identificação da configuração das ligações entre nós que conformam a rede é considerada importante elemento para analisar a estrutura. As ligações determinam o grau de difusão ou densidade dos atores de uma rede. Hagedoorn e Schakenraad (1992) destacam que nas redes de firmas é necessário um detalhamento dos relacionamentos organizacionais, produtivos e tecnológicos entre os membros da rede. Nesse sentido, alguns conceitos são descritos onde o primeiro se refere à centralidade da estrutura. O que deve ser considerado diz respeito ao número de ligações que podem ser associadas ao número de pontos que constituem elos em outros pontos da estrutura. Assim, quanto maior o número de ligações e pontos, maior a centralidade de uma estrutura (BRITTO, 1999; HAGEDOORN e SCHAKENRAAD, 1992). Essas ligações contemplam os elementos organizacionais nas firmas, além de aspectos produtivos e tecnológicos entre agentes envolvidos.

Para o entendimento da estrutura de uma rede, ainda é necessário a análise dos fluxos tangíveis (insumos e produtos) e intangíveis (informações). Em relação aos fluxos tangíveis, destaca-se que são estruturadas transações recorrentes estabelecidas entre os agentes, pelas quais são transferidos insumos e produtos. Assim, compreendem operações de compra e venda realizadas entre os agentes integrados à rede. Como complemento aos fluxos de integração de redes, destaca-se também, a existência dos fluxos intangíveis (BELUSSI; ARCANGELI, 1998). Esses são apresentados como fluxos informacionais que conectam os diversos agentes

integrados às redes e apresentam características específicas como a ausência de arcabouço contratual que regule a transmissão desses fluxos e o caráter tácito, estruturado em aspectos cognitivos idiossincráticos retidos pelos agentes responsáveis pela sua transmissão e recepção. Essas características intangíveis apontam para a maior dificuldade em identificar e quantificar quando os estímulos que são emitidos e recebidos pelos agentes (HAGEDOORN e SCHAKENRAAD, 1992).

De forma geral, a análise das estruturas reforça o conceito das redes de firmas como forma de buscar o detalhamento das interconexões entre agentes internos e externos no contexto do desenvolvimento tecnológico. A abstração do conteúdo buscando elementos morfológicos pode facilitar esse processo e, a partir disso, avançar para estratégias de inserção das firmas nos ciclos globais de produção. Isso se faz necessário em decorrência das mudanças recentes nas configurações dessas redes, que se caracterizam com heterogêneas e do aspecto dinâmico inerente à inovação. Do ponto de vista das parcerias estratégicas, este tipo de análise ressalta a importância do mapeamento das alianças estabelecidas por diferentes agentes, visando definir as interações que caracterizam as redes de firmas (BRITTO, 2002).

Neste cenário, é possível afirmar que os caminhos que as firmas percorrem em busca da inovação são orientados para interagir com outras organizações para troca de conhecimentos, tecnologias e recursos de aprendizado (BELUSSI; ARCANGELI, 1998). Estas organizações podem ser outras firmas, academia ou governo e serão descritos com mais detalhes na próxima seção. Observa-se, assim, que as diferentes relações entre firmas excedem os limites mercantilistas de colaboração (consumidor e fornecedor) e constituem uma estrutura interdisciplinar como foco nas competências e conhecimentos entre os participantes da rede para avanços em inovação. Com isso, para a complementação desta perspectiva sistêmica, a próxima seção detalha os aspectos históricos para a exposição das principais características desses sistemas.

2.3 OS SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO (SNIS)

A gênese do tema foi tratada por Friedrich List, no livro *The National System of Political Economy* (1841). A obra de List apresentou uma ruptura no pensamento econômico clássico diante da interpretação liberal de não intervencionismo estatal e

livre-comércio³. A principal contribuição dos estudos de List descreve o papel do Estado na coordenação e execução de políticas de longo prazo direcionadas para o desenvolvimento da indústria e da economia como um todo. Na visão do autor, é responsabilidade do Estado apresentar estratégias por meio da proposição de políticas públicas para o fomento da inovação. Além disso, o Estado pode também estimular os atores que compõem diferentes sistemas a investir em inovação. Nesse contexto, observa-se que a partir de 1870, a Alemanha implantou grande parte da inovação institucional dos departamentos de P&D nas indústrias. O conceito apresentado por List apresentou um amplo conjunto de instituições nacionais que estimularam diferentes atividades inovativas na indústria germânica. Para List, as relações de cooperação entre indústria e academia poderiam resultar em progresso, descobertas ou invenção, pois havia muitas relações entre o ambiente de produção industrial com atividades científica (FREEMAN e SOETE, 2008).

A partir dos avanços em pesquisas direcionadas aos aspectos dinâmicos da inovação, foram apresentados caminhos para a organização de sistemas voltados para o desenvolvimento de novas tecnologias, bem como para avanços na difusão e transferência do conhecimento. O resultado disso pode ser relacionado ao surgimento de novos produtos, processos e métodos de produção. Nesse sentido, o foco na integração de esforços para a produção de conhecimento sustentou à tese neoschumpeteriana dos SNIS.

A teoria sobre SNIS foi difundida por autores em diferentes locais na Europa e nos EUA na década de 1980. O trabalho de Freeman (1987) sobre os sistemas de inovação no Japão, apresentou a estratégia do governo japonês por meio do Ministério da Indústria e Comércio Exterior (MITI) em criar uma rede de inovação em que o Estado empreendeu esforços para a sistematização de atores e investimentos em novas tecnologias. Os resultados obtidos com produtos e serviços especializados foram, posteriormente, transferidos para firmas privadas (FREEMAN, 1987). Neste cenário, cabe destacar os investimentos e o fortalecimento do sistema educacional, que possibilitou a formação especializada de profissionais para atender a indústria em

³ A teoria clássica de Adam Smith é designada como “Antiga Escola Colonial” ou “Sistema Britânico” e de livre comércio. Smith é considerado o mais importante teórico do liberalismo econômico, sendo a sua principal obra “A riqueza das nações: uma investigação sobre sua natureza e suas causas”. Nesta obra, o autor defende que a riqueza se estrutura na divisão do trabalho e na liberdade econômica (DROUIN, 2008).

expansão. Outros pontos de destaque foram a criação de diferentes institutos de pesquisa, a contratação de engenheiros de outros países para atuação na indústria e a capacitação de professores para o ensino técnico e profissionalizante. Além disso, o processo de engenharia reversa, realizado com a aquisição de máquinas e equipamentos importados, constituiu uma estratégia para o desenvolvimento tecnológico (FREEMAN, 1987). Para o autor, as ações buscavam o desenvolvimento e aprimoramento do processo de aprendizagem para a construção de uma indústria tecnológica de referência global. Assim, a estratégia relacionada a construção e operacionalização do SNI japonês resultou na estruturação de uma indústria tecnológica avançada.

Outra importante referência que pode ser considerada precursora do tema é a obra editada por Lundvall (1988), que detalha os elementos de um sistema de inovação. Para o autor, os sistemas refletem o fato de quanto as economias nacionais decidem inovar em relação à estrutura do sistema produtivo e à estrutura institucional em geral. Essas estruturas são construídas a partir dos seguintes elementos: i) Organização interna das empresas; ii) Relacionamentos entre empresas; iii) O papel do setor público; iv) Conjunto institucional do setor financeiro e v) Intensidade e organização de P&D. Assim, as formas de relações entre esses elementos direcionam e moldam a eficiência dos SNI. Diante disso, as relações estabelecidas entre firmas merecem destaque. Para o autor, na economia clássica estas relações são consideradas como sendo caracterizadas pela “concorrência e por mercados puros” (LUNDVALL, 1988, p. 99). O contraponto se refere ao fato de que o foco na inovação está no processo de cooperação e aperfeiçoamento para a inovação e isso representa um complemento necessário à concorrência. Assim, o processo de cooperação para a geração de conhecimento entre firmas pode fortalecer as redes de inovação, incluindo intercâmbio informal de conhecimentos técnicos.

A correlação com a tese anterior apresentada por Freeman confirma que o setor público desempenha papel central no processo, no sentido de fomentar ações voltadas para P&D por meio do direcionamento de atividades e recursos públicos para financiamento de pesquisas. Além disso, a orientação por meio de regulamentações e normas influenciam a direção da inovação. O aspecto relacionado à educação também é descrito por Lundvall e Freeman como fator de impacto nas capacidades inovadoras. Isto se refere a investimentos em capacitação e treinamento de mão de obra especializada.

A organização desses sistemas é influenciada por fatores econômicos, políticos e culturais que ajudam a determinar a escala, direção e sucesso de diferentes atividades de inovação (FREEMAN e LUNDVALL, 1988). Observa-se, neste contexto, que o caráter sistêmico e a possibilidade de interação entre diferentes agentes criam uma estrutura de cooperação e impactam a inovação e a produção de novas tecnologias. Em outras palavras, o processo que favorece as mudanças tecnológicas, industriais e sociais pode ser direcionado por sistemas de cooperação constituídos por instituições e outros agentes. Além disso, os SNIS podem ser definidos em termos evolutivos em relação às suas diversidades e no sentido de reproduzir rotinas e impulsionar firmas e produtos.

Como complemento ao estudo dos sistemas de inovação, é necessário ressaltar a relevância de estudos que foram desenvolvidos com ênfase nas especificidades geográficas e setoriais dos sistemas. Observa-se, assim, importantes contribuições para o tema, com pesquisas voltadas para os sistemas locais de inovação (ACS *et al.*, 1996; COOKE *et al.*, 1997), de regionais de inovação (COOKE; MORGAN, 1994; MASKELL; MALMBERG, 1997) e os sistemas setoriais de inovação com Franco Malerba (BRESCHI, MALERBA, 1997; MALERBA, ORSENIGO, 1997). Estes estudos representam importantes aspectos para sobre SNIS e serão descritos nas seções seguintes. A próxima subseção detalha como a Inglaterra e os EUA fortaleceram as redes de inovação em nível nacional.

2.3.1 A organização dos SNIS: os exemplos da Inglaterra e dos EUA

O cenário descrito em um SNI envolve o conjunto de instituições, atores e mecanismos em um país que contribuem para a criação, avanços e difusão das inovações tecnológicas. Entre as instituições, atores e mecanismos, destacam-se os institutos e laboratórios de pesquisas, as firmas, o sistema acadêmico e as agências governamentais. Além disso, em um sistema de inovação há fatores econômicos, organizacionais, políticos e sociais impactam a geração e difusão de conhecimento (FREEMAN, 1987).

No que diz respeito aos SNIS e suas interações, Freeman e Soete (2008) detalharam importantes componentes para a promoção de P&D entre agentes públicos e privados. Para os autores, esses componentes representam estratégias

para gerar lucratividade e colocar as firmas em vantagem competitiva. Isso é originado das relações de parcerias em que ocorrem a difusão das inovações e transferência de conhecimento e habilidades entre atores e instituições. No entanto, a conformação de um SNI é acompanhada de mudanças institucionais em relação a processos e mesmo nos conceitos sobre os limites das firmas. Um exemplo apresentado por Freeman e Soete (2008) se refere as firmas químicas alemãs Hoechst, Bayer e Basf que se consolidaram como líderes mundiais no mercado quando estabeleceram parcerias de P&D no início do século XX. Este sistema foi estruturado por meio da cooperação entre firmas do setor, pesquisadores de universidades e outras instituições governamentais de pesquisa.

Naquele momento, as mudanças nos processos e produção, decorrentes da demanda emergente por novos produtos, resultou na reformulação de estratégias industriais. Essas estratégias focavam no aprendizado pela experiência e foram substituídos por processos de inovação e aprendizado mais profissionais e sistemáticos. A inovação organizacional dos departamentos de P&D internos às firmas estabeleceu uma nova estrutura de pesquisa e aprendizado com a admissão de técnicos, engenheiros e cientistas nas firmas (FREEMAN; SOETE, 2008).

Nos anos seguintes, outros cases apresentaram estratégias para o desenvolvimento da inovação, com base na inter-relação de diferentes fatores em nível nacional. Nesse contexto, é possível citar o projeto *Scientific Activity Predictor from Patterns with Heuristic Origins* (SAPPHO), que ocorreu em 1968 e foi coordenado por Chris Freeman na Universidade de Sussex - Inglaterra e o *Yale Innovation Survey* (YIS), também no final dos anos 60, coordenado por Dick Nelson nos EUA (CASSIOLATO; LASTRES, 2005). O primeiro exemplo, é considerado um dos pioneiros no estudo da inovação e comparou ações em firmas dos setores químico e instrumentação em determinado período. O objetivo foi identificar características comuns em diferentes firmas. Entre as ações em comum, é possível citar a importância convergente das relações entre desenvolvedores de tecnologias e usuários, a integração de todo ciclo produtivo com atividades de marketing e qualidade, com fontes externas de tecnologia, relação com universidade para as pesquisas de base, comprometimento da alta gerência e foco no empreendedorismo. Por outro lado, os casos de insucesso eram caracterizados por falhas de comunicação com os usuários (CASSIOLATO; LASTRES, 2005).

Enquanto o SAPPHO buscou analisar elementos para a promoção da inovação em nível nacional, a YIS, focou na compreensão de estratégias das grandes firmas norte-americanas para o desenvolvimento de novos produtos e processos. Os resultados da YIS demonstraram que a partir do direcionamento de ações que envolveram inovação, possibilitou acumular capacitações internas, que foram fundamentais para o vínculo das firmas com o ambiente externo. Outro aspecto observado, foi relacionado à engenharia reversa, alinhando políticas de produção sustentável com aprendizado e apropriação de conhecimentos (CASSIOLATO; LASTRES, 2005).

Naquele mesmo período, outros trabalhos organizados por Nathan Rosenberg na Universidade de Stanford contribuíram para a compreensão da organização dos SNIS. Identificada na obra *Perspectives on Technology* (1976), que detalhou a centralidade dos fenômenos tecnológicos na geração do crescimento econômico ao longo de 10 anos e *Inside the Black Box: Technology and Economics* (1982), onde Rosenberg apresentou uma descrição detalhada sobre a relevância e os impactos dos fenômenos tecnológicos na geração de crescimento econômico. Na obra *An Overview of Innovation* (Kline e Rosenberg, 1986), é possível compreender a estrutura e implementação do Modelo *Chain-link*,⁴ que foi precursor da abordagem de Sistemas de Inovação e resultou em importantes impactos para o direcionamento de políticas públicas de inovação. De modo geral, é possível afirmar que estes estudos foram os precursores da organização entre redes formais e informais de inovação, mesmo que a palavra “rede” não fosse utilizada. (KLINE e ROSENBERG, 1986). Diante disso, o processo de inovação passou a ser compreendido por meio das relações entre agentes e instituições (CASSIOLATO, 2005). Assim, observa-se que a organização dos SNIS ocorre por meio da associação entre instituições de P&D, que somados ao setor produtivo, ao sistema educacional e os mercados, resultaram em importantes mecanismos para os avanços tecnológicos.

⁴ O Modelo Chain-link que considera cinco elementos no processo de inovação: i) Mercado potencial; ii) Invenção e/ou produção de um desenho analítico; iii) Desenho detalhado e teste; iv) Redesenho e produção e v) Distribuição e comércio. Esse modelo contrasta com o Modelo Linear de Inovação, que prevê um único caminho de atividades que ocorre a partir da pesquisa e passa por fases subsequentes de desenvolvimento, produção e comercialização (KLINE; ROSENBERG, 1986).

2.4 AS DIFERENTES DIMENSÕES DOS SISTEMAS DE INOVAÇÃO

Diante da necessidade de analisar as relações para o desenvolvimento de aprendizado e inovação a partir da dinâmica sistêmica, busca-se dimensionar a amplitude da cooperação entre diferentes agentes. Nesse sentido, a abordagem sobre os sistemas de inovação busca analisar os limites geográficos entre instituições e atores, bem como na atuação de governos regionais e locais. Enquanto nos SNIS os aspectos são tratados em maior amplitude, os Sistemas Regionais de Inovação (SRIS) correspondem a mecanismos regionais e suas interações e em menor extensão. Nos Sistemas Locais de Inovação (SLIS), a aprendizagem é disseminada por meio da cooperação em relação às proximidades geográficas e tecnologias específicas.

No que diz respeito aos aspectos setoriais dos sistemas de inovação (SSIS), estes se caracterizam pela inexistência de uma delimitação geográfica definida, *a priori*, de modo que um mesmo sistema setorial de inovação pode abranger diversas regiões ou países (MALERBA, 2004). Cabe destacar que o conceito sobre Sistemas Setoriais de Inovação (SSIS) será abordado de forma mais detalhada, devido à especificidade da pesquisa em relação ao tema.

2.4.1 O conceito de Sistemas Regionais de Inovação (SRIS)

A análise que engloba experiências em nível regional é abordada por meio dos SRIS. Nesse cenário, os determinantes são pautados a partir de aspectos econômicos regionais, com características específicas referentes à geração e difusão da inovação. Esse conceito surgiu como um novo entendimento das necessidades das regiões no período posterior à introdução da chamada globalização econômica. Nesse cenário, a importância das externalidades locais favorece a concentração geográfica das atividades industriais e sugere que a acumulação de competências e conhecimento ocorrem dentro de determinados limites geográficos. Diante disso, esses elementos proporcionam as relações em rede e, assim, favorecendo crescimento econômico local (MASKELL; MALMBERG, 1997).

Para Cooke e Morgan (1994), os SRIS representam fator importante na expansão das firmas e isso ocorre por meio de características específicas de determinadas regiões. Os autores afirmam que um padrão regional de

desenvolvimento facilita um processo coletivo de aprendizado por meio da difusão de informações e conhecimento. Na visão dos autores, um sistema de produção regionalizado ajuda a reduzir os elementos da incerteza dinâmica e isso impulsiona o processo inovativo. Isso acontece em decorrência do envolvimento de atores e instituições para o desenvolvimento regional.

Nesse mesmo contexto, Maskell e Malmberg (1997) afirmam que regiões podem desenvolver um certo grau de especialização em uma linha de indústria, apoiada pela integração regional específica. Além disso, outros fatores podem impulsionar o desenvolvimento de uma região específica como uma estrutura para a promoção de incentivos ou o mecanismo de atividades econômicas e valores e crenças da população em geral. As vantagens profissionais para novos investimentos em uma região podem representar melhores condições se comparadas a qualquer outro local concebível. Isso pode resultar no aprofundamento maior em termos de aprendizado e especialização regional. Em síntese, a interação sistemática tem como finalidade a geração de aprendizagem, por meio da cooperação regional, que é institucionalmente construída.

2.4.1.1 Exemplos na formação dos SRIS

Os SRIS são definidos a partir de algumas características específicas como acumulação de competências, *know-how* e conhecimento em regiões espacialmente delimitados. Isso pode favorecer um cenário de estímulo para a geração e difusão de tecnologias (COOKE; MORGAN, 1994). Nesse sentido, esses sistemas formam um ambiente de desenvolvimento estratégico que facilitam as conexões e alimentam a competitividade por meio da inovação. Outro importante fator se refere a proximidade dos agentes que, de forma geral, facilita a troca de conhecimentos e cria condições para a transferência e difusão de novas tecnologias.

Um exemplo da relação intrínseca de interdependência entre inovação e transferência de conhecimento entre firmas pioneiras em TICS ocorreu com a formação do Vale do Silício, localizado na Baía de São Francisco na costa oeste dos EUA. Nesse contexto, a trajetória de firmas como a *Fairchild Semiconductor* e a *Texas Instruments*, *Transitron* e *Sylvania* ganharam destaque em meados do século XX. As estratégias de parcerias entre a *Fairchild* e *Texas* com universidades, somados a

investimentos públicos, resultaram no desenvolvimento de produtos como os microchips para computadores. Isso representou uma das mais importantes inovações radicais tecnológicas da história dos computadores modernos (STURGEON, 2010).

O impacto dos investimentos em P&D e dispositivos de alta intensidade tecnológica resultou no complexo industrial com os maiores *players* tecnológicos do mundo. No estudo organizado por *Endeavor Insight* (2014), é apresentada a trajetória da firma *Fairchild* (uma das empresas pioneiras do Vale do Silício) e dos *spin-offs* que foram originados a partir desta empresa. No referido estudo, foram analisadas mais de 130 firmas tecnológicas na região do Vale do Silício que negociavam na *NASDAQ* ou na Bolsa de Valores de Nova York. Essa pesquisa demonstrou que 70% dessas firmas tiveram origem direta, a partir de empresas criadas por fundadores e funcionários da *Fairchild*. Hoje é possível identificar mais de 2000 firmas de *spin-offs* originadas da *Fairchild Semiconductor*. Algumas dessas são a *Apple*, *Google*, *Symantec*, *Cisco*, *LinkedIn*, *Netscape* e *PayPal* *Pixar*, *Nest*, *WhatsApp*, *YouTube*, entre outras. A Figura 1 apresenta as firmas originadas da *Fairchild* em 12 anos.

Diante disso, é possível afirmar que os avanços em inovação nos EUA que foram originados no Vale do Silício, atualmente, abrangem estratégias de indústrias tecnológicas que excedem os limites regionais e nacionais. Esses sistemas atuam diretamente na produção de conhecimento e representam cerca de 40% da economia norte-americana. O atual projeto norte-americano denominado “Manufatura Avançada”, tem como objetivo fortalecer as cadeias produtivas com TICS avançadas por meio de uma rede nacional de centros de inovação industrial. Além desses fatores, os investimentos em *startups* e formação acadêmica representam importantes ações que atraem cerca de 60% do capital de risco global (BOZEMAN; SAREWITZ, 2011).

O que ocorreu no Vale do Silício naquele período foi o surgimento de um sistema de inovação que, na visão de Malerba (1993), concentrou-se em projetos de engenharia e não em ciência de base. Esse conhecimento tornou-se mais tácito à medida que as firmas pioneiras acumularam aprendizado para a criação de novas tecnologias e perceberam a demanda emergente na integração de componentes nos sistemas como novos conceitos de produtos.

saúde resultam em *players* globais, tendo como base de origem a região da grande Boston. Nesse sentido, é possível destacar ações conjuntas entre o *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) e a Universidade de *Harvard* que, juntamente com suas empresas spin-off e afiliações de P&D, estiveram entre os pioneiros globais no desenvolvimento de empreendimentos acadêmicos modernos e clusters de alta tecnologia (ETZKOWITZ, 2002). Nesse contexto, cabe também destacar que a Rota 128 sempre dependeu da política de defesa do governo norte-americano, quando em 1962, por exemplo, as compras governamentais representavam cerca da metade do faturamento das empresas locais da região (HULSINK *et al.*, 2007). O MIT e seus laboratórios especializados de pesquisa (como os *Draper & Lincoln Labs*), tem feito até hoje parte do complexo industrial bélico norte-americano. Da mesma forma, importantes contratos de defesa aeroespacial foram concedidos a empresas relacionadas ao complexo industrial localizado na Rota 128.

De modo geral, a dinâmica dos SRIS pode ser compreendida com base em três aspectos: i) na proposta de aprendizagem interativa com base na transferência de conhecimentos; ii) em relação à infraestrutura da rede de atores e instituições, que envolve regras, normas, valores e o desenvolvimento de recursos humanos e materiais e iii) em relação das estratégias empresariais criadas e reproduzidas dentro e fora das organizações empresariais. Diante disso, um SRI pode ser descrito como o conjunto de diferentes elementos que direcionam as estratégias para o desenvolvimento da inovação em diferentes firmas. As firmas desempenham papel principal na rede em decorrência acomodarem o processo de acumulação de conhecimento e aprendizagem para a geração da inovação. A conformação do sistema ocorre com a convergência entre instituições de pesquisa e por meio de política regional de inovação (COOKE *et al.*, 1998).

Busca-se, diante das diferentes perspectivas apresentadas em nível local e regional, analisar possibilidades de conformação de ambos os padrões de organização que não se excluem ou competem, mas podem sintetizar esforços para o desenvolvimento de novos setores industriais. Nesse sentido, Cassiolato e Lastres (1999) descrevem a dinâmica de desenvolvimento como “globais-locais”, frente ao desenvolvimento de relações crescentemente diretas e imediatas entre estas esferas. Para isso, observa-se que estratégias locais de PD&I têm se caracterizado como componente crescentemente para o desenvolvimento de políticas industriais em nível regional ou, até mesmo, nacional. Os aspectos que consideram a relevância e

contribuições dos SLI, principalmente em países em desenvolvimento, ocorrem no sentido de possibilitar (i) oportunidades de emprego em uma conjuntura onde estes se tornam cada vez mais restritos; e (ii) em muitos casos, significarem a possibilidade mais importante (ou única) de promoção do desenvolvimento econômico local.

Por fim, independente da abrangência dos sistemas de inovação, é possível afirmar que a conformação das redes em diferentes níveis possibilita às firmas desenvolverem ações para alavancar o processo inovativo. Nesse cenário, é importante considerar a existência de obstáculos para obtenção de conhecimento e realização de P&D, principalmente em relação à dependência tecnológica e países industrialmente desenvolvidos, que dispõem de cases sólidas de desenvolvimento científico e tecnológico. Assim, a complementaridade em busca de aprendizado tecnológico pode representar um importante fator para a inserção competitiva de economias menos industrializadas no processo global. A próxima subseção aborda o estudo dos sistemas de inovação no contexto setorial. Cabe ressaltar que diferentes dos SLIS e dos SRIS, a abordagem setorial pode abranger diversas localidades, regiões ou países (MALERBA, 2004).

2.4.2 As principais características dos Sistemas Locais de Inovação (SLIS)

As características geográficas dos sistemas de inovação são definidas a partir de elementos relevantes do desenvolvimento em nível subnacional, isto é, de regiões, estados e/ou municípios ou ainda de segmentos econômicos que integram o país em análise. Nesse contexto, os estudos sobre SLIS descrevem as formas de cooperação entre os agentes e o papel do espaço local no desenvolvimento das competências das firmas. O conceito de SLI refere-se aos arranjos e agentes responsáveis pela internalização do progresso tecnológico na dinâmica econômica de uma localidade (COOKE *et al.*, 1997). Por extensão, as relações que envolvem esse sistema, também envolvem o papel do Estado como agente de fomento e direcionamento de políticas e as atividades de mercado para o processo inovativo (ACS *et al.*, 1996).

Cassiolato e Lastres (1999) descrevem os SLIS como um espaço geográfico favorável ao desenvolvimento de redes de múltiplas partes, formas de cooperação e troca relacional. Assim, os sistemas locais podem representar uma importante e válida alternativa de desenvolvimento econômico diante de limites geográficos. ACS *et al.*

(1996) também argumentam que a rede de inovação pode ser estruturada em um meio localizado restrito, onde as características socioculturais desse ambiente dinâmico são provavelmente encontradas. Na visão dos autores, "em complexos de produção tecnologicamente dinâmicos, há uma forte razão para a existência de clusters ou aglomerações regionais" (ACS, *et al.*, 1996, p. 8). Assim, é possível afirmar que um SLIS pode representar a forma geográfica principal das relações entre aprendizado e tecnologia e, em certa medida *lock-in*. Isso ocorre devido à proximidade dos agentes que compõem o referido o sistema. Outros fatores como convenções locais e especificidades relacionadas às culturas, regras e instituições político-econômicas que, em alguns países são altamente diferenciadas em nível nacional, também podem favorecer esse modelo de sistema em nível localizado. Assim, um local específico pode desencadear o aprendizado tecnológico e redes de inovação em uma área subnacional muito mais rápido do que em outras (COOKE *et al.*, 1997).

Por outro lado, os sistemas locais podem encontrar resistências em decorrência da dinâmica do mercado e da centralização das políticas no nível nacional de inovação. Nesse sentido, as dificuldades na formulação de políticas locais, frente as recentes mudanças estruturais nas relações econômicas e sociais, associados ao processo de globalização podem resultar em impedimentos nos avanços de SLIS (LASTRES *et al.*, 1999). Além disso, outros fatores podem impactar a conformação desses sistemas, como de homogeneização das cadeias de valores globais, integração das firmas e centralização internacional da hegemonia. Em síntese, os autores afirmam que ocorre a intensificação da tendência de o espaço de fluxos se sobrepor ao espaço de lugares. Nessa perspectiva, é possível afirmar que existe uma estrutura que privilegia uma lógica global dominante de interesses que avança em relação aos espaços locais.

O paradigma territorial, neste caso, apresenta características específicas em relação a recursos (know-how, competências e capital) e os atores (empresas, agentes públicos e instituições de apoio) que são necessários para a inovação em nível local. Alguns exemplos podem ser descritos, como no caso dos *millieus* inovativos, onde os sistemas locais de inovação são formados por empresas, instituições e populações locais dentro de um processo de desenvolvimento econômico (CAMAGNI, 1991). De modo geral, os meios para a inovação são articulados em torno de três principais eixos: dinâmica tecnológica, mudanças nos territórios e mudanças organizacionais. Cada um desses eixos é organizado a partir

de demandas específicas locais que podem determinar os pontos de integração (CAMAGNI, 1991).

O outro exemplo descreve a abordagem que trata dos distritos industriais foi originalmente descrita por Marshall na obra “Princípios da Economia” em 1890 e ganhou destaque a partir dos estudos de Piore e Sabel (1984). Os autores descrevem o desenvolvimento local a partir dos exemplos na indústria italiana nos 70 e 80. O case Terza Itália⁵ relatou uma importante realidade econômico-social, organizada a partir de uma rede de inovação constituída pelo processo de cooperação entre pequenas e médias empresas locais. As demandas de mercado, bem como as escalas de produção e qualidade, representavam novos determinantes de especialização flexível como contraponto saturação dos meios de produção em massa, descritas pelos autores como pouco ágil e flexível.

A experiência dos arranjos locais de firmas em setores tradicionais na Europa estimulou o interesse na pesquisa de formatos similares, como Baden-Württemberg na Alemanha e Emília-Romagna na Itália. O caso do estado de Baden-Württemberg, na Alemanha, é conhecido como o maior polo de inovação da Europa. O polo regional concentra mais de 4 mil empresas, universidades e instituições de pesquisa com foco no desenvolvimento de tecnologias industriais. O setor automobilístico e máquinas voltadas para sistemas de automação industrial são os pontos fortes da indústria dessa região (FIEP, 2021). A alta concentração de fabricantes de máquinas, infraestrutura para P&D e instituições de ensino, proporcionou um cenário de conexão e complemento entre as diferentes áreas, formando uma densa rede econômica ao longo da cadeia de valor na área de tecnologia em produção. As conexões dessa rede de produção e inovação agregam competências e sinergias para o fortalecimento da competitividade internacional das indústrias da região. Outros pontos importantes desse SRI estão relacionados às estratégias voltadas para exportação, que contam com apoio do Estado, principalmente no que diz respeito à pesquisa de base (FIEP, 2021).

Por fim, é possível destacar a região de Emília-Romagna. Esse sistema foi estruturado por meio de redes interfirmas e de políticas regionais. As principais características são os processos de colaboração e cooperação, que sobrepõem à

⁵ A Terza Itália é caracterizada por concentrar diversos distritos industriais construídos por pequenas e médias empresas e localizados em pequenas cidades especializadas na produção industrial tradicional, como cerâmica vermelha, têxteis e máquinas ferramentas (LASTRES *et al.* 1999).

competição. Cooke (2001) detalhou o SRI da Emília-Romagna como um tecnopolo não-linear e descentralizado que reúne esforços para difusão e transferência de tecnologias. Outros importantes fatores são descritos por meio de estratégias que transformaram a economia de aglomeração de baixo grau de valor do início da década de 70, em forte sistema de indústrias líderes mundiais em 20 anos. Exemplos dos distritos de cerâmica de Sassuolo e de moda de Carpi e agro alimentos de Parma demonstram alguns dos principais segmentos da região. BERTINI (2012) detalha esse SRI em quatro fases de desenvolvimento: i) Intervenção estatal de base horizontal com o fomento estatal a partir da criação de agências regionais, entidades patronais e empresas; ii) Reestruturação industrial nos distritos produtivos e incentivo de P&D e tecnologias também por meio de agências de fomento; iii) Políticas de nova geração, na agregação de valor em marcas próprias da região, integração entre os fabricantes de produtos e os fabricantes de equipamentos visando desenvolvimento tecnológico, além do estímulo de parcerias; iv) A quarta e atual etapa consiste no fortalecimento do sistema regional da inovação em busca de estratégias de aprendizado cooperativo e “*smart specialisation*”. Dessa forma, este SRI tem como meta atual o estímulo da inovação como aumento na velocidade de criação e produção de conhecimento.

Diante destes exemplos, destacam-se como as principais características a proximidade e o processo de colaboração entre firmas. Além disso, destacam-se o predomínio de pequenas e médias empresas, as características socioculturais e o apoio de governos regionais e municipais (SCHMITZ, 1995; LASTRES, 1999).

Os exemplos apresentados que, de modo geral, podem ser organizados por meio de redes de pequenas e médias empresas, apresentam vantagens diante de possibilidades observadas historicamente em sistemas de inovação. O desenvolvimento local, com base na proximidade das firmas e em características socioculturais e geográficas, pode resultar em transformações tecnológicas e econômicas. Por outro lado, a redução dos ciberespaços em oposição ao distanciamento geográfico e a integração das cadeias globais de valor, que são resultados dos avanços das tecnologias de comunicação, podem comprometer as condições locais para a organização e desenvolvimento dos distritos industriais. Certamente isso não anula ou impede o surgimento de novos sistemas locais, porém, pode exigir organização e direcionamento por meio de observatórios e universidades locais e serviços de apoio a pequenos fornecedores. A próxima subseção trata de uma

amplitude maior em relação aos sistemas de inovação, com foco em características setoriais.

2.4.3 As especificidades dos Sistemas Setoriais de Inovação (SSIS)

A abordagem setorial sobre sistemas, que representa o foco de análise nesta tese, descreve um SSI como o conjunto de agentes que direcionam relações de mercado e não mercado para a criação e venda de produtos (MALERBA, ORSENIGO, 1997). Para Breschi e Malerba (1997, p. 131), um SSI é composto por firmas que atuam em determinado setor e se relacionam por meio do “processo de interação e cooperação no desenvolvimento de produtos ou por processos de competição e seleção de atividades inovadoras e de mercado”.

Essa abordagem tem como elemento central a não existência de limites geográficos, permitindo uma amplitude que engloba diferentes regiões ou países. Diante disso, Breschi e Malerba (1997) afirmam que as fronteiras geográficas são endógenas e dependem das condições específicas de cada setor e são delimitadas pela extensão do conhecimento, pela demanda que independe de limites geográficos e por relações entre atores e instituições para a produção tecnológica. Logo, é importante ressaltar duas situações pontuais, a primeira se refere a determinado segmento onde há o número reduzido de firmas que competem em níveis nacional e global e estão concentradas geograficamente. Por outro lado, o setor pode ser composto por muitas firmas (geralmente pequenas) que estão situadas em diferentes locais. Em ambos os casos, os autores apontam que o conhecimento e os recursos tecnológicos incorporados por firmas, moldam a natureza e a intensidade dos processos de concorrência e seleção. No entanto, observa-se que os processos para a produção de conhecimento, assim como, as tecnologias originadas do acúmulo de conhecimento e características de demanda e competitividade, são diferentes em alguma medida, com especificidades para cada firma. Para Malerba (2004), esses elementos podem ser organizados de acordo com os processos de comunicação, competição, cooperação e troca. Assim, o aprendizado para a produção de conhecimento é específico a uma firma e não acontece de forma automática e livre, mas como resultado sua capacidade acumulada ao longo do tempo. Observa-se, neste cenário, que a inovação em setores específicos tem características sistêmicas

importantes (MALERBA; ORSENIGO 1994), que podem percorrer diferentes caminhos na construção do aprendizado (PAVITT, 1984).

Em primeiro lugar, esses caminhos podem ser iniciados por fornecedores e estão relacionados à inovação incremental que são alocadas preferencialmente em máquinas e equipamentos. Neste caso, as formas de aprendizado são orientadas por meio de *learning-by-doing* (DOSI *et al.* 1992), e *learning-by-using* (ROSENBERG, 1982). Outra forma é relacionada a apropriabilidade adquirida por meio do *learning-by-interacting* (LUNDVALL, 1992), que reforça as relações entre fontes internas e externas de inovações, resultando em avanços que, em muitas situações impactam processos de reengenharia e mudanças no escopo de negócios da firma. Outro caminho para a construção do processo de aprendizado pode ser percorrido com o aprimoramento e customização de novas tecnologias, que são implantadas por fornecedores especializados. As fontes de inovação, neste exemplo, são internas (conhecimento e experiência técnicas qualificadas) e externas (interação fornecedor-cliente). Por fim, são os setores de base científica, com altos índices de inovação de produtos e processos, com P&D interna e pesquisa científica realizada em universidades e institutos de pesquisa público, que também representam um importante caminho para a construção do aprendizado. A apropriabilidade acontece de várias maneiras, como patentes, curvas de aprendizagem e proteção através de patentes.

No entanto, cabe ressaltar um importante aspecto relacionado ao papel do Estado na organização e articulação de políticas para o fortalecimento dessas redes de cooperação. Na visão de Edquist (2004), os caminhos descritos podem ser conformados por meio dos agentes institucionais que os viabilizam por meio de instrumentos para a composição de políticas públicas. Assim, as estratégias de desenvolver setores chaves na economia, podem apresentar resultados fundamentais e amplos para o desenvolvimento econômico e social de determinado país (SHIMA, *et al.* 2018). Isso está relacionado com a abordagem neoschumpeteriana que busca identificar elementos de política industrial em um ambiente sistêmico, de forma que o Estado tenha o papel de se apresentar como agente central para possibilitar a interação entre atores e outros nós da rede que pertencem ao SSI. Nesse cenário, as estratégias direcionadas pelo Estado devem orientar ações favoráveis ao desenvolvimento tecnológico e científico. O próximo capítulo tratará das formas de articulação do Estado para a implantação de políticas industriais.

Diante disso, quando se analisa nas trajetórias de desenvolvimento tecnológico, os diferentes agentes e componentes de um sistema setorial, é necessário identificar quais ações as firmas buscam para a geração de conhecimento. Nesse contexto, Breschi e Malerba (1997) destacam outros elementos para o desenvolvimento do ambiente tecnológico em que as firmas operam e buscam novas formas de aprendizado. Esses elementos são relacionados com a i) oportunidade, diante de recursos disponíveis; ii) apropriabilidade, no sentido de proteger inovações de imitações; iii) cumulatividade, referente a geração de conhecimentos com base em experiências anteriores e as características internas à firma da base do conhecimento. De acordo com os autores, cada uma destas dimensões possui características específicas relacionadas ao conhecimento no âmbito de seu contexto institucional intrínseco. Na visão dos autores, a trajetória de aprendizado é conduzida por competências, experiências, nível de organização e desempenho diferenciados. Como forma de detalhar essa teoria, a próxima subseção apresenta o conceito de regime tecnológico (RT) para identificar elementos que relacionam os efeitos e impactos das TICS nos processos de aprendizagem nível da firma. Busca-se, assim, analisar o ambiente de conhecimento no qual as firmas estão inseridas.

2.4.4 Os regimes tecnológicos e a organização do processo de aprendizado na firma

Nesta subseção, serão abordados elementos que impactam as capacidades tecnológicas das firmas. Esses elementos foram também investigados no trabalho de campo, quando ocorreram entrevistas com gestores setoriais e responsáveis pela linha de produção (chão de fábrica) e profissionais ligados à área técnica relacionados ao objeto da pesquisa. Buscou-se, com isso, compreender como a firma organiza e direciona as estratégias de inovação e como essas estratégias podem mantê-la competitiva ao longo do tempo. Os resultados da pesquisa empírica serão apresentados no Capítulo 6.

Em relação às capacidades das firmas para o desenvolvimento tecnológico, Teece (2005) e Teece *et al.* (1997) apresentam dois importantes aspectos. O primeiro diz respeito às diferentes formas de alavancar ativos existentes para novos negócios e o segundo analisa a combinação de diferentes mecanismos de aprendizado para estabelecer novos negócios com foco em novos mercados. Isso implica na

reformulação de processos e mudanças no escopo das atividades da firma. A questão fundamental a ser investigada, na visão de Teece *et al.* (1997), está relacionada com os diferentes caminhos que as firmas percorrem para sustentar a vantagem competitiva. Para isso, a análise das competências tem como foco identificar as fontes e métodos de criação e captura de novas tecnologias por firmas que operam em ambientes de rápidas mudanças tecnológicas. Ainda nesse contexto, Malerba e Orsenigo (1993), descrevem o ambiente de aprendizado tecnológico a partir da combinação de quatro dimensões, que são: oportunidade, apropriabilidade, cumulatividade e as características das bases de conhecimento. Essas dimensões fornecem uma descrição do ambiente tecnológico⁶ em que as firmas operam e buscam identificar as dimensões-chave do aprendizado tecnológico e consequente mudanças tecnológicas.

Busca-se, assim, identificar as condições relevantes que são geradas dentro das firmas em uma perspectiva setorial. Diante disso, é possível afirmar que os conceitos apresentados são complementares e são orientados por elementos básicos das firmas que buscam condições para o desenvolvimento tecnológico. Nesse contexto, os autores sugerem que as firmas são motores nesse processo de desenvolvimento, por favorecerem a geração de inovação. Isso ressalta a importância dos sistemas de inovação e apresenta convergências com o que se propõe e defende nesta pesquisa, que se resume na compreensão de como ocorre a conformação de um sistema setorial específico para o desenvolvimento de novas tecnologias. Assume-se que, para compreender o processo de desenvolvimento tecnológico e seus impactos na economia, se faz necessário identificar como ocorre o aprendizado nas firmas. A análise do ambiente tecnológico apresentada por Malerba e Orsenigo (1993) é uma combinação particular de:

i) Condições de oportunidade: que estão relacionadas às facilidades de inovar diante de quaisquer recursos disponíveis para pesquisa. Malerba e Orsenigo (1993) descrevem duas dimensões da oportunidade: i) Nível de oportunidade: em referência aos incentivos para investimentos em atividades inovadoras. Diante

⁶ O ambiente tecnológico (leia-se novas tecnologias disruptivas) é descrito por Nelson e Winter (1982) e Winter (1986), como regime tecnológico. Por meio dos estudos sobre regime tecnológico, os autores apresentam ambientes com diferentes condições de oportunidade, apropriabilidade e cumulatividade relacionados à base de conhecimento relevante, que podem levar a diferentes padrões na evolução industrial.

disso, o ambiente tecnológico em condições de alta oportunidade, pode definir um estágio inicial de desenvolvimento de determinada indústria; ii) Pervasividade (*pervasiveness*) tecnológica: refere-se a variedade de produtos e mercados nos quais se pode investir. Oportunidades altamente difundidas significam que novos conhecimentos podem ser incorporados em diferentes produtos e mercados. Por outro lado, a baixa difusão significa que o novo conhecimento diz respeito apenas a uma menor amplitude desses mercados e produtos.

- ii) **Condições de apropriabilidade:** estão associadas às possibilidades de proteger inovações da imitação. As estratégias para proteção das atividades inovadoras podem ser adotadas através de registros de patentes ou com o sigilo e controle de ativos complementares. Outra estratégia pode ser direcionada para inovações contínuas que, neste último exemplo, estão relacionadas com inovações incrementais. Neste cenário, os ambientes com alto grau de apropriabilidade propiciam as inovações radicais. Já as baixas condições de apropriabilidade apresentam ambientes tecnológicos caracterizados pela existência generalizada de externalidades (ou imitações).
- iii) **Graus de cumulatividade do conhecimento tecnológico:** que caracterizam às condições e possibilidades de geração de novos conhecimentos que uma firma produz, com base nas experiências já existentes. Isso pode refletir em vantagem competitiva, uma vez que a alta cumulatividade está diretamente relacionada com domínio de determinada tecnologia e facilidade em criar novos produtos e processos. Diante disso, os autores definem três níveis de cumulatividade: no nível tecnológico pode estar relacionada à natureza cognitiva dos processos de aprendizagem e às características específicas das tecnologias. No nível organizacional, pode estar relacionada às atividades de aprendizagem e no nível da firma, aos investimentos em P&D.
- iv) **Características da base de conhecimento relevante:** caracterizadas a partir de duas dimensões: subjacência (*tacitiness*) e complexidade do conhecimento. A base de conhecimento pode ser primariamente tácita, local e específica da firma e que pode, de alguma maneira, ser codificada e transferível. A complexidade do conhecimento diz respeito ao processo interdisciplinar relacionado à inovação e à variedade de competências relacionadas ao processo de produção, à natureza dos mercados, às características da demanda. Nesse sentido, Nelson e Winter (1982), Dosi (1998), Lundvall (1992), Johnson (1994) também descrevem em seus

estudos, que o conhecimento está na base da mudança tecnológica e desempenha um papel central na inovação. Além disso, Nelson e Winter (1982) afirmam que o conhecimento é altamente idiossincrático no nível da firma, que não se difunde de forma automática e livre entre as firmas, pois é absorvido por meio de suas diferentes capacidades acumuladas ao longo do tempo.

Os determinantes dessas dimensões dependem de características específicas dos setores e definem opções e *trade-offs* em termos da escolha estratégica das firmas (BATAGLIA *et al.*, 2011). Nesse contexto, o comportamento da firma pode ser relacionado às estratégias tecnológicas e às escolhas organizacionais básicas, que definem o ambiente de avanços tecnológicos para um setor específico. Ao analisar os padrões de atividades inovadoras, Malerba e Orsenigo (1990) afirmam que as estratégias factíveis para avanços na inovação, são intensificadas quando há alto nível de oportunidades tecnológicas, mais baixo o grau de apropriabilidade das inovações, alto grau de cumulatividade do progresso técnico, e mais complexa for a base de conhecimento. Em particular, a facilidade de entrada de novos inovadores em um setor está relacionada a condições de alta oportunidade, baixa apropriabilidade e baixa cumulatividade.

Uma análise setorial viável, pode ser estruturada ao relacionar os regimes tecnológicos, com o comportamento da firma em termos de estratégias para inovação. Isso poderá fornecer possibilidades para a compreensão da capacidade que a firma tem em desenvolver novos produtos, processos ou métodos e, a partir disso, como pode ocorrer a conformação de um sistema de inovação em nível setorial, por meio de parcerias e transferências de conhecimento na busca de novas tecnologias. No estudo desenvolvido por Malerba e Orsenigo (1993), os autores apresentam uma matriz de estratégias para tecnologias (Quadro 4) onde a proposta é examinar as trajetórias tecnológicas da firma de acordo com as condições de oportunidade, apropriabilidade e cumulatividade.

No caso da matriz de estratégias, esta é definida a partir de três dimensões: i) Busca de novas tecnologias; ii) Uso de determinadas tecnologias e iii) Fortalecimento das condições de apropriabilidade.

QUADRO 4 – ESTRATÉGIAS TECNOLÓGICAS BÁSICAS

	Alta Oportunidade		Baixa Oportunidade	
	Alta Cumulatividade	Baixa Cumulatividade	Alta Cumulatividade	Baixa Cumulatividade
Alta Apropriabilidade	I Prospecção/ Busca Exploração/Uso	III Prospecção/ Busca	V Exploração/ Uso	VII Não há inovação
Baixa Apropriabilidade	II Prospecção/ Busca e aumento da apropriabilidade - Exploração/ Uso e aumento da apropriabilidade - Imitação	IV Prospecção/ Busca e aumento da apropriabilidade Imitação	VI Exploração/ Uso e aumento da apropriabilidade Imitação	VIII Não há inovação

Fonte: MALERBA e ORSENIGO (1993, p. 61, tradução do autor).

Os resultados obtidos por meio da análise dessas relações demonstram que, em condições de alta oportunidade, alta cumulatividade e alta apropriabilidade (Quadrante I), as firmas podem seguir estratégias de exploração/uso de novas tecnologias, busca de tecnologias existentes ou busca de novas tecnologias. Isso ocorre devido às condições favoráveis para o desenvolvimento de inovação, com recursos e meios, além de experiências acumuladas de conhecimentos anteriores. Observa-se, também, atividades para a proteção dos ativos impedem as imitações.

A análise do Quadrante II indica, na visão dos autores que, em condições de alta oportunidade e alta cumulatividade, mas baixa apropriabilidade, as estratégias de exploração de novas tecnologias ou de exploração das existentes devem ser combinadas com estratégias que visam fortalecer a apropriabilidade. Nessas condições, as firmas seguidoras podem eventualmente seguir uma estratégia de imitação. Isso ocorre com firmas de software, que buscam fortalecer a apropriabilidade por meio do uso de ativos complementares, como distribuição, serviços de pós-venda e assistência ao cliente.

Em condições de alta oportunidade e alta apropriabilidade, mas baixa cumulatividade (Quadrante III), as firmas podem ser induzidas a seguir estratégias de

busca por novas tecnologias. O mesmo vale para situações de alta oportunidade, mas baixa apropriabilidade (Quadrante IV), porém neste caso, as firmas também podem seguir estratégias de fortalecimento da apropriabilidade. Nesse quadrante, também a imitação é uma estratégia viável e isso pode denotar que existem poucas atividades de P&D na firma e, como consequência menor é a complexidade do conhecimento. Isso pode ser o caso das pequenas firmas (*startups*) de base tecnologia.

Quando ocorre alta cumulatividade e alta apropriabilidade, mas baixa oportunidade, as estratégias de uso das tecnologias existentes, representam estratégias viáveis (Quadrante V). No caso de baixa apropriabilidade, no entanto (Quadrante VI), as firmas líderes também podem seguir estratégias de fortalecimento da apropriabilidade, enquanto as firmas seguidoras podem escolher estratégias imitativas. Por fim, no caso de baixa oportunidade, baixa cumulatividade e alta apropriabilidade (Quadrante VII), não há atividade inovadora sistemática por parte das firmas. O que se repete, em caso de baixa oportunidade, baixa apropriabilidade e baixa cumulatividade, as firmas (Quadrante VIII) não realizam nenhuma atividade inovadora.

As conclusões deste estudo, retratam que uma situação de alta oportunidade, alta cumulatividade e baixa apropriabilidade (Quadrante II) é a que apresenta o maior número de estratégias viáveis para a inovação incremental. A alta oportunidade permite estratégias de busca, a alta cumulatividade permite estratégias de uso de tecnologias existentes, enquanto a baixa apropriabilidade permite que as firmas seguidoras busquem estratégias de imitação. No entanto, este cenário leva firmas inovadoras a fortalecer ações de proteção da inovação.

Observa-se também, que em uma situação de alta oportunidade e alta cumulatividade, ocorre a incidência de *trade-off* entre o uso contínuo das tecnologias existentes com nenhuma busca de novas tecnologias, ou a busca contínua de novas tecnologias sem o uso das tecnologias existentes. A busca por si só pode implicar em alto custo para encontrar produtos totalmente novos sem poder mais tarde obter lucro com novos produtos. Já o uso de tecnologias por si só pode implicar em risco de que as firmas acabem por ficar fechadas por muito tempo em tecnologias, sem se mover rapidamente para novas soluções. Diante disso, cabe ressaltar que, as estratégias para inovação podem ser ampliadas, caso seja considerada a complexidade do conhecimento relacionadas às novas tecnologias.

De modo geral, é possível afirmar que o ambiente tecnológico definido em

termos de nível e difusão de oportunidades, níveis de apropriabilidade e cumulatividade e complexidade da base de conhecimento, moldam o conjunto de comportamentos viáveis das firmas em relação ao processo de aprendizagem para o desenvolvimento tecnológico. A organização destes elementos, tem como objetivo identificar as estratégias das firmas em relação à inovação. A próxima seção apresenta, além destes aspectos, a relação entre os SIS e a Indústria 4.0 como uma estratégia deliberada que foi incorporada como política pública pelo Governo da Alemanha.

2.5 A RELAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE INOVAÇÃO E AS NOVAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

O conceito referente à Indústria 4.0 apresenta as novas tecnologias como ferramentas que permitem a remodelagem e integração dos processos de produção (BRYNJOLFSSON; MCAFFEE, 2014; SCHWAB, 2016; SÁTYRO, *et al.*, 2018). Uma análise mais detalhada da Indústria 4.0 será apresentada no Capítulo 4. Apesar da ênfase técnica que envolve o tema, cabe destacar o caráter conceitual e sistêmico direcionado à Indústria 4.0. Essa discussão pode reforçar o argumento de que a inovação orientada por políticas industriais pode englobar redes de inovação entre empresas, academia e políticas públicas (REISCHAUER, 2018). Segundo o autor, a discussão sobre os fundamentos da Indústria 4.0 pode contribuir para a compreensão da relação entre políticas industriais e as redes de inovação na produção tecnológica.

O exemplo da Alemanha é referência nos estudos da Indústria 4.0 e representa o retorno explícito e deliberado das políticas industriais que foram expandidas para outros países industrializados (REISCHAUER, 2018; KIEL *et al.*, 2020). As estratégias do governo alemão formaram um conjunto de regras de competitividade e de condições para a formação de oligopólios e fontes de lucro. As políticas implementadas a partir de 2011 permitiram avanços na fronteira tecnológicas e a estruturação das redes de inovações radicais, que ampliaram o arcabouço de possibilidades tecnológicas (SCHROEDER, 2016; REISCHAUER, 2018; VEILE *et al.*, 2020).

Um exemplo de como ocorrem as relações entre os SIS e a Indústria 4.0 na Alemanha é descrito no *case* dos Sistemas Tecnológicos Inteligentes *OstWestfalen*

Lippe – OWL, que se refere a um cluster de tecnologias digitais voltados para equipamentos e processos industriais. Segundo Reischauer (2018), a OWL é um caso da promoção do desenvolvimento tecnológico que foi fomentada pelo Governo alemão. O objetivo dessa ação política foi promover a inovação entre as empresas localizadas na região da Renânia do Norte-Vestfália, que foram criadas para a produção de máquinas, equipamentos mecânicos e, também, componentes elétricos e eletrônicos. Como resultado, ocorreu o fortalecimento dessas indústrias, que representam hoje um *host* global para sistemas técnicos inteligentes (REISCHAUER, 2018).

A organização dessa estratégia ocorreu em 2008 como uma ação para o fomento da inovação industrial na região *OstWestfalen Lippe*. Esta ação foi executada por meio de um financiamento federal formado com recursos públicos e um consórcio de empresas alemãs de tecnologia. Esta estratégia de financiamento compôs parte de uma ação mais ampla denominada *High-Tech Strategie*, que foi uma política de inovação em larga escala que, posteriormente, recebeu o nome de *Industry 4.0*. A OWL foi uma das 15 estratégias da *High-Tech Strategie* e segue com aportes federais até o ano de 2022 (KÜHN, *et al.*, 2014; GÖTZ, JANKOWSKA, 2017; REISCHAUER, 2018). Segundo Reischauer (2018), para alcançar o objetivo de promover a inovação, a OWL reuniu interesses do setor empresarial, academia e *policy makers*. As empresas foram representadas por *startups*, médias e grandes corporações ligadas à área de engenharia mecânica, elétrica e eletrônica. Em 2015, mais de 230 empresas foram associadas ao consórcio. Já a participação acadêmica reuniu universidades e institutos de pesquisa privados e públicos. Outro ponto que merece destaque, diz respeito à criação de 6 institutos de pesquisa no período de execução da OWL. Isso resultou em 171 projetos de colaboração entre universidade-indústria, que resultaram em diversos registros de patentes e publicações científicas. Quanto a capacitação técnica necessária aos novos projetos, os Centros de Pesquisa e a *Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe* foram responsáveis pela implantação de 23 novos programas de graduação nas áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática (KÜHN, *et al.*, 2014; GÖTZ, JANKOWSKA, 2017; REISCHAUER, 2018).

Observa-se, diante disso, as relações existentes entre o Estado como um agente de fomento e o processo de cooperação entre academia e empresas. Estas relações resultaram em novas tecnologias e serviços nominadas como Indústria 4.0 e comprovaram a eficiência dos SIS como estratégia operacional para a organização

dos arranjos institucionais. Esta análise pode ilustrar a ideia central da Indústria 4.0 como um dos resultados alcançados por meio da organização sistêmica para a inovação.

Por fim, as referências teóricas descritas neste capítulo, apresentam elementos sobre a conformação de um sistema de inovação em termos de interações entre agentes, limites geográficos, aspectos de aprendizagem das firmas e, por fim, com a Indústria 4.0. A confluência destes aspectos evidencia o caráter sistêmico do processo de inovação. O próximo capítulo será direcionado para o papel do Estado para fomento da inovação em diferentes escalas, porém, com foco no nível setorial. Assume-se, neste contexto, que o Estado é o principal indutor de instrumentos para aumentar os investimentos em inovação. Nesta ótica, a abordagem defende que o Estado atue na formação de mercados e na organização das firmas e das redes de inovação (MAZZUCATO, 2014). As ações são direcionadas por meio de mecanismos de fomento e regulações para oportunidades tecnológicas e desenvolvimento industrial.

3 O PAPEL DO ESTADO NA CONFORMAÇÃO DO PROCESSO INOVATIVO

Este capítulo destina-se a analisar o papel do Estado em relação às políticas de inovação. Assume-se, neste contexto, que o Estado pode atuar como agente “condutor das ações de estímulo, desenvolvimento e articulação entre os capitais privados nacionais e multinacionais” (SHIMA *et al.*, 2018, p.2). Para Mazzucato (2014), o Estado pode também, atuar na formação e criação de mercados, bem como na organização do empresariado com foco nas novas oportunidades tecnológicas e de inovação. Nesse sentido, busca-se neste capítulo reforçar a relevância do papel do Estado na condução de políticas públicas. Para isso, desdobra-se em três seções. A primeira aborda o papel do Estado na conformação do processo inovativo, reforçando a importância dos investimentos públicos e dos SIS nas redes de desenvolvimento tecnológico. A segunda seção relata experiências de políticas industriais nos EUA e na Ásia, além de descrever as recentes políticas de inovação em diferentes países. A terceira e última seção, apresenta algumas ações que ocorreram no Brasil e orientaram a trajetória da indústria nacional. A ênfase está nas políticas a partir de 2003, com o estabelecimento de importantes ações de políticas para a inovação.

3.1 AS POLÍTICAS PÚBLICAS COMO INSTRUMENTOS DE FOMENTO À INOVAÇÃO

No decorrer da recente história de inovações e soluções tecnológicas que impactaram a forma de comunicação entre pessoas, firmas e produtos, observa-se que, em muitos casos, o sucesso de grandes *players* globais está relacionado com o apoio do Estado através de financiamentos em P&D. Os investimentos públicos, a transferência de tecnologias e os instrumentos legais direcionados pelo Estado, favoreceram a consolidação das firmas a partir do momento em que o agente público assumiu os riscos e incertezas de mercado. Mazzucato (2014) detalha esse processo, no qual as firmas estão inseridas em um ambiente onde as influências externas não podem ser controladas pelo setor privado. Como forma de coordenar essas limitações, o Estado pode alterar e influenciar o ambiente econômico por meio de políticas públicas no âmbito jurídico, fiscal e industrial.

O papel que o Estado assume em relação ao fomento de políticas públicas

representa uma das questões essenciais abordadas por autores neoschumpeterianos e para o estudo dos Sistemas de Inovação (GONDIN, 2017). Na visão neoschumpeteriana, o Estado tem papel central na condução do processo de desenvolvimento econômico e social dos países e, em particular, governos podem utilizar seus instrumentos de política pública para mediar as relações entre diferentes atores para o desenvolvimento econômico (FREEMAN; SOETE, 2008). Além disso, cabe ressaltar a ênfase direcionada ao processo de aprendizagem apresentada pela corrente neoschumpeteriana, conforme apresentado anteriormente.

Nesse cenário, o direcionamento de políticas de inovação para fomentar atividades de cooperação pode atuar no sentido de reconfigurar a estrutura produtiva em setores estratégicos para o desenvolvimento econômico (GONDIN, 2017). Para Mazzucato (2014) o papel do setor público é importante nos estágios iniciais, principalmente em áreas intensivas de capital e alto risco, onde há forte competição com *players* consolidados e o setor privado tende a se afastar. No entanto, o governo pode atuar no sentido de criar e moldar mecanismos para inserir ações de inovação. Desse modo, o sistema de inovação representa um mecanismo de direcionamento, no qual o agente público implementa políticas de Estado para estruturar o processo inovativo de setores, regiões ou mesmo de nações (PELAEZ e SZMRECSÁNYI, 2006). Além disso, outros instrumentos em relação à inovação podem ser direcionadas para o lado da oferta (*supply side tools*), que são direcionadas para a “provisão de assistência técnica e de financiamento, além do estabelecimento de infraestrutura científica e tecnológica”, bem como em relação à demanda (*demand side tools*), que “incluem compras governamentais (em diversos níveis de governo) e estabelecimento de contratos para o desenvolvimento de produtos, processos e serviços inovadores” como sugere Rothwell (1983, p. 204). Os sinais e os incentivos econômicos percebidos pelos agentes com fins lucrativos incluindo condições para a apropriabilidade de inovações e barreiras ao ingresso, que regulam a concorrência (CIMMOLI *et al.*, 2007), também representam instrumentos orientados pelo Estado. A organização destes instrumentos pode resultar em impactos no desenvolvimento tecnológico com impactos sociais e econômico de um país.

3.1.1 Estratégias para o direcionamento de políticas públicas

Uma abordagem mais ampla em relação à conformação dos SIS como instrumento para fomento da inovação é direcionada por Mazzucato e Penna (2016) e indica quatro ações que podem ser orientadas por meio desses sistemas. São elas: i) crédito e financiamento público; ii) pesquisa e educação; iii) produção e inovação; e iv) fundos privados e financiamento privado. Para estimular a integração entre atores, instituições e mercados, o Estado deve estimular os interesses e se organizar para formular políticas de fomento que criem mecanismos de articulação e troca entre os respectivos agentes. Nesse sentido, organizar diretrizes para estimular a integração de agentes, bem como garantir infraestrutura e ferramentas para proteção, troca e difusão de conhecimento representam diferentes formas para a orientação dos sistemas de inovação. Além disso, observa-se a necessidade de implantar ações coordenando os esforços desta rede de interessados e intermediando relações de confiança por meio de instrumentos políticos direcionados a objetivos específicos. O reconhecimento da importância da capacidade de ação do Estado não é restrito apenas à organização dos tecnocratas no interior do aparelho de Estado, mas também na organização de uma estrutura para a geração, troca e difusão do conhecimento (MAZZUCATO, PENNA, 2016; EVANS, 2004).

Outra estratégia pontual a ser considerada, se refere às diferentes formas de financiamento público que têm, tradicionalmente, liderado o processo de mudanças tecnológicas e de desenvolvimento socioeconômico. No entanto, é importante considerar que financiamentos direcionados para o processo inovativo são de longo prazo e devem ser diversificados em forma de fundos públicos de capital de risco. Nesse caso, são direcionados para firmas por meio de compras públicas ou bancos estatais de investimento, para alinhar as estratégias de riscos e benefícios. Já no cenário que envolve recursos privados e academia, observa-se a intensificação das relações em que firmas financiam pesquisas em universidades públicas na produção de conhecimento. A troca ocorre com as possibilidades de descobertas e patentes realizadas em laboratórios. Essa experiência foi particularmente observada por Leslie (2000) no Vale do Silício, onde muitas estratégias corporativas foram custeadas com recursos federais e relações entre a indústria e universidade, diante de pressupostos das políticas de defesa da Guerra Fria. Isso contrasta com a experiência do Brasil e latino-americana, na qual os arranjos entre o Estado e o setor privado não

organizaram ações de interação científica e à acumulação de capacidades e de competências tecnológicas socialmente difundidas (CIMMOLI *et al.*, 2007).

Nesse cenário, ressalta-se a importância do Estado para articular a dinâmica não-linear que o processo para geração inovação exige. Ao criar condições para a conformação desses SIS, se estabelece os mecanismos para a difusão do conhecimento, que tem impacto predominante no progresso econômico. As ações do Estado, orientadas por meio de políticas públicas, se referem às decisões alinhadas com os interesses em questão, que são voltadas para a inovação e produção de conhecimento. Trata-se aqui de uma posição de liderança em que o Estado atua com agente central em decisões que podem afetar (ou não) esses interesses no sentido mais amplo. De forma mais específica, as decisões de natureza econômica e política em busca de desenvolvimentismo, são relacionadas com o fomento da indústria nacional em busca de competências tecnológicas capazes de confrontar a competição global. Essa é uma agenda que pode implicar ações de política industrial direcionadas para o estímulo de setores definidos como estratégicos, mas também mecanismos de criação de setores estratégicos inexistentes, como o de TICS, por exemplo. Assim, busca-se identificar ações que se referem à capacidade de incentivar os setores industriais e não favorecer os capitais em específico (SHIMA *et al.*, 2018).

O reconhecimento da centralidade do Estado consiste na institucionalização permanente de um conjunto de mecanismos políticos (EVANS, 2004) e no desafio em considerar o Estado como empreendedor, como afirma Mazzucato (2014), no sentido de tomar riscos e direcionar investimentos que atendem a partir pesquisas básicas até o estágio inicial de financiamento em pequenas corporações. Isso foi o que prevaleceu em países em que se conseguiu alcançar o crescimento guiado pela inovação e que orientou um conjunto de instituições e redes para o aperfeiçoamento de recursos humanos. Diante disso, é possível afirmar que a combinação de instrumentos institucionais e organizacionais refletem em ações de aprendizado dos indivíduos e das organizações e, conseqüentemente, resultam em desenvolvimento tecnológico e competitividade. Na próxima seção, serão abordadas algumas experiências onde o Estado atuou como agente no processo de produção de conhecimento e inovação.

3.2 EXPERIÊNCIAS DE POLÍTICAS INDUSTRIAIS: O CASE DA APPLE

Uma análise mais detalhada de firmas de tecnologia pode sustentar a tese de que o Estado exerce papel essencial na estruturação de setores emergentes. Isso pode ser descrito como uma estratégia do próprio Estado em fortalecer determinado segmento e, assim, atuar em diferentes frentes para a promoção do mesmo. Nesse sentido, experiências da interação do Estado com atores e instituições serão apresentados, com foco no papel do Estado no fomento de novas tecnologias, não apenas direcionando recursos, mas proporcionando mecanismos para a transformação de experimentos em tecnologias radicais. Os incentivos exigem mudanças regulatórias, compromissos fiscais e apoio de longo prazo para as firmas emergentes. Na composição desse sistema, são as agências públicas que impulsionam o desenvolvimento de novos produtos e, assim, criaram o ambiente capaz de consolidar essas tecnologias. Neste primeiro momento, será apresentada a experiência da Apple e as ações do governo norte-americano que resultaram em tecnologias dominantes, em seguida exemplos de ações em diferentes países também serão demonstradas.

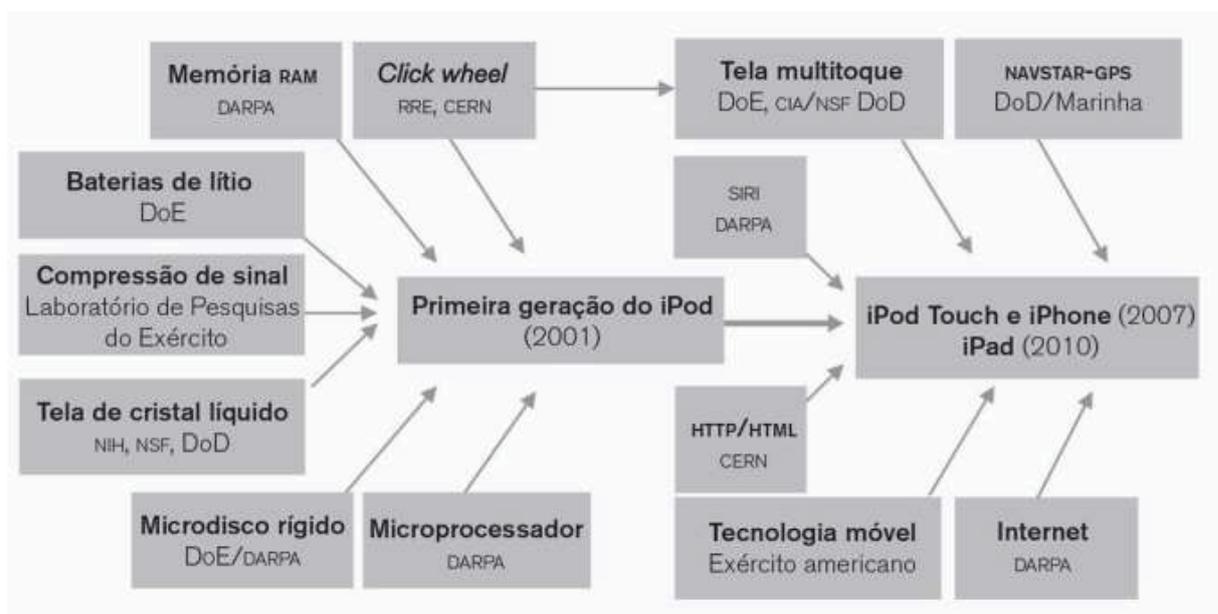
Um importante ponto que merece destaque, está relacionado à orientação dos projetos de engenharia representarem o foco estratégico de muitas firmas. Nesse caso, é possível destacar que essas ações têm início com a atuação do Estado, por meio de investimentos públicos em pesquisa de base. Por outro lado, as firmas buscam alcançar maiores parcelas de mercado com estratégias de marketing e design MAZZUCATO (2014). Um exemplo onde o Estado financia pesquisas em instituições públicas e, mais tarde, possibilita o acesso privado aos produtos tecnológicos que foram resultados dessas pesquisas, ocorreu com os dispositivos iPad e iPhone. Segundo Mazzucato (2014, p. 127), “somente depois do Estado norte-americano ter realizado o trabalho de base, a genialidade de Steve Jobs produziu sucesso e lucros maciços”. Desta maneira, a Apple foi pioneira em tecnologias que revolucionaram dispositivos tecnológicos, incorporando em seus produtos diferentes pesquisas desenvolvidas em laboratórios americanos. Alguns exemplos dessa estratégia são os sistemas de geoprocessamento, telas sensíveis ao toque (*touch-screen*) e tecnologias de comunicação.

Ao longo das últimas décadas a Apple tem explorado com competência as fronteiras da revolução digital. Cabe ressaltar que os esforços da firma em inovar

contam com a “mão visível e ativa do Estado” (MAZZUCATO, 2014, p. 196). A criação de dispositivos como o iPod, o iPhone e o iPad produziram forte impacto nas tecnologias móveis. Em 2020 a Apple se tornou a firma de capital aberto mais valiosa do mundo, quando atingiu US\$ 3 trilhões em valor de mercado. No entanto, é importante destacar que as tecnologias incorporadas aos produtos da Apple são resultado de longos anos de pesquisas financiadas com orçamento público. Mazzucato (2014) detalha que embora os produtos devam o design e integração ágil a Steve Jobs e sua grande equipe, praticamente toda a tecnologia de ponta encontrada nos produtos da Apple é uma conquista atribuída às agências públicas de fomento e as Forças Armadas.

Os subsídios públicos foram direcionados pelo governo em três áreas principais: (a) investimento direto de capital nos estágios iniciais de criação e crescimento; (b) acesso às tecnologias resultantes de programas de pesquisa governamentais, iniciativas militares e contratos públicos, ou desenvolvidas por instituições de pesquisa públicas, todas financiadas com recursos federais ou estaduais e (c) criação de políticas fiscais, comerciais ou de tecnologia como a apoio ao desenvolvimento. A Figura 2, apresenta a origem dos produtos comercializados pela Apple.

FIGURA 2 – ORIGEM DOS PRODUTOS POPULARES DA APPLE



Fonte: Mazzucato (2014).

No caso dos EUA, o engajamento público para o desenvolvimento de novas tecnologias com fins militares proporcionou grandes lições estratégicas para melhorias em políticas de inovação. A atuação do governo norte-americano no fomento da inovação iniciou com projetos na Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa (DARPA) na década de 60 e seguiu com a organização de um SI que possibilitou além do financiamento da ciência básica, diversos mecanismos de interações ente os agentes públicos e privados e oportunidades de comercialização de produtos com outros países. Nessa ótica, outras agências foram incorporadas nesse complexo sistema para a produção de tecnologias radicais que, posteriormente, foram inseridas no mercado. Entre as principais tecnologias conhecidas, destacam-se a internet, microprocessador, memória RAM⁷ e assistente de inteligência artificial SIRI (iPhone) produzidos na já mencionada DARPA; microdisco rígido, bateria de lítio criados no Departamento de Energia dos EUA (DoE, em inglês *Department of Energy*); tela de cristal líquido que foi resultado de parceria entre o Instituto Nacional de Saúde (NIH, em inglês *National Institutes of Health*), a Fundação Nacional de Ciências (NSF) e o Departamento de Defesa (DoD, em inglês *Department of Defense*); além dos sistemas de transmissão de dados, originados do exército norte-americano, entre outros (MAZZUCATO, 2014).

As ações do governo em relação ao direcionamento de ações de P&D demonstram o importante papel exercido na liderança da inovação e do crescimento econômico. Nesse sentido, “longe de sufocar a inovação e ser um obstáculo ao sistema econômico, o Estado norte-americano fomentou a inovação e o dinamismo em diversas indústrias importantes com o setor privado muitas vezes desempenhando um papel secundário” (MAZZUCATO, 2014, p. 124). Diante disso, é possível afirmar que a tese dicotômica entre o Estado e o mercado é falsa, quando o que se deve considerar é a relação conjunta para o desenvolvimento do processo inovador. Em outras palavras, enquanto as políticas públicas podem promover e induzir os avanços em pesquisas de base, bem como a incorporação de novos conhecimentos e contribuir para a criação de novos mercados, as firmas avançam com o desenvolvimento de novos produtos e serviços. Percebe-se, assim, a necessidade de pontuar o importante papel do Estado e, principalmente, o impacto da inovação no atual cenário de produção e domínio tecnológico. O que não deve prevalecer é a

⁷ Memória RAM: Random access memory ou memória de acesso randômico, é um disposto de hardware responsável pelo registro temporário de dados em sistema sistemas eletrônicos digitais.

negligência diante de uma nova demanda por tecnologias disruptivas, que possibilita uma nova corrida industrial em nível global. A próxima seção aborda experiências da composição do processo inovativo em diferentes países, com foco no papel do governo na articulação de importantes programas voltados à inovação.

3.3 EXEMPLOS DE AÇÕES ORIENTADAS PELO ESTADO EM DIFERENTES PAÍSES

A atuação do governo para promover o desenvolvimento tecnológico e industrial é observada em países recentemente industrializados por meio de diferentes formas de política e programas de fomento industrial. As trajetórias de desenvolvimento tecnológico nesses países vieram sobretudo das diferenças gerais nas estruturas do Estado e nas relações Estado-sociedade (EVANS, 2004). O crescimento do setor de tecnologia da informação na Coreia do Sul, China e Índia, são exemplos das vantagens na organização de SNIS que confirmam a eficácia das parcerias entre Estado e o setor privado. Busca-se, nesta subseção, descrever alguns exemplos de alianças em diferentes países.

3.3.1 O Plano Made in China (MIC₂₅)

Algumas experiências podem ser destacadas em países onde o Estado atuou para fortalecer as redes de conhecimento e cooperação por meio de SIS. Entre esses países, um caso recente é a China, com o plano *Made in China 2025* (MIC₂₅), com foco no desenvolvimento de C&T para médio e longo prazos. Esse plano é estruturado no forte SNI do país, além de incentivos para pesquisa e infraestrutura (ARBIX *et al.*, 2018; LI, 2018; MÜLLER, VOIGT, 2018; LIU *et al.*, 2019). Em síntese, o MIC₂₅ busca estabelecer uma forte política industrial com foco na melhoria da alocação de capital, coordenação política e inovação relacionada à tecnologia. O objetivo é impulsionar a independência tecnológica da China, principalmente na produção nacional de semicondutores avançados, optoeletrônica, biotecnologia e tecnologia aeroespacial (ZENGLIN e HOLZMANN, 2019).

Para isso, foram definidas algumas metas para a implantação do plano, entre

elas é possível destacar novas linhas de financiamento público, investimentos em laboratórios de pesquisa para a experimentação de novos produtos, investimentos no setor educacional, além da criação de barreiras de mercado para fortalecimento das tecnologias nacionais. Quanto as ações específicas, estas foram direcionadas para o desenvolvimento de TICS de última geração para atender a indústria 4.0, envolvendo soluções para redução do consumo de energia, veículos elétricos, biomedicina e equipamentos médicos, aviação e equipamentos espaciais e transporte ferroviário, entre outros. (ZENGLIN; M. J.; HOLZMANN, 2019, BĂZĂVAN, 2019; SHEN, LIN, 2020).

Nesse cenário, é importante destacar que os investimentos em P&D na China em 2018, foram de aproximadamente US\$ 300 bilhões e representam em torno de 2,2 % do PIB. Esses dados representam um volume maior do investimento apontados na Europa, que representa algo em torno de 2,1% do PIB total (ZENGLIN e HOLZMANN, 2019). Nota-se, diante disso, que existe uma estratégia política definida para estruturar a economia com base no desenvolvimento industrial, com perspectiva de crescimento de médio e longo prazos. Em outras palavras, é possível afirmar que as estratégias do governo chinês focadas no desenvolvimento tecnológico como alavanca econômica reforçou, em alguma medida, a trajetória de desenvolvimento tecnológico iniciada pela China nas últimas décadas. As ações adotadas ilustram a adoção de políticas de altos investimentos em infraestrutura nacional e em P&D, que resultam em produtos tecnológicos de alta difusão comercial em nível internacional.

3.3.2 As estratégias para o fomento da inovação na Coreia do Sul

Outro exemplo é o Tigre Asiático Sul-Coreano, que alcançou de forma acelerada o desenvolvimento industrial e econômico. Kim (2005), descreve a dinâmica de aprendizado tecnológico na Coreia do Sul e detalha como ocorreram os respectivos avanços. Os elementos apresentados pelo autor descrevem como a Coreia do Sul “absorveu” conhecimentos das grandes potências industriais situadas principalmente na Europa e Estados Unidos e como esse País superou em muitos casos essas potências. Isso ocorreu a partir do momento em que o governo conseguiu abrir a caixa-preta (Rosenberg, 2006) de tecnologias dominantes e interromper o ciclo de *lock-in* de grandes *players*.

Segundo Kim (2005), as políticas públicas para fortalecimento da Coreia do Sul ocorreram a partir da década de 60, direcionando ações como substituição de importações e controle de investimentos estrangeiros, bem como contenção de contrabando a produtos falsificados. Em outro momento, na década de 80, outras ações pontuais do governo alavancaram a economia industrial do País, como a transferência de tecnologias estrangeiras, difusão de tecnologias importadas e atividades de P&D nacionais. Todavia, é possível afirmar que a principal ação que resultou em avanços significativos em inovação foi a rede criada com importantes incentivos do governo. Essas redes de inovação foram constituídas, principalmente, por instituições de pesquisa e iniciativa privada, que resultaram em importantes institutos de pesquisa. Alguns exemplos são o Instituto de Tecnologia Eletrônica da Coreia (ITEC, em inglês *Innovative Energy Technology Center*), o Instituto de Pesquisa Aeroespacial da Coreia (KARI, em inglês *Korea Aerospace Research Institute*) e o Instituto de Tecnologia Industrial da Coreia (KITECH, em inglês *Korea Institute of Industrial Technology*), o que resultou no desenvolvimento de novos produtos tecnológicos. Atualmente, os esforços do governo sul-coreano estão focados em estabelecer um sistema industrial avançado para a digitalização do sistema produtivo (FREITAS, 2018).

Quanto ao processo de internacionalização de companhias, é possível destacar o apoio do governo sul-coreano em firmas como Samsung, LG e Hyundai. Nestes casos, o papel do governo foi essencial para o fortalecimento, bem como para a construção de capacitação competitiva e ampliação do mercado por firmas nacionais (RUPPERT; BERTELLA, 2018). Nesse contexto, nota-se que as ações do governo compreenderam medidas para possibilitar a criação e difusão de tecnologia como a construção de maciça infraestrutura, qualificação dos trabalhadores com subsídios (e fornecimento público) à educação, treinamento e promoção de P&D de qualidade (CHANG, 2002). Desse modo, é possível afirmar que naquele momento houve a consolidação de firmas da área tecnológica, como consequência da estruturação das políticas industriais, principalmente no setor tecnológico.

De forma geral, percebe-se que o governo sul-coreano, no papel de indutor do desenvolvimento, teve um importante papel na condução do processo de aprendizado tecnológico nas décadas de 1960 e 1970. Para Kim (2005) as políticas voltadas para educação, P&D e indústria, fortaleceram o acúmulo de aptidões e oferta tecnológica, impactando de forma positiva a indústria de TICS. Nesse sentido, por

meio do fortalecimento dos *chaebols*⁸, o governo influenciou também, no aprendizado tecnológico no setor privado e até hoje têm sido a principal fonte de produção e exportações coreanas. Assim, a aprendizado tecnológico na Coreia do Sul pode ser atribuído a fatores como: i) Forte influência do governo para o fomento de P&D; ii) Incentivos na indústria tecnológica local, por meio dos *chaebols*; iii) Organização do sistema educacional voltado para áreas estratégicas da indústria; iv) Estratégias para a difusão e transferência de tecnologias; v) Estímulos competitivos provenientes do mercado de exportações e estratégias de aceleração do aprendizado tecnológico em firmas *catching-up*⁹. A soma destes fatores pode ser descrita como importante ação para o desenvolvimento econômico sul coreano dos anos 50 até os 90. As etapas seguintes foram direcionadas para a assimilação por meio de esforços internos para o aumento do aprendizado e aperfeiçoamento de novas tecnologias, que foram originadas com a cumulatividade adquirida pela experiência em P&D.

No atual cenário, as ações recentes são direcionadas para a Iniciativa Movimento Inovação Industrial 3.0 (IIM 3.0, em inglês *Industry Innovation Movement 3.0*), lançada em 2014, no âmbito do Plano Estratégico de Economia Criativa. Esta ação tem o objetivo de disseminar o uso de fábricas inteligentes e o desenvolvimento de tecnologias básicas relacionadas a IoT, Manufatura Aditiva e Big Data. Outra proposta apresentada em 2016, foi o Plano de Médio e Longo Prazo para uma Sociedade de Informação Inteligente, que prioriza setores e domínios relacionados com a Tecnologia de Informação Inteligente (TI Inteligente) (IEDI, 2018). Com isso, estima-se que, até 2030, a indústria de transformação sul-coreana obterá a receita de US\$ 88 bilhões. Diante disso, é possível compreender que existe um importante direcionamento para as políticas industriais na Coreia do Sul.

⁸ Chebols são grupos coreanos compostos por firmas independentes que possuem relações econômicas entre si e normalmente têm sistemas administrativos que coordenam as atividades de seus membros. Suas principais características são: pertencerem a somente uma família, controle centralizado, administração paternalista e forte dependência de modelos de administração estrangeiros (KANG, 1996). Alguns exemplos são Samsung, Hyundai e LG.

⁹ O conceito de *catching-up* compreende a capacidade de centros secundários em incorporar técnicas e conhecimentos gerados nos centros líderes, de forma a permitir que estes centros alcancem os níveis de produtividade dos respectivos centros de referência e, assim reduzam o hiato tecnológico (e de desenvolvimento econômico) que os separa (LEMOS *et al.*, 2006).

3.3.3 A estratégia da Indústria do Futuro na França

As ações do governo francês voltadas para à Indústria 4.0 têm como principal objetivo o fortalecimento e retomada da produção industrial, que foi reduzida nas últimas duas décadas. Diante do recuo do impacto do setor manufatureiro da França no PIB, que foi de 16,2% em 1995 e passou para 10% em 2015, o governo francês iniciou, naquele ano, um plano de fortalecimento industrial com a produção de novas tecnologias disruptivas (IEDI, 2018). Segundo dados apresentados pelo Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, a importante redução nos investimentos industriais por parte do governo e a dispersão de conglomerados industriais franceses na sequência da liberalização financeira do final dos anos 1980, causaram impactos negativos para a inovação e o crescimento no referido país.

O plano francês para a retomada de políticas indústrias foi organizado inicialmente em 2013 por meio de 34 ações envolvendo atores públicos e privados. O foco das ações foram: ofertas de novos produtos tecnológicos relacionados à Indústria 4.0, novos serviços, investimento público por meio de editais para o desenvolvimento de soluções e criação de *startups* para a criação de novos postos de trabalho. A organização de todo o processo foi atribuída a um comitê formado com atores públicos e privados, sob a presidência do primeiro-ministro francês. A estrutura do plano Indústria do Futuro foi estabelecida em cinco pilares: i) Desenvolvimento da oferta de tecnologias da indústria 4.0; ii) Acompanhamento das empresas rumo à essas tecnologias; iii) Formação dos trabalhadores; iv) Promoção indústria do futuro e v) Fortalecimento da cooperação europeia e internacional (L'INDUSTRIE DU FUTUR, 2013).

Os desdobramentos destas ações, que foram iniciadas em 2013, são observados com o crescimento da indústria manufatureira que em 2019 representou 17,1% do PIB e já empregava naquele momento 1/5 da população ativa (IMF, 2022). No entanto, os resultados positivos impulsionaram outras medidas. Em outubro de 2021 foi apresentado o plano França 2030, que destinará 400 milhões de euros para a produção de robôs com inteligência incorporada e mais 400 milhões de euros para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de infraestrutura industrial. Os setores chaves são: telecomunicações, eletrônicos, automobilístico, aeroespacial e armamentista (AIF, 2021).

Observa-se, diante disso, que existem estratégias organizadas pelo Governo

francês com apoio do setor privado, para o fortalecimento de setores estratégicos para indústria. Quando a abrangência dos setores engloba transmissão de dados e produção de componentes eletrônicos, por exemplo, as políticas industriais fomentam a integração das cadeias de valor para indústrias-chaves. São ações que podem ser adotadas também para setores estratégicos no Brasil, que possuem características e organização específicas com representatividade global. As próximas seções detalham, também, ações de governos em diferentes países.

3.3.4 A Iniciativa Revolução Robótica – RRI (2015) e o Plano Indústrias Conectadas de 2017 no Japão

As políticas industriais no Japão representam uma sólida estrutura para o desenvolvimento econômico a partir da segunda metade do século XX (IEDI, 2018). Chang (2014) detalha a implementação de ações do governo no desenvolvimento de indústrias de alta intensidade tecnológica como a automobilística, eletrônicos, aço e maquinários. Neste cenário, é importante destacar que a inserção das empresas japonesas no mercado global corresponde a aproximadamente 30% da participação na produção de carros e mais de 60% do mercado em câmeras digitais. Acrescenta-se a isso o impacto da indústria japonesa na produção mecânica e em setores como a aeroespacial, robótica e química fina (IEDI, 2018).

A agenda do Governo japonês, com foco nas tecnologias disruptivas, envolve diferentes estratégias para o desenvolvimento de domínios tecnológicos específicos (robótica, sistemas integrados, prototipagem 3D, realidade mista e internet das coisas) (METI, 2017). A estratégia de aprimoramento da robótica industrial (Iniciativa Revolução Robótica – RRI, em inglês *Robot Revolution Initiative*), apresentada em 2015 e o plano Indústrias Conectadas de 2017 organizam, de forma geral, ações para a difusão da utilização sistemática de robôs nos diversos setores da indústria de transformação e infraestrutura, com subsídios para a criação de empresas de pequeno a médio porte, englobando também o setor de serviços (METI, 2017; IEDI, 2018). O objetivo principal é a integração do espaço físico (mundo real) e o ciberespaço (mundo virtual), de modo a fornecer os bens e serviços necessários para fazer frente a uma ampla variedade de necessidades em termos de produtos e serviços. O Quadro 5 apresenta algumas das propostas apresentadas nas duas

principais e recentes políticas industriais.

QUADRO 5 – ESTRATÉGIAS PARA A INDÚSTRIA 4.0 NO JAPÃO

Tecnologias	Descrição
Manufatura Inteligente	Proposição de fundamentações técnicas para a padronização internacional de novas regras e investimentos em design, produção e segurança industrial. Criação de novas possibilidades de manufatura inteligente para a incorporação de novas técnicas, capacidades e gerenciamento remoto.
Robótica	Avançar em ações de P&D para o desenvolvimento de robôs e dispositivos autônomos (<i>drones</i>). Investimentos em capacitação e desenvolvimento de recursos humanos. Acelerar a utilização pública de robôs para a automação de serviços essenciais como saúde e infraestrutura.
Veículos Autônomos	Alcançar liderança global em veículos de condução autônoma para garantir a eficiência da indústria automobilística.
Cibersegurança	Desenvolvimento de produtos para a segurança digital. Construção de um marco de referência para a segurança de sistemas e dispositivos computacionais. Capacitação de recursos humanos aprimoramento das políticas de segurança.
Inteligência Artificial	Fortalecimento dos institutos de pesquisa e desenvolvimento e das redes de inovação no país. Investimentos em novas tecnologias para o aumento da produtividade em termos de tratamento de dados.
Propriedade Intelectual	Aprimoramento das regras para a garantia de direitos em novas tecnologias disruptivas e redes próprias para a transmissão de dados.

Fonte: Connected Industries Program. METI (2017).

Diante disso, observa-se que os investimentos em diferentes frentes, como sistemas, dados, infraestrutura, redes de transmissão, capacitação de recursos humanos e tecnologias digitais criam um espaço importante para a inovação. No entanto, cabe ressaltar alguns pontos destas novas políticas em termos de organização de novas regras para a padronização internacional e o aprimoramento das regras para a garantia de direitos em novas tecnologias disruptivas. Estas ações, além de representarem os esforços do Estado em garantir a hegemonia na produção de TICS, resultam na ampliação da fronteira tecnológica e aumento do *lock-in* das tecnologias disruptivas. Ou seja, a falta de políticas industriais, que atrasam o fortalecimento da indústria tecnológica local, evidencia a manutenção do caráter dependente de tecnologias estrangeiras.

3.3.5 O projeto Catapulta do Reino Unido

As ações para a produção tecnológica da Rede Catapulta tiveram como base o desenvolvimento em P&D em áreas já consolidadas, além de focar na capacidade empresarial de produção nacional e investimentos em áreas estratégicas como energia renovável *offshore*, tecnologias de satélites, sistemas de transporte, digitalização, cidades do futuro, sistema de energia e produção de semicondutores. A rede de inovação reúne 9 centros de tecnologia e inovação em mais de 40 espaços em diferentes países do Reino Unido. Os atores que compõem a rede são empresas privadas sem fins lucrativos, universidades e institutos de pesquisa e recursos públicos que fomentam o desenvolvimento tecnológico (CATAPULT, 2022).

Os investimentos públicos representam o montante de £ 1,3 bilhão em mais de 14.750 projetos direcionados à indústria e 5.108 projetos em parcerias com universidades e institutos de pesquisa. O objetivo principal é atender demandas emergentes do mercado em termos de produtos e serviços. Grandes empresas que compõem a rede de inovação são Rolls-Royce, Visa, Siemens, IBM, entre outras (CATAPULT, 2022).

Os denominados Acordos Setoriais, que representam uma das ações do plano, foram propostos para o fortalecimento de diferentes setores e transferência de tecnologias. Assim, representaram importante impacto na identificação de temas considerados prioritários, como inteligência artificial e digitalização industrial. Outros projetos e centros da Rede Catapulta são apresentados no Quadro 6.

QUADRO 6 – AÇÕES ORIENTADAS PELA REDE CATAPULTA NO REINO UNIDO

Centro Catapulta	Data	Objetivo	Rede de Inovação
High value Manufacturing	Outubro/ 2011	Centro de transformação de indústria britânica formado a partir de 7 institutos de pesquisa independentes com alto valor agregado e inovação de alta intensidade tecnológica	Universidades, empresas como RollsRoyce, Jaguar, Land Rover e <i>startups</i>
Cell and Gene Therapy	Outubro/ 2012	Desenvolvimento e comercialização de medicamentos e biotecnologia	Universidades, empresas GlaxoSmithKline (GSK) e Ajinomoto, também <i>startups</i>

Satellite Applications	Dezembro/ 2012	Centro de inovação aberta e desenvolvimento de tecnologias de transmissão de dados via satélite	<i>UK Space Agency, European Space Agency, Rutherford Appleton Laboratory</i> , somado ao desenvolvimento em universidades
Offshore Renewable Energy	Março/ 2013	Centro de tecnologias e inovação em energias renováveis (eólica e maremotriz)	Institutos de pesquisa e startups
Digital Catapult	Junho/ 2013	Aplicações e desenvolvimento em plataformas digitais	Visa, SuissRe, Thales, Evershed
Future Cities	Junho/ 2013	Inovação Urbana, fomento do sistema local de inovação e melhoria das cidades	Governo municipal e sistemas locais
Transpor Systems	Agosto/ 2013	Inovação em transporte e logística	Provedores de transporte público e privado, universidades e grandes empresas do setor
Energy Systems	Abril/ 2015	Redes de energia e smart grids	<i>Energy Technology Institute, Institute of Engineering and Energy</i>
Compound Semicondutores Applications	Agosto/ 2016	P&d em eletrônica de potência RFID, microondas e fotônica	IQE plc (empresa britânica de semicondutores e Universidade de Cardiff (País de Gales))
Medicine Discovery	Março/ 2017	P&D nas áreas farmacêutica, diagnósticos e biomarcadores	UK Biotech, Universidade de Warwick, institutos de pesquisa e empresas farmacêuticas

Fonte: IEDI (2018); CATAPULT (2022)

Observa-se, nas ações da Rede Catapulta, o fortalecimento das parcerias entre governo, academia e o setor privado em setores chaves como energia, biotecnologia, semicondutores e automobilístico. A conformação das redes de

parcerias tem como foco acelerar a inovação tecnológica e assegurar a oferta de profissionais capacitados para atender as demandas por novos produtos e serviços. Neste modelo, essas parcerias incluem não apenas grandes corporações, como também *startups* de base tecnológica. Buscou-se, assim, reduzir o tempo entre a descoberta com base em P&D e promover agilidade na produção em escala para inserção no mercado das tecnologias industriais avançadas. A convergência das ações estabelece a integração da produção de conhecimento e a comercialização de inovações avançadas de produtos e processos de produção.

Em síntese, é possível afirmar que os países industrializados de alta renda, além do estabelecimento no passado de estratégias bem definidas de crescimento (Nelson, 1993; Chang, 2002), promovem ações de fomento em PD&I, que resultam em uma indústria tecnológica avançada. Essas ações podem ser descritas como importante alavanca para o desenvolvimento econômico nos referidos países analisados. Nesse sentido, as políticas públicas originadas dessas estratégias possibilitaram importantes avanços em setores específicos do setor produtivo (principalmente aqueles direcionados à exportação), além da estruturação das já mencionadas redes de cooperação para o desenvolvimento de diversas atividades de inovação. Como forma de apresentar as estratégias nacionais e detalhar o papel do Estado em relação às políticas de fomento à inovação, a próxima subseção enfatiza as políticas industriais implementadas no Brasil.

3.3.6 A Política Nacional de Eletrônicos na Índia

O Governo da Índia fomenta ações que envolvem a ampliação do papel do setor privado no sistema nacional de ciência, tecnologia e inovação mediante parcerias público-privadas, para alcançar a meta de 2% do PIB em P&D até 2025. Além de outras políticas públicas voltadas ao desenvolvimento econômico, como: o programa Digital Índia, a Missão Nacional de Desenvolvimento de Competências (*Skill India*), a Nova Política Nacional de Educação e o programa Defeito Zero Efeito Zero (ZED, *Zero Defect Zero Effect* em inglês). Cabe ressaltar que as estratégias na Índia são voltadas para os setores automotivos, que representa 7,1% do PIB do país e emprega cerca de 19 milhões de pessoas direta e indiretamente e a indústria têxtil e vestuário, que responde por 4% do PIB e emprega mais de 51 milhões de pessoas.

Nota-se, também, os avanços na indústria farmacêutica com investimentos aproximados de US\$ 55 bi nos últimos 10 anos (IEDI, 2018).

No entanto, o maior plano de desenvolvimento industrial e tecnológico da Índia é o “*Make in India*” que tem como principal objetivo modernizar a indústria e transformar o país em um centro de produção para a indústria global. Esta ação investe em 25 setores da economia, como indústria automotiva, aeroportuária, telecomunicações, infraestrutura, mídia e entretenimento. Para cada um deles, o programa especifica intervenções de incentivo. O prazo para realização das principais metas é 2025. Este plano é parte de uma política nacional que busca, entre outras metas, a autonomia no desenvolvimento de eletrônicos e circuitos integrados (*chipsets*) NASSCOM (2018).

As medidas para impulsionar a produção de eletrônicos na Índia buscam reduzir a dependência das importações e aumentar a intensidade tecnológica em suas exportações. Além disso, estima-se que cerca de 10 milhões de empregos serão criados como resultado dos investimentos na indústria tecnológica até 2030. Outro segmento em expansão é a fabricação de sistemas para a segurança cibernética. Segundo dados do Ministério de Eletrônica e Tecnologia da Informação (MEITY, 2021), os recursos para a implantação do programa podem alcançar 6,6 bilhões de dólares.

No cenário que envolve a dinâmica de inovação em diferentes países, é importante destacar o papel do Estado como agente central na condução das políticas industriais. Diante disso, as ações no bloco europeu que focam em financiamento público em P&D e parcerias público-privado para desenvolvimento de máquinas para manufatura apresentam uma importante estratégia de Estado no desenvolvimento da Indústria 4.0 (TEIXEIRA e TAVARES-LEHMANN, 2022). Segundo os autores, essas estratégias incentivam as relações entre diferentes atores para inovar de forma colaborativa. Além disso, é importante observar as consequências relacionadas a fatores produtivos, em termos de adequação da cadeia produtiva e capacitação de colaboradores. A próxima seção abordará algumas estratégias para o desenvolvimento da indústria nacional.

3.4 AS ESTRATÉGIAS NACIONAIS PARA O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA

Esta seção destina-se a apresentar algumas ações da trajetória de políticas industriais criadas no Brasil. A ênfase é dada no período pós 2003, quando ocorreu a reinserção das políticas industriais na agenda desenvolvimentista. Tal atitude originou uma nova oportunidade para o desenvolvimento tecnológico. No entanto, observa-se que a partir de 2016 houve recuo dessas ações, repetindo o que ocorreu na década de 80, quando a falta de estratégias políticas interrompeu avanços da indústria tecnológica nacional (SHIMA *et al.*, 2018).

As transformações tecnológicas que ocorreram na década de 70, possibilitaram a entrada de firmas nacionais no mercado de equipamentos de informática (TIGRE, 1993). Naquele momento, a fabricação dos circuitos integrados de silício para a substituição de transistores, resistores e capacitores, causou um impacto nos equipamentos eletrônicos naquele momento e, como consequência, na indústria em todo o mundo. Tigre (1993, p. 8) afirma que “este fato ofereceu oportunidade para entrada de novas firmas no até então fechado mercado da informática, amplamente dominado pela IBM e outras firmas americanas”. Isso possibilitou que firmas de pequeno e médio porte integrassem esse “novo mercado”, em um cenário onde a engenharia de produção não apresentava padrões definidos em sistemas e produtos.

Naquele cenário, a proposta de criar uma indústria nacional de informática na primeira metade da década de 70 ganhou força com a criação da Comissão de Coordenação de Processamento Eletrônico (CAPRE), responsável pela inserção de políticas para o setor de informática na agenda governamental (FAJNZYLBBER, 1993). Outra ação observada, foi o fortalecimento do Serviço Federal de Processamento de Dados (SERPRO) e com investimentos em laboratórios de desenvolvimento de produtos. Da mesma forma, os laboratórios de organizações militares, especialmente o Instituto de Pesquisas da Marinha (IpqM), contavam com aportes de recursos governamentais (TIGRE, 1993; MARQUES, 2003). Além disso, nota-se que houve a atuação do governo para o fortalecimento da indústria nacional, por meio de políticas para reserva de mercado, que forneceram instrumentos (como o controle de importações) para o desenvolvimento local de software básico e microcomputadores.

No período seguinte da década de 80, ocorreram investimentos por meio da Política Nacional de Informática - PNI, Lei n.º 7.232 (BRASIL, 1984) como forma de

encaminhar a sequência para o desenvolvimento da indústria de informática no País. Esse período foi marcado pela integração das questões sociais à política de desenvolvimento do Brasil, que também implicava na atuação do Estado como ator condutor de ações e resultaram em estímulo, desenvolvimento e articulação entre os capitais privados (nacionais e multinacionais).

Em síntese, a política de informática atingiu o objetivo que foi proteger a indústria nacional da concorrência externa, além de possibilitar à indústria, condições para produção de tecnologia avançada e de rápida transformação, como também gerar capacitação empresarial e manufatureira em novas firmas locais (TIGRE, 1993). Isso resultou, em certa medida, na proteção à indústria nacional emergente, que permitiu o fortalecimento de firmas no setor de computadores e sistemas, como Edisa, Itautec, Microsiga, Prológica e Cobra Computadores e Sistemas, que avançaram no desenvolvimento de computadores com tecnologias avançadas. O ponto negativo observado é que a falta de continuidade nas políticas industriais a partir da década de 90 anularam a capacidade de produção nacional de produtos eletrônicos, impedindo assim uma possível expansão de exportação nacional e aceleração da acumulação de experiências na indústria (EVANS; TIGRE, 1989). Essa tese também é confirmada por Shima *et al.* (2018, p. 2), quando descrevem que houve na década de 80 uma articulação do Estado brasileiro em relação a “criação de instituições e definição na forma de atuação em busca da criação e consolidação da indústria nacional”. Contudo, essas ações foram fragilizadas em decorrência de erros e da prioridade macroeconômica de tal forma que a “indústria brasileira de informática não se consolidou como um *player* relevante no cenário internacional”.

Após esse período, as políticas industriais perderam força e prioridade na agenda dos *policy makers*, retomando alguma força a partir de 2003 (SHIMA *et al.* (2018). Nesse sentido, como forma de analisar os impactos das políticas públicas que ocorreram naquele período, as seguintes políticas industriais são destacadas:

3.4.1 Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior - PITCE (2004-2007)

Apresentada em 31 de março de 2004, com foco no fortalecimento em atividades de inovação e apoio a quatro setores industriais, como software, semicondutores, fármacos e bens de capital. As principais contribuições desta política

foram a criação de um novo quadro institucional com a Lei de Inovação - Lei nº 10.973, em 2004 e a Lei do Bem - Lei nº 11.196 de 2005 que buscavam a implantação de ações com foco na exportação de software e serviços e incentivos fiscais para capital empreendedor; aperfeiçoamento da legislação acerca de propriedade intelectual; e implementação de possibilidades para atração e fixação de recursos humanos internacionais especializados (BRASIL, 2004; 2005). Com o objetivo de aumentar a eficiência econômica e a difusão de tecnologias, buscou-se, por meio desta política, a eficiência da estrutura produtiva, aumento da capacidade de inovação das firmas brasileiras e expansão das exportações. Para isso, foram criadas agências facilitadoras (como a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI e a Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos – APEX-Brasil) (IEL/NC, 2018).

A inserção das políticas industriais na agenda política demonstrou naquele momento o interesse na retomada do papel da indústria nacional na economia nacional. Cabe ressaltar que, com a implantação da PITCE, o que historicamente fora voltado para o aumento da estrutura física de plantas industriais, assumiu novas características com a intensificação de fatores para aumento de competitividade, por meio da inovação tecnológica. De modo geral, a PITCE comportou dois principais eixos: a modernização industrial e o desenvolvimento tecnológico, onde o Estado representaria o agente capaz de direcionar e intensificar o processo de aprendizagem, capacitação para PD&I para o alcance da competitividade global (BRASIL, 2003).

Os pontos positivos da PITCE foram a atuação do Estado e a articulação mais efetiva com o empresariado. Nesse sentido, também é possível ressaltar o incentivo de integração entre centros de pesquisa, o sistema educacional e o ambiente industrial para a articulação entre os diferentes atores (BRASIL, 2003). Em síntese, a PITCE conseguiu desenvolver implicitamente o desenvolvimento da base científica. No entanto, como afirma (ALMEIDA, 2014), não houve uma definição clara e efetiva de direcionamento para áreas específicas, o que demonstrou uma falha na estratégia de direcionamento e organização deste segmento.

A definição dos segmentos de semicondutores e software como prioridades, demonstrou o interesse em alinhar a estratégia nacional em relação à demanda tecnológica crescente em nível global. Por outro lado, as ações para a consolidação destas atividades apresentaram falhas, principalmente em relação ao número de firmas beneficiadas e da falta de detalhamento das referidas ações. O aspecto

negativo observado se refere a descontinuidade das ações em relação aos referidos segmentos. Essa descontinuidade resultou no baixo impacto da capacidade inovativa desses setores naquele período, quando houve redução de investimentos nas referidas firmas de base tecnológica (ALMEIDA, 2014).

Outro ponto observado foi a necessidade de ampliação de linhas de crédito para longo prazo e a redução de impostos para a promoção desses setores (VIEIRA, 2017). As linhas de crédito foram disponibilizadas pelo BNDES, que foi a principal agência de empréstimos e financiamentos. Em resumo, o BNDES desembolsou R\$ 122 bilhões entre 2003 e 2005, dos quais R\$ 66 bilhões para o setor de bens de capital. Em 2005, foram destinados via BNDES cerca R\$ 47 bilhões, o que representou um aumento de 17,5% em relação a 2004. Do total de 2005, R\$ 23,4 bilhões foram canalizados para a indústria (aumento de 48% em relação a 2004), sendo que o Finame (excluindo o Agrícola), tradicional linha de financiamento para máquinas e equipamentos, totalizou R\$ 10 bilhões (aumento de 45% em relação a 2004). Os segmentos de insumos básicos (siderurgia, petroquímica, celulose e papel) receberam R\$ 2,9 bilhões, o que representou um aumento de 72% em relação a 2004. R\$ 17 bilhões foram destinados para infraestrutura (aumento de 12,7% em relação a 2004) (MDIC, 2006). É importante ressaltar que no programa original não há o direcionamento específico para o setor de celulose e papel, mas sim para a melhoria das condições de fornecimento e custo de insumos e matérias-primas para empresas de insumos básicos.

A orientação e seleção de projetos foram direcionados para a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), o que em certa medida, não caracterizou a institucionalização das atividades de pesquisa. O desenvolvimento e implantação dos projetos foram incorporados pela iniciativa privada e não por instituições ou centros avançados de pesquisa (ALMEIDA, 2014). De certa forma, isso não pode ser compreendido como uma falha da política em questão, mas como uma evidência de como ocorre a aplicação prática do processo de inovação. Em outras palavras, o que se observa é que a indústria representa um importante ambiente de produção de novas tecnologias e também de pesquisa, pois a necessidade de adequações e criação de novas soluções ocorre em tempo real com demanda crescente. Isso corrobora com a hipótese de que a indústria trabalha como um incentivador de inovações incrementais que complementam a configuração de um Sistema Setorial de Inovação.

Quanto a orientação dos SIS, ao definir a inovação como objeto da política e que a trajetória para alcançar diferentes metas envolve uma estrutura de interação entre agentes econômicos, a PITCE buscou indicar um caminho para a orientação desses sistemas. Observa-se que a definição de instituições como BNDES para financiamento e da FINEP para direcionamento dos projetos estabeleceu uma proposição de estrutura sistêmica. Por outro lado, embora a referida política tenha identificado como essencial a capacitação técnica de profissionais, não se observa a criação de um sistema de ensino voltado a qualificação de capital humano naquele período. Isso ocorreu somente a partir de 2008 com a Lei 11.892, que criou os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia.

Por fim, é possível afirmar que a PITCE estabeleceu um marco importante nas políticas públicas, quando inseriu na agenda política o debate sobre P&D. O alinhamento do Estado com estratégias para geração de inovação possibilitou importantes avanços na orientação dos SIS. Os exemplos disso foram a Lei da Inovação e Lei do Bem, conforme abordado anteriormente. No entanto, a falta de continuidade em políticas desta natureza impediu avanços e desenvolvimento da indústria tecnológica nacional.

3.4.2 Política de Desenvolvimento Produtivo - PDP (2008-2010)

Em 12 de maio de 2008, o Governo Federal apresentou a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), com o objetivo de fomentar o investimento e sustentar o ciclo de crescimento em meio à grande crise internacional. Para o governo, a conjectura que demonstrava superávits comerciais, redução da dívida pública e o aumento da renda, somada aos programas de estímulo à produção, sobretudo o PAC, reforçava a posição de ambiente favorável ao desenvolvimento econômico (BRASIL/ABDI, 2008).

A PDP representava o conjunto de ações para a continuidade e evolução com a proposta de proporcionar “maior potência à política industrial, por meio da ampliação da sua abrangência, do aprofundamento das ações já iniciadas e da consolidação da capacidade de desenhar, implementar e avaliar políticas públicas” (BRASIL/ABDI, 2008, p.10). Nesse contexto, é possível afirmar que a PDP representou a continuidade das ações propostas na PITCE, porém com novas características. As mudanças

substanciais podem ser relacionadas com à abrangência das ações propostas. Enquanto a PITCE estava estruturada em quatro setores estratégicos, a PDP ampliou a atuação em 25 setores, com foco na ampliação da capacidade de oferta da economia, aumento da participação do investimento privado em P&D, bem como aumentar as firmas exportadoras e o fortalecimento da economia doméstica (BRASIL/ABDI, 2008).

Em relação a organização sistêmica desta política, a PDP buscou em certa medida, estabelecer a integração entre as redes produtivas e destacou a importância de novos complexos tecnológicos com canais para a criação e difusão da inovação. Nesse sentido, a interlocução com o setor privado exigiu uma estrutura de governança para integração entre as políticas e instituições, que ocorreu por meio de fóruns e grupos de trabalho de diferentes setores como indústria naval, petroquímica, automobilístico, construção civil, celulose e papel, entre outros. O objetivo foi mapear os pontos de melhoria nas cadeias produtivas e, assim, propor ações conjuntas para o desenvolvimento de setores específicos da indústria (BRASIL/ABDI, 2008).

No que diz respeito ao setor em celulose e papel, este setor foi elencado como uma das prioridades na consolidação e expansão na liderança global. Entre as estratégias de incentivos definidas é possível citar: (i) Investimentos em novas capacidades produtivas; (ii) Aumento de exportações; (iii) Elevação dos investimentos em inovação com ênfase em eficiência energética e ambiental e (iv) Fortalecimento e expansão de infraestrutura tecnológica. Como principais metas, foram definidas a manutenção entre os 5 maiores produtores mundiais e aumento de investimentos em P&D (IEDI, 2008).

No entanto, com relação às estratégias definidas pela PDP para o setor de celulose e papel, um problema enfrentado foi o alinhamento dos dois segmentos. Ou seja, no caso da celulose, o setor como um todo foi enquadrado no “Programa para consolidar e expandir liderança” (IPEA, 2009, p. 248). Nesse sentido, na trajetória de desenvolvimento deste segmento, observa-se que a indústria de celulose ao longo de sua história desenvolveu tecnologia própria e hoje se destaca entre os maiores produtores e exportadores mundial de celulose de fibra curta do mundo. Por outro lado, o setor de papel não tem a mesma representatividade internacional, onde predominam pequenas empresas voltadas para o mercado interno (CNI, 2009). Diante disso, sem uma política orientada para as especificidades do setor de papel, o referido setor não avançou para a posição dentre os maiores produtores mundiais. As

estratégias poderiam focar em incentivos específicos dirigidos a esse segmento para compensar suas menores escalas de produção e a maior concorrência global.

Outro ponto importante foi que as questões tributárias não contemplaram os segmentos. Porém, em relação aos créditos e incentivos por meio de direcionamento, a principal reivindicação do setor foi a redução do *spread*, o que foi contemplado no PDP, via BNDES. Outros aspectos atendidos no período foram: (i) Diluição do pagamento da dívida, reduzindo o custo nos primeiros anos de operação; (ii) Regulamentação do Fundo Garantidor, para atender à demanda de seguro contra o risco comercial para vendas no mercado interno e externo e (iii) Criação de linha de financiamento para desenvolvimento e capacitação de mão-de-obra (CNI, 2009).

De modo geral, a crise econômica de 2008 nos EUA representou uma ameaça concreta à continuidade do processo de crescimento econômico brasileiro. A exportação de celulose recuou fortemente, resultado da fraca demanda mundial, sobretudo da Europa. O mercado interno experimentou queda de mais de 10% no período de janeiro a abril de 2009, frente ao mesmo período de 2008. No mesmo sentido, a baixa demanda por papel, principalmente os papéis gráficos, também contribuiu para reduzir a demanda e exportação (CNI, 2009). Por outro lado, foi organizado um conjunto de ações com estímulos fiscais e creditícios via BNDES (e por outras instituições do Governo) para reduzir os impactos do cenário macroeconômico adverso. A soma de intervenções adotadas pelo governo contribuiu para a atenuar a crise econômica. Diante disso, a retomada do crescimento econômico brasileiro não foi suficiente para que os desafios estipulados pela PDP fossem contemplados na sua integralidade (FIESP, 2011).

O reflexo da crise de 2008, afetou a variável investimento no Brasil e isso prejudicou a ampliação da capacidade de oferta descrita como o primeiro desafio da PDP. Apesar das medidas adotadas para incentivar o crescimento econômico após a deflagração da crise internacional, em 2010 a taxa de investimento fixo não se recuperou totalmente, tendo atingido 18,4% do PIB. Isso representou um percentual aquém da meta definida que foi 21% do PIB até 2010. Outro desafio da PDP foi a elevação do dispêndio privado em P&D até 2010. Os investimentos que em 2005 representavam 0,54% do PIB, naquele momento buscaram atingir o patamar de 0,65% do PIB. Buscava-se, diante disso, a união de esforços entre o governo e a iniciativa privada, com foco na produção tecnológica para aumento da competitividade nas cadeias produtivas e da produção, tornando-as assim, mais competitivas. No

entanto, essa meta não atingiu o resultado esperado e os investimentos ficaram em torno de 0,40% do PIB em 2010, com redução em relação aos índices anteriores (FIESP, 2011).

A PDP estabeleceu a meta de atingir participação de 1,25% nas exportações mundiais até 2010, com valores absolutos de US\$ 208,8 bilhões. Conforme dados do MDIC, as exportações brasileiras atingiram US\$ 201,9 bilhões em 2010, ou seja, aquém da meta de exportações pré-definidas. Todavia, cabe ressaltar que naquele período as exportações mundiais foram afetadas pela crise econômica e, apesar dos impactos negativos, as exportações brasileiras tiveram uma grande representatividade e avanços em relação a participação no comércio mundial. Por fim, em relação ao fortalecimento da economia doméstica em relação à exportação, a meta que no início era aumentar o número de MPEs exportadoras em 10% até 2010 não foi atingida (FIESP, 2011).

Em síntese, os resultados da PDP demonstram que, apesar dos esforços e da relevância da PDP em termos estratégicos, os impactos gerados pela crise de 2008 e a descontinuidade das ações impediram o alcance das metas esperadas. No entanto, a organização das ações em prol de promover a atuação do Estado como coordenador do crescimento econômico representou o ponto marcante dessas políticas, que foram depreciadas até o ano de 2002.

3.4.3 Plano Brasil Maior - PBM (2010-2014)

O PBM inseriu diferentes ações no escopo de políticas públicas, buscando apoio e fortalecimento da competitividade do setor produtivo nacional. Esse programa foi estruturado com foco no fomento de PD&I e promoveu incentivos e o fortalecimento de práticas já existentes. Nesse cenário, proporcionou o aumento de exportações do setor e a participação de TI no PIB nacional, bem como geração de empregos qualificados. O programa TI Maior teve sua base estruturada em cinco eixos: 1) Desenvolvimento Econômico e Social, 2) Posicionamento Internacional, 3) Inovação e Empreendedorismo, 4) Competitividade, e 5) Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. Com base nessas premissas, alguns objetivos foram definidos, entre eles: i) fortalecer o setor de software e serviços de TICS no país, na concepção e desenvolvimento de tecnologias avançadas, ii) criar empregos

qualificados no país, iii) apoiar a geração de firmas de base tecnológica, e iv) fomentar a pesquisa avançada aplicada, fortalecendo a ligação de grupos de pesquisas e firmas (BRASIL, 2012).

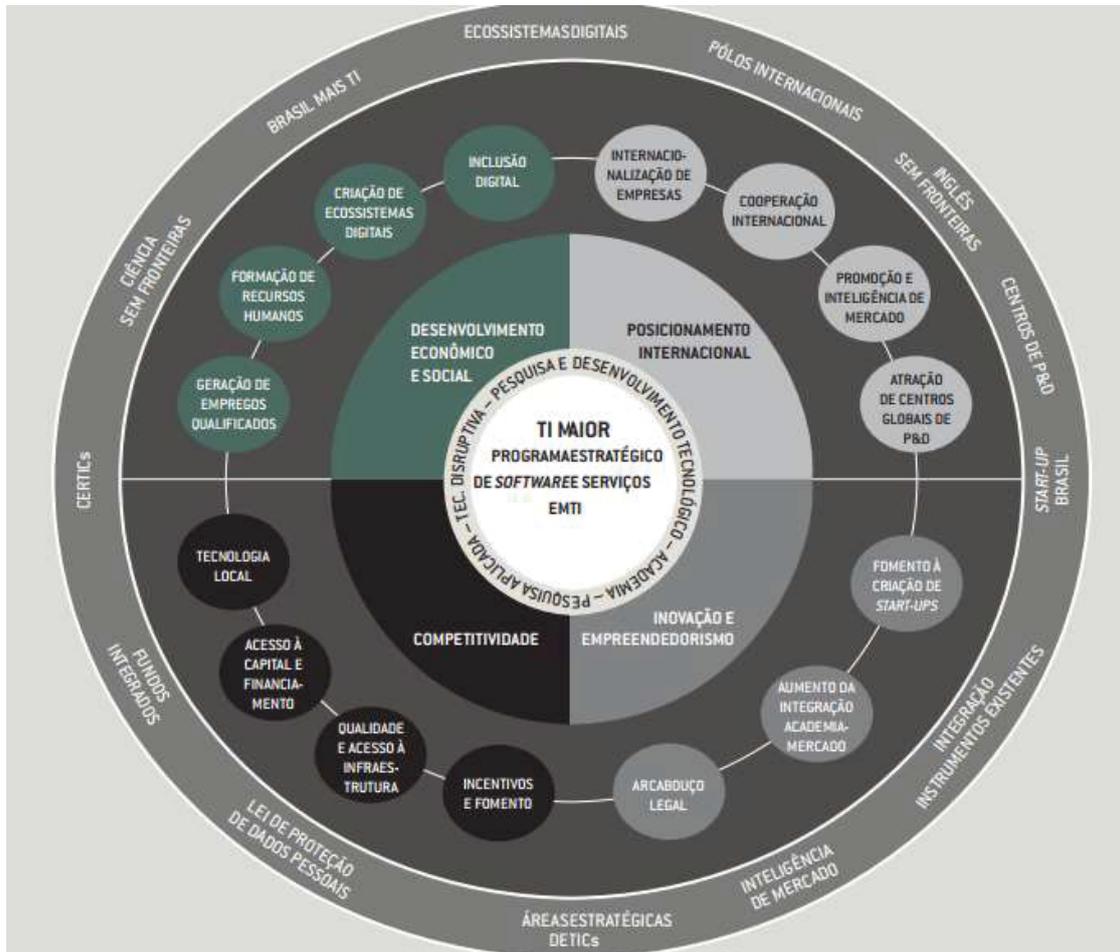
De modo geral, o PBM constituiu uma política com ênfase em medidas setoriais. Foram definidos 19 setores que receberam estímulos especiais, entre esses setores o setor de celulose e papel. Cabe ressaltar que quase 25% das ações foram direcionadas à agroindústria, onde o Brasil representa destaque em nível global. Outros setores como o automotivo e o complexo da saúde também receberam incentivos nesta política. Merece destaque, também, a ênfase no setor de defesa, aeronáutica e espacial com foco no *cluster* de São José dos Campos com a proeminência da Embraer. Por fim, bens de capital e o setor de tecnologia da informação e complexo eletrônico (TICS) foram o destaque (MATTOS, 2013).

Especificamente, em relação ao setor de celulose e papel, os impactos mais expressivos se concentraram no aumento da infraestrutura com novas plantas industriais e investimentos em máquinas e equipamentos para aumento da produtividade (IBÁ, 2015). A consequência disso foi o aumento de exportações, principalmente no segmento de celulose. A análise da trajetória de desenvolvimento do setor, bem como os impactos na indústria em questão, serão detalhados no próximo capítulo.

Entre as ações implementadas na área de CT&I, o Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI) e a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI - 2012-2015), constituíram a base dos estímulos à inovação do plano e foram organizados com o Programa Estratégico de Software e Serviços em Tecnologia da Informação, conhecido como TI Maior (Figura 3). Essas iniciativas representaram nos últimos quinze anos a base para estruturação do SNI e uma tentativa concreta de inserir o país no cenário global na área de TICS.

As ações se concentraram em transformar as TICS em alavanca para o desenvolvimento econômico e social no país. Um exemplo dessas ações foi a criação de sistemas digitais para promover a integração de núcleos de pesquisa em de software e serviços de TICS para setores estratégicos (IPEA, 2017). Além de atrações de centros globais de P&D na área de software e serviços de TI, reforçando a participação nacional no desenvolvimento dessas tecnologias e ampliando a capacitação tecnológica em território nacional, em conjunto com a “Sala de Inovação”, instituída pela Portaria Interministerial MCTI-MDIC nº 930/2010.

FIGURA 3 – AÇÕES DO PLANO TI MAIOR



Fonte: MCTIC (2012).

Outros exemplos foram a criação de polos internacionais, com o objetivo de atender as demandas das TICS em diferentes setores e mercados, e o programa Inteligência de Mercado, com o objetivo de “fomentar as relações com o setor privado, detalhando informações estratégicas sobre determinado setor, proporcionando relatórios estratégicos por meio de redes para geração de informações” (BRASIL, 2012, p. 26).

A certificação das tecnologias nacionais foi concedida pela rede CerTICS (Certificação de Tecnologia Nacional de Software e Serviços), com foco no desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de software e serviços com tecnologia nacional, para direcionar incentivos às firmas que atendessem a requisitos

de desenvolvimento de software orientado por instituições governamentais (BRASIL, 2012).

A proposição das ações naquele momento, somada à necessidade de apresentar soluções para a regulamentação de proteção e acesso a dados no ambiente digital, resultou no Marco Civil da Internet - Lei n.12.965, de 23 de abril de 2014 (BRASIL, 2014). O documento que buscou definir a neutralidade da rede nacional e as formas de proteção da liberdade de expressão e da privacidade dos usuários recebeu muitas críticas por não possuir aplicabilidade necessária nas relações sociais originadas pela internet. Além de apresentar insuficiências de conteúdo e poucas inovações. Somando-se a esse fato, a impossibilidade jurídica de regulação de uma rede mundial de computadores por meio de lei de um único país (TOMASEVICIUS FILHO, 2016).

A atuação do PBM incluiu estratégias para fomento do empreendedorismo, orientadas pelo programa *Start-Up* Brasil. Esse programa teve como objetivo alavancar a aceleração de *startups* para o desenvolvimento de novos produtos tecnológicos, buscando parcerias entre o governo e iniciativa privada. A principal meta foi acelerar 150 *startups* de *software* serviços de TI até 2014, sendo 25% de *startups* internacionais localizadas no Brasil, com recursos previstos de R\$ 40 milhões (MCTIC, 2012). Segundo Radaelli *et al.* (2020), em decorrência dessas ações, algumas dessas *startups* aumentaram o faturamento em 133% no referido período. Além disso, outro resultado observado no programa foi o importante aumento na geração de empregos. Assim, observou-se nesse exemplo específico, que houve o crescimento de firmas (novas ou existentes), bem como aumento de renda, emprego, impostos e investimentos em importantes setores da economia.

Outras importantes ações do PBM que merecem destaque foram: da Lei da Biodiversidade; a Lei de Compras Governamentais; o aumento da institucionalidade e da governança; aumento real da infraestrutura laboratorial; a criação, em rede nacional e internacional de 123 Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs) para o fomento da inovação. Destaca-se, também, o plano conjunto da FINEP e do BNDES chamado Inova Empresa, criado para promover soluções de desafios tecnológicos em sistemas específicos, que representou um marco na política de inovação brasileira por seu caráter sistêmico ao apoiar a interação entre firmas, universidades e instituições públicas (IEL/NC, 2018).

Os principais pontos do PBM que merecem destaque foram orientados para o aumento da capacidade científico- tecnológica, identificadas em instituições de ensino e centros de pesquisa. Além disso, no estudo organizado por Penna e Mazzucato (2016), foram observados elementos que possibilitaram o desenvolvimento da capacidade de identificar a demanda em ambos os segmentos (público e privado) e a assimilação da capacidade produtiva adequada, com empresários dispostos a assumir riscos para criar uma firma inovadora. Esses fatores evidenciaram a possibilidade de organização e prospecção de problemas e possíveis soluções para o desenvolvimento da inovação, onde Estado atua como o agente principal na articulação e formulação de políticas públicas.

Diante das ações apresentadas, é possível afirmar que houve, naquele momento, convergências para uma pauta desenvolvimentista na agenda política. Nesse cenário, políticas públicas para fomento da inovação, assim como a difusão e a aplicação de novos conhecimentos, foram implantadas com foco no aumento da produtividade e a promoção do crescimento. Outro aspecto observado naquele período, se refere às políticas de apoio ao empreendedorismo, que incluíam crédito e recursos para micro, pequenas e médias empresas com o programa *Start-up Brasil* (RADAELLI, *et al.*, 2019).

Em termos gerais, no período constituído por crises econômicas em nível global e concorrência de produtos importados, o PBM ampliou as ações já constituídas e promoveu mudanças na agregação de valor das cadeias produtivas nacionais. Percebe-se, dessa forma, que a ação efetiva do Estado em busca de mecanismos para o fomento da inovação proporcionou avanços significativos. Assim, é possível afirmar que por meio do fomento na inovação houve melhorias nas condições sistêmicas da competitividade. Entretanto, as ações ficaram concentradas no mercado interno, deixando lacunas para o efetivo crescimento da indústria tecnológica em nível global.

3.4.4 O atual cenário de inovação: o Plano de Ação para a Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*)

No atual cenário, a tentativa de organização de políticas voltadas à inovação ocorre com o Plano de Ação sobre IoT que, de acordo com o edital proposto em março

de 2016, tem o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável e competitivo da economia brasileira. A organização do edital para o estudo foi realizada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC (BNDES/MCTIC, 2018). O estudo foi conduzido pelo consórcio McKinsey/Fundação CPqD/ Pereira Neto Macedo, selecionado por meio da Chamada Pública BNDES/FEP Prospecção nº 01/2016 – Internet das Coisas (*Internet of Things*, em inglês) (BNDES, 2018).

O objetivo principal foi “acelerar a implantação da Internet das Coisas como instrumento de desenvolvimento sustentável da sociedade brasileira, capaz de aumentar a competitividade da economia, fortalecer as cadeias produtivas nacionais e promover a melhoria da qualidade de vida” (BNDES, 2018, p. 10). As prioridades foram definidas com foco na análise da demanda tecnológica nacional, oferta interna de produtos e serviço e capacidade de desenvolvimento de TICS. Quanto às ações para a realização trabalho, estas foram orientadas por meio de painéis com especialistas, consultas públicas, entrevistas e workshops para atender o principal objetivo central do referido estudo.

O relatório final apresentou dados técnicos relevantes, incluindo elementos que abordam a segurança da informação e proteção de dados pessoais, que estão em consonância com a Lei nº 13.709/2018 (Lei Geral de Proteção de Dados ou “LGPD”. Por outro lado, observa-se uma certa fragilidade no que se refere a falta de um marco referencial teórico como embasamento científico para a pesquisa. Nesse sentido Shima *et al.* (2018, p. 13) descrevem que o estudo “apresenta-se mais como um sistema de gestão da informação para geração de diretrizes”, diante da proposta de apresentar caminhos para o desenvolvimento sustentável, bem como aumento da competitividade da economia e fortalecimento das cadeias produtivas nacionais.

Os parâmetros normativos estabelecidos a partir do referido estudo foram instituídos pelo Decreto nº 9.854/2019 (BRASIL, 2019) e embora tenha estabelecido premissas relevantes para o tema, importantes questões não foram detalhadas. Como exemplo, é possível citar que a implantação de ações para o desenvolvimento de tecnologias de IoT dependerá de ações subsequentes do Estado, porém, não há indicações de como ocorrerá o direcionamento dessas ações. Além disso, outros pontos em aberto merecem destaque, como a definição dos meios para capacitação interna, além de não prever diretrizes para a composição e delimitação de SIS e

parcerias público-privado. Nota-se, também, que o referido decreto instituiu a Câmara de IoT com o objetivo de monitorar e avaliar as iniciativas de implementação do Plano Nacional de Internet das Coisas. Todavia, depois de uma indefinição política em relação à lotação da referida Câmara após a cisão ministerial em 2020¹⁰, poucas ações foram concretizadas. Por outro lado, o ferramental técnico e político pode indicar um caminho para a produção tecnológica no País diante da demanda por novas TICS. A próxima subseção trata com mais detalhes a Agenda Brasileira para Indústria 4.0.

3.4.5 A Agenda Brasileira para Indústria 4.0

Em 2018 foi também apresentada pelo extinto Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), a Agenda Brasileira para Indústria 4.0. De forma geral, essa Agenda expôs uma sequência de medidas para o fomento da indústria tecnológica como foco na redução do custo do capital, desburocratização, disponibilidade de linhas de crédito, *compliance* e aumento da competitividade (BRASIL, 2018). Algumas metas incluíram, ainda, alíquota zero para a importação de robôs, capacitação profissional e recursos para fábricas do futuro. Na proposta inicial foram previstos investimento em torno de R\$ 12 bilhões e, conforme apresentado na referida Agenda, o objetivo principal era aumentar sua competitividade da indústria brasileira no cenário global impactado pela “4ª Revolução Industrial” (BRASIL, 2018). A Agenda foi organizada com base em 10 Medidas (QUADRO 7).

QUADRO 7 – AÇÕES PARA A AGENDA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA 4.0

Medidas	Objetivos	Metas
1 – Divulgação dos conceitos da Indústria 4.0	Ampliar a disseminação do tema por meio de campanhas permanentes de comunicação, seminários e workshops.	Investimentos em torno de R\$ 25 milhões.
2 – Plataforma de auto avaliação	Disponibilizar uma plataforma de avaliação do grau de maturidade da indústria em relação aos avanços	Atender 3.000 empresas no

¹⁰ Por meio da Medida Provisória Nº 980, em 10 de junho de 2020, ocorreu a divisão Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (“MCTIC”). A partir dessa medida foram criados o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e o Ministério das Comunicações.

4.0	para a Indústria 4.0.	período de 2018 – 2019.
3 – HUB 4.0	Possibilitar a conexão de empresas aos provedores de tecnologias com foco na digitalização e modernização do parque industrial.	Investimentos de R\$ 35 milhões e 3.000 empresas atendidas.
4 – Brasil mais produtivo 4.0	Ampliar o número de empresa com aplicação de manufatura enxuta e suporte para que as interessadas no B+P migrem para o primeiro passo da digitalização industrial.	Investimentos de 30 milhões e 1.500 empresas atendidas.
5 – Fábrica do futuro e <i>testbeds</i> ¹¹	Financiar projetos de <i>testbeds</i> e a formação de “fábricas do futuro” em parcerias com agências federais e estaduais de fomento.	Investimentos de R\$ 30 milhões e atender até 20 <i>testbeds</i> ou “fábricas do futuro”.
6 – Conexão <i>Startup</i> -Indústria 4.0	Fomentar um ambiente de conexão entre <i>startups</i> e indústrias para o desenvolvimento tecnológico de soluções a partir de demandas industriais. Estimular novas formas de gestão de desenvolvimento de tecnologias com base em métodos e ferramentas ágeis e foco em clientes. Disseminar processos que promovam a mudança cultural para a inserção de conceitos da Indústria 4.0.	Investimentos de R\$ 30 milhões. Apoiar 100 <i>startups</i> e 50 indústrias.
7 – Financiabilidade para uma Indústria 4.0	Garantir, por meio de parcerias com bancos públicos e privados e agências de fomento, um leque de opções de financiamentos acessíveis a diferentes empresas e necessidades.	Investimentos de R\$ 10 bilhões para créditos em instituições públicas e privadas.
8 – Mercado de trabalho e educação 4.0	Mapear competências, compreender as demandas de mercado e requalificar trabalhadores. Entre as ações propostas, destacam-se a oferta de cursos por meio de uma base nacional proposta “treinar” 1,5 mil professores de Educação Profissional e Tecnológica (EPT) em Indústria 4.0, assim como 10 mil alunos da rede federal de EPT.	Volume inicial de investimento previsto em R\$ 100 milhões.
9 – Regras do Jogo 4.0	Definir uma agenda de reformas legais e infra legais para a aceleração da indústria brasileira em direção ao 4.0. Entre as ações previstas destaca-se os investimentos no Polo Industrial de Manaus (PMI) para modernização e digitalização do parque industrial e criação de instrumentos jurídicos para a Indústria 4.0.	
10 – Comércio Internacional	Zeragem das alíquotas do imposto de importação de diversos tipos de bens e insumos estratégicos para a	Investimentos de R\$ 1,24 bilhão no

¹¹ *Testbed* é uma plataforma para orientar experimentos de forma transparente e replicáveis de teorias científicas, ferramentas computacionais e novas tecnologias. Um *testbed* pode incluir componentes de *software*, *hardware* e rede que, quando combinados, permitem a realização e a coleta dos dados resultantes desses experimentos (RNP, 2021).

4.0	<p>indústria do futuro.</p> <p>Reduzir alíquota do imposto de importação de robôs industriais e colaborativos, classificados na NCM 8479.50.00 dos atuais 14% para 0%, objetivando reduzir os seus custos de aquisição e agilizar todo o procedimento de importação.</p> <p>Redução da alíquota do Imposto de Importação (II) para impressoras 3D e equipamentos voltados para a Manufatura Aditiva, classificados nas NCMs 8477.80.90 e 8477.90.XX, dos atuais 14% para 0%.</p>	período 2018 – 2020.
-----	--	----------------------

Fonte: Elaboração própria a partir da Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 (BRASIL, 2018).

No estudo organizado por Amorim *et al.* (2020), os autores avaliaram o estágio de execução das ações relacionadas à Agenda para Indústria 4.0. Na análise apresentada no estudo, observa-se que “a maior parte das Medidas se encontra na Fase de Execução, em grau de tímida execução ou mesmo incipiência, devido aos atrasos ou a não efetivação das ações dentro dos prazos e alcances estabelecidos” (AMORIM, *et al.* 2020, p. 44). De modo geral, é possível afirmar que não é clara a forma de realização das diferentes ações. Entre elas, destacam-se a falta de detalhamento na forma e montante de investimentos destinados à divulgação dos conceitos da Indústria 4.0 (Medida 1). Segundo o referido estudo, não há informações sobre os recursos executados na citada Medida.

Outros pontos também merecem destaque, entre eles: em relação ao Hub 4.0 (Medida 3), não há informações disponíveis sobre a realização de parcerias entre provedores de tecnologias e instituições privadas, ou mesmo universidades para o desenvolvimento de soluções. Outro aspecto que não é claro se refere aos critérios para direcionamento de recursos (Medida 5 e Medida 7). Especificamente, não há dados do Ministério da Economia ou BNDES que detalhem linhas de créditos para projetos relacionados ao objeto da Agenda 4.0. Já em relação à conexão entre indústrias e *startups* (Medida 6), os investimentos direcionados foram de R\$ 4,8 milhões, o que possibilitou ações entre 30 indústrias e 60 *startups*, como aponta o estudo de Amorim *et al.* (2020). Cabe destacar que a previsão inicial para a referida Medida foi de R\$ 30 milhões.

O contraponto observado em relação ao fomento da Indústria 4.0 diz respeito à Medida 10. Nela, observa-se que um dos objetivos se refere à redução da alíquota para importação de robôs industriais e importação para impressora 3D. Nesse sentido,

é possível afirmar que a ação de reduzir impostos de importação não pode ser atribuída ao desenvolvimento da indústria tecnológica, mas sim a repetir o frustrado modelo de consumir produtos de alta intensidade tecnológica de grandes *players* internacionais e isso anula e impede a estruturação da produção de TICS nacionais. Neste aspecto cabe ressaltar que a extinção do Centro Nacional de Tecnologia Eletrônica Avançada (CEITEC) por meio do Decreto 10.578, de 15 de dezembro de 2020 (BRASIL, 2020), em meio a uma crise mundial no fornecimento de chips de computadores, representa retrocesso e contradição nas ações para fomento da indústria tecnológica. Quanto aos aspectos jurídicos relacionados à regulação e definição de normas técnicas para transmissão de dados, destaca-se a Medida Provisória nº 869, de 27 de dezembro de 2018 (BRASIL, 2018), que criou a Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD).

No cenário que envolve ações para a Indústria 4.0 no Brasil, observa-se a ineficiência dos canais oficiais¹² de divulgação do governo sobre atividades do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Além disso, nota-se a falta de engajamento da iniciativa privada em termos de parcerias com instituições de pesquisa e financiamento para o desenvolvimento de tecnologias. Os exemplos já apresentados da Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 e o Plano Nacional de Internet das Coisas demonstram a falta de manutenção e continuidade dos projetos. Outros programas como a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (2016-2022), o Plano de CT&I para a manufatura avançada no Brasil – ProFuturo: produção do futuro e Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação em Economia e Sociedade Digital não apresentam dados sobre continuidade e resultados alcançados.

As ações mais recentes envolvem a Política Nacional de Inovação (BRASIL, 2020), que buscam organizar atividades efetivas como a Câmara Brasileira da Indústria 4.0, que reúne em uma plataforma o conjunto de ações específicas relacionadas à Indústria 4.0 no Brasil. Essas ações são coordenadas pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), pelo Ministério da Economia (ME) e a Associação Brasileira de Internet das Coisas (ABINC). As iniciativas envolvem o desenvolvimento de capital humano, a busca de possibilidade dentro das cadeias

¹² www.industria40.gov.br; mapeamento40.mctic.gov.br; www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologias_convergentes/arquivos/Cartilha-Plano-de-CTI_WEB.pdf; <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/camara-industria>

produtivas, regulação, fontes de financiamento e infraestrutura. No entanto, as informações apresentadas em canais oficiais dos Ministérios são relatos de uma visão geral sobre a importância do desenvolvimento da Indústria 4.0 e não apresentam resultados efetivos de políticas industriais.

Outras ações se referem ao Marco legal de Inteligência Artificial, que é tratado no Projeto de Lei (PL) 21/2020 e no PL 976/21 estabelecem uma política de estímulos para o desenvolvimento de cidades inteligentes. Ambos estão em fase inicial e não apresentaram resultados implementados. De modo geral, no que diz respeito à Política Nacional de Inovação, observa-se que as ações também são incipientes e ainda não apresentaram o foco na Indústria 4.0. Em outras palavras, enquanto o Estado não assumir o protagonismo na condução das redes de inovação e apresentação dos resultados obtidos a partir as políticas industriais, as restritas ações não terão resultados efetivos em termos de produção tecnológica. O contrário pode ser observado na plataforma da Comissão Europeia¹³, que apresenta os resultados atualizados sobre as iniciativas dos países membros e as principais estratégias são compiladas no Monitor de Transformação Digital. A divulgação desses resultados pode direcionar estudos mais precisos sobre o tema, como exemplo é possível destacar o estudo sobre as políticas industriais na União Europeia (TEIXEIRA e TAVARES-LEHMANN, 2022).

Em síntese, observa-se que em muitos aspectos há semelhanças com o que foi vivenciado nas décadas de 1970 e 1980, quando a descontinuidade das políticas industriais, comprometeu a estruturação e fortalecimento da indústria nacional. Além disso, a incipiência, fragilidade e mesmo os pontos contraditórios das atuais ações, demonstram que as medidas para o fomento da Indústria 4.0 se resumem a tentativas iniciais de articulações para desenvolvimento tecnológico. A dificuldade de acesso aos resultados, devido à extinção do *site* www.industria40.gov.br, que foi criado para detalhar as ações e etapas realizadas da Agenda Brasileira para a Indústria 4.0, segundo informações disponibilizadas pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC, 2018), também comprometem a análise destas ações.

Por fim, nota-se que pela falta na divulgação dos resultados da Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 por parte dos Órgãos responsáveis, é correto afirmar que ocorrem interrupções e a descontinuidade das ações para o fomento de

¹³ Plataforma sobre os Hubs de inovação na Europa. Disponível em: <https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/digital-innovation-hubs-tool>

tecnologias nacionais. Os pontos abordados nesta subseção apresentaram diferentes ações voltadas à PD&I. Nesse contexto, é possível afirmar que as ações para fomento da inovação exigem continuidade e investimentos recorrentes para que os resultados de médio e longo prazos sejam significativos. À luz disso, observa-se a supressão de investimentos e políticas semelhantes nos períodos subsequentes. Ainda faltam ações bem estruturadas e organizadas de médio e longo prazos e, principalmente, vontade política por parte dos *policy makers*. A próxima seção apresenta as políticas setoriais do setor de celulose e papel ao longo da trajetória de desenvolvimento.

3.5 O PAPEL DO ESTADO NA CONFORMAÇÃO DAS POLÍTICAS SETORIAIS: A TRAJETÓRIA DA INDÚSTRIA NACIONAL DE CELULOSE

No Brasil, o processo de inovação no setor de celulose e papel ocorreu, ao longo da história por meio da atuação de agentes públicos e privados, tanto no nível de pesquisa e agregação tecnológica, como no direcionamento de recursos para investimentos, via bancos públicos (HORA, 2017). Nesse contexto, a compreensão do setor nacional está relacionada com a transformação por meio da co-evolução de seus vários elementos, como cooperação, desenvolvimento tecnológico e estratégias de gestão. Assim, o processo inovativo foi organizado por meio de diferentes instituições e pontuar a importância dos SNIS em relação às convenções e tradições institucionais representa uma estratégia para análise do setor e seus impactos na economia.

O cenário da indústria nacional de celulose e papel é descrita por Toivanen e Lima-Toivanen (2011, p. 65), “como exemplo da importância dos esforços no longo prazo entre agentes públicos e privados para a consolidação de vantagens competitivas com base no conhecimento tecnológico”. Nesse contexto, cabe ressaltar que a trajetória de desenvolvimento industrial no Brasil, a partir do segundo pós-guerra, ocorreu com aquisição de máquinas para a composição das linhas de produção nas indústrias transnacionais. Essas grandes máquinas que constituíram o *core* de tecnologias radicais no setor de celulose e papel tiveram suas origens a partir de poucos fornecedores como globais *Valmet Corporation*, com sede na Finlândia e a firma alemã *Voight GmbH & Co*. Por outro lado, ao longo da trajetória do setor, a incorporação de tecnologias incrementais para a manutenção e atualização das

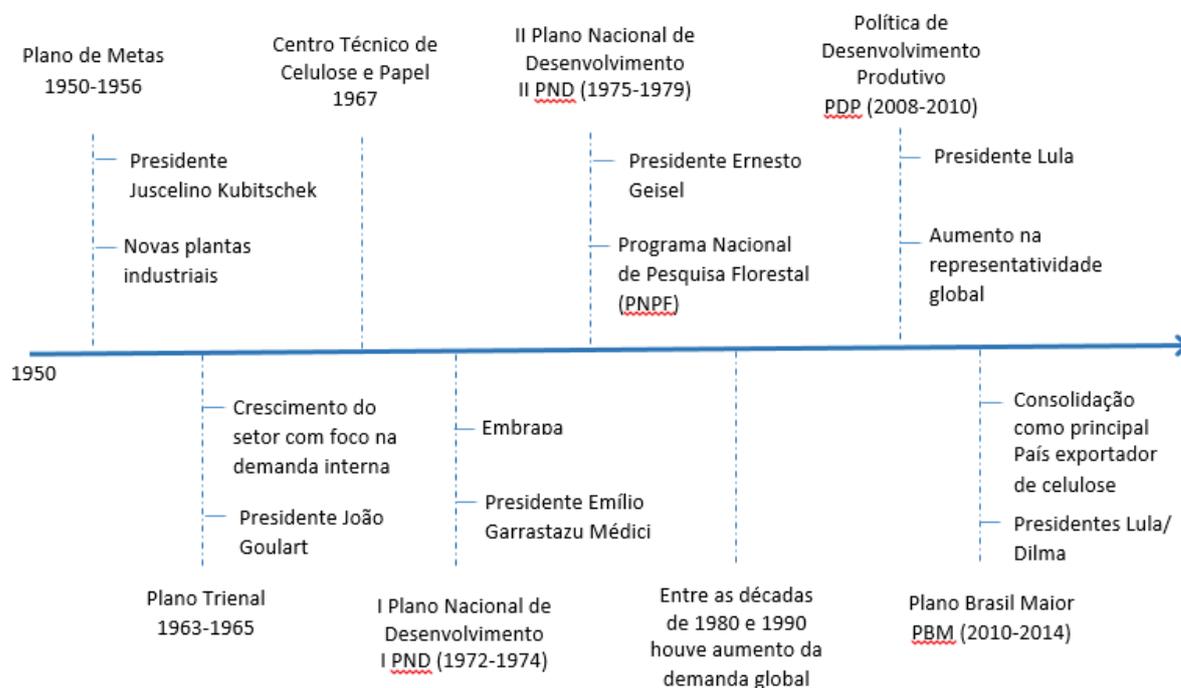
referidas máquinas foi atribuída às firmas nacionais, prevalecendo, naquele momento, a importação de tecnologias estrangeiras. Isso está relacionado ao contexto descrito por Furtado (1988) e Bambirra (1974), em que as ações industriais no Brasil foram caracterizadas pela dependência de capital estrangeiro, definido por grandes *players* globais. Naquele cenário, o mecanismo de troca passou a ser o investimento de capital internacional para a produção industrial no País.

3.5.1 A trajetória de desenvolvimento do setor de celulose e papel

O crescimento do setor de celulose e papel no Brasil ocorreu de forma intensiva a partir dos anos 50. Segundo o estudo sobre a evolução do setor de celulose e papel no Brasil (BNDES, 1991), naquele momento o Brasil importava grande parte da celulose e do papel consumidos no País. Para Toivanen e Lima-Toivanen (2011), o governo brasileiro contribuiu com importantes investimentos em instituições que possibilitaram a transferência e produção de conhecimento, como institutos de pesquisa e universidades. Nesse contexto, novas diretrizes para o fomento da inovação ocorreram por meio de políticas públicas para a geração de novas tecnologias. Essas políticas incluíram investimentos na cadeia florestal e incentivos para aquisição de máquinas para a produção de celulose e papel, entre outras iniciativas legais e normativas. Observa-se, também, que houve avanços na verticalização do setor e a inserção de novos atores, como associações técnicas, novas firmas, alianças estratégicas em nível nacional e internacional, fornecedores e prestadores de serviços e máquinas e institutos de pesquisa. Diante disso, é possível afirmar que, por meio de diferentes iniciativas, no segundo pós-guerra o sistema brasileiro de produção de celulose e papel iniciou o processo de ampliação do fornecimento de produtos em escala global. O Gráfico 1 apresenta o momento histórico das principais políticas que impactaram o setor de celulose e papel no Brasil.

Em termos de políticas públicas naquele período, o Plano de Metas (1956-1960), implantado pelo presidente Juscelino Kubitschek, incluía como um dos seus objetivos um programa direcionado para o setor celulose e papel com incentivos e recursos para a produção privada (SANTANA, 1999). Os resultados foram o aumento da produção interna e, conseqüentemente, a redução do volume de importação de celulose e papel.

GRÁFICO 1 – TRAJETÓRIA DAS POLÍTICAS INDUSTRIAIS QUE IMPACTARAM O SETOR DE CELULOSE E PAPEL



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados BNDES/IEDI (2021).

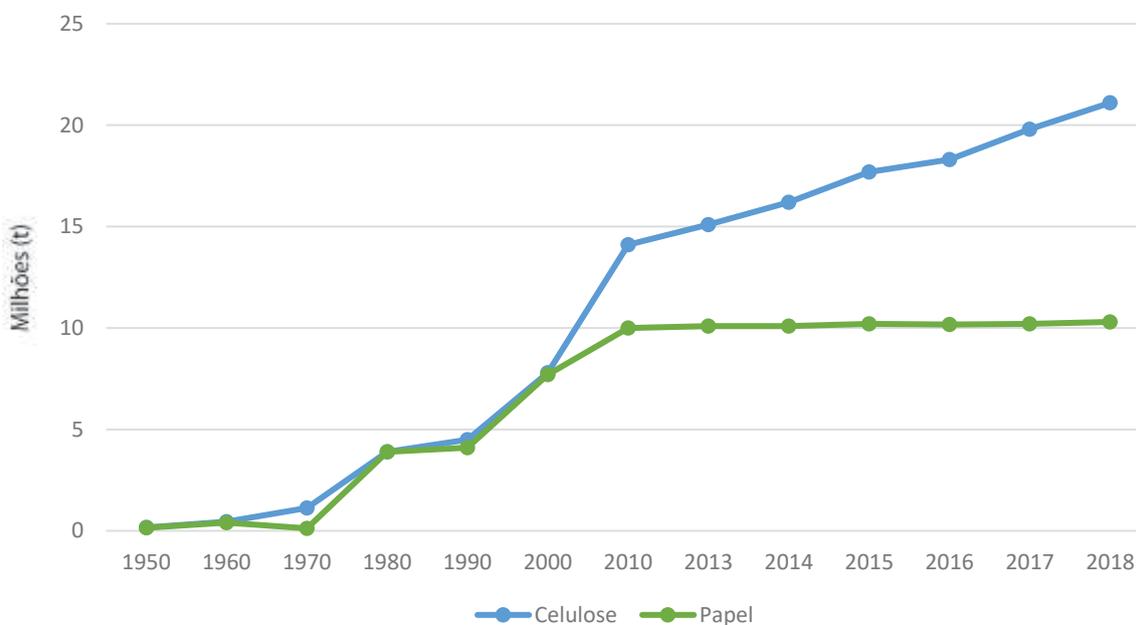
A sequência dos incentivos ocorreu também na década seguinte, com o Plano Trienal (1963-1965), no governo de João Goulart. Segundo Santana (1999), um dos objetivos do Plano era impulsionar o setor para atender integralmente à crescente demanda interna e obter excedentes de produção suficientes para permitir exportações, principalmente em relação à produção de celulose. Os anos 60 foram marcados também, por avanços no processo de inovação e na expansão industrial, permitindo dessa forma, novas tecnologias de produção em grande escala. Outros avanços observados foram investimentos em áreas de reflorestamento de espécies como eucalipto, selecionadas como pesquisas para a melhoria genéticas das plantas e fortalecimento do setor (BNDES, 1991; Toivanen e Lima-Toivanen, 2011).

A estruturação de ações para o fomento da pesquisa na indústria de celulose e papel ocorreu, principalmente, com o avanço de parcerias entre instituições privadas e o setor público. Isso evidencia a importância de políticas públicas com impactos nos anos seguintes. Como exemplo, destaca-se a parceria realizada entre o Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo (IPT), fundado em 1899 com Secretaria do Desenvolvimento Econômico, Ciências e Tecnologia do Estado de São

Paulo. Com isso, o governo paulista estruturou um laboratório para testes relacionados as especificidades das fibras da madeira para a produção de celulose para atender solicitações de agências governamentais e instituições privadas. Ainda nos anos 60 o laboratório realizou uma parceria com a empresa finlandesa Pöyry. Como resultado de investimentos, o IPT inaugurou em 1967 o CTCP – Centro Técnico de Celulose e Papel. Logo depois, nos anos 1970 a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) apoiou a atualização do conhecimento e capacitações em celulose e papel e no IPT.

Na década de 1970, as políticas de incentivo para o setor seguiram com o I Plano Nacional de Desenvolvimento - I PND (1972-1974) e com o II PND (1975-1979), que resultaram na ampliação da estrutura da indústria de base no país e no aumento da produção e exportação da indústria nacional. O Gráfico 2 apresenta dados da evolução da produção de celulose e papel entre 1950 e 2018.

GRÁFICO 2 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL NO BRASIL ENTRE 1950 E 2018 (em milhões de toneladas)



Fonte: FAO (2020).

Com o crescimento da agricultura do Brasil no mesmo período, em decorrência do aumento da demanda em relação a alimento e fibras, houve a criação de um grupo de trabalho voltado ao desenvolvimento científico no setor agrícola. Além disso, os debates ocorreram no âmbito do Ministério da Agricultura e buscavam alternativas para identificar limitações no referido setor, sugerir providências em nível de políticas públicas e indicar fontes e formas de financiamento assegurar uma dinâmica em atividades agropecuárias. As ações orientadas pelo referido grupo resultaram na Lei nº. 5.851 de 1972, que autorizou o Poder Executivo a instituir empresa pública sob a denominação de Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), vinculada ao Ministério da Agricultura. O Decreto nº. 72.020, de 28 de março de 1973, aprovou os estatutos da Empresa (EMBRAPA, 2021).

A partir da implantação da Embrapa houve importantes avanços em P&D florestal. Naquele mesmo período, importantes ações de fomento foram criadas, como do Programa Nacional de Pesquisa Florestal - PNPF, resultante de convênio estabelecido com o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). O convênio delegou à Embrapa a coordenação, execução e apoio da pesquisa florestal brasileira, também no âmbito do Ministério da Agricultura. Com o apoio da Sociedade Brasileira de Silvicultura - SBS, o PNPF foi aprovado e implantado em 1978. Atualmente, o Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (CNPQ), vinculado à Empresa Florestal é a Instituição de referência global em P&D que agrega esforços da iniciativa privada, universidades e instituições de pesquisa para o desenvolvimento de novos produtos e tecnologias. Nota-se, diante disso, o papel do Estado no desenvolvimento e fomento de ações voltadas para o setor de florestal no Brasil (EMBRAPA, 2021).

Os investimentos na indústria de papel e celulose seguiram nas décadas de 1980 e 1990, com crescimento da demanda global por papel e aumento de renda e escolaridade (SOARES *et al.* 2005). A soma destes fatores resultou na consolidação da indústria nacional a partir da década de 1990, quando o Brasil se tornou um dos maiores exportadores mundiais de celulose de fibra curta e diversos tipos de papéis. Os investimentos do referido período foram direcionados para a construção de novas fábricas e aumento na produção.

Outro período marcado por importante impacto no setor ocorreu com a implantação da PDP, a partir de 2008. Naquele momento, a PDP buscou consolidar a liderança competitiva por meio de ampliação de investimentos em infraestrutura e na

capacidade tecnológica para o desenvolvimento de novos produtos. Ainda como objetivo desta política, buscou-se fortalecer as redes de logística e de fornecimento de insumos (BRASIL, 2008). Como resultados dos investimentos é possível destacar o aumento nas exportações de celulose e redução nas importações de papel, com o fortalecimento do abastecimento interno. Cabe ressaltar que essas alterações ocorreram na presença de preços domésticos decrescentes e de preços internacionais constantes (CORONEL, *et al.* 2011).

A partir de 2000 houve um aumento representativo na produção da celulose em relação à produção de papel. Isso pode ter ocorrido devido às mudanças nas estratégias dos industriários que buscaram ampliar o segmento de celulose com expectativas da valorização da *commodity*. Esses investimentos foram direcionados para bases florestais e construção de novas plantas industriais voltadas para celulose (BRACELPA, 2011). É importante destacar que naquele período houve a estabilização da produção de papel, o que representa um direcionamento para estratégias voltadas ao segmento de celulose. Isso representa um sinal da perda de competitividade da indústria de papel, que é produto de maior valor agregado, ou seja, um sinal da comoditização da economia brasileira.

Nesse cenário, o domínio deste mercado deverá permanecer em países com amplitude territorial suficiente para acomodar florestas de pinus e eucalipto de larga extensão, infraestrutura para transporte da madeira e escoamento da celulose para exportação e com condições climáticas necessários para este cultivo (HORA, 2017; IEDI, 2018). Países como China e Índia serão ainda os maiores consumidores destes produtos, em decorrência dos altos índices demográficos destes países, segundo o relatório do BNDES (HORA, 2017).

De modo geral, o setor de celulose e papel sempre foi presente nas políticas industriais em diferentes governos. Isso resultou no desenvolvimento constante dessa indústria, devido às estratégias direcionadas para o aumento da capacidade produtiva em nível nacional e redução da dependência externa de matéria prima. Nessas condições, ocorreu a inserção de *players* nacionais no mercado global em condições de concorrência e qualidade com grandes produtos internacionais. No entanto, cabe destacar que as mudanças nas cadeias produtivas em decorrência dos avanços tecnológicos demandam novas estratégias institucionais. A próxima seção trata dos avanços tecnológicos no setor.

3.5.1.1 Os avanços das capacidades tecnológicas na indústria de celulose e papel

O desenvolvimento industrial e tecnológico, de modo geral, pode ser associado a fatores de crescimento econômico como redes de inovação, aumento da demanda por produtos e serviços com valor agregado e formação técnica. É possível também associar a estes fatores, o fortalecimento da capacidade tecnológica na indústria brasileira, que também representa uma das condições necessárias ao crescimento econômico do país. Diante disso, a análise da trajetória de avanços nas capacidades tecnológicas pode contribuir para o planejamento de estratégias e ações para o desenvolvimento de setores específicos.

A trajetória de desenvolvimento das capacidades tecnológicas no setor de celulose e papel, que teve início com a importação de máquinas para imprensa (LIMA, 1993), seguiu nas décadas seguintes com o desenvolvimento das técnicas para tratamento e com o aprimoramento na extração da matéria-prima. Outro importante condicionante tecnológico na indústria papeleira pode ser relacionado com o desenvolvimento de métodos para o uso e tratamento da água. Isso, em decorrência do processo de fabricação, que utiliza como suporte aditivos de reagentes químicos, principalmente para a produção de papéis gráficos e sanitários (HIGACHI, 1993). Segundo o autor, outro fator que deve ser observado na produção de novas tecnologias é o energético. A energia utilizada, sobretudo para o aquecimento de caldeiras, demandou na trajetória de crescimento da indústria investimentos para o aprimoramento da produção desse recurso.

O processo de inovação na indústria de transformação em estudo pode ser analisado sob dois aspectos. O primeiro diz respeito à dependência de fornecedores estrangeiros de produtos de alta intensidade tecnológica. A maior intensidade tecnológica das grandes máquinas e equipamentos que constituem a base produtiva do setor de celulose e papel é obtida a partir de firmas globais com alta especialização produtiva. A alta intensidade tecnológica particular a estes fornecedores indica a existência de uma sólida estrutura tecnológica construída ao longo da trajetória como estratégia de crescimento econômico (TOIVANEN, 2012). Em segundo lugar, as mudanças incrementais derivadas de esforços técnicos e experimentais que envolvem melhoramentos contínuos em máquinas, equipamentos e processos foram obtidos por meio de resultados internos e por fornecedores nacionais em sua maioria (FIEP, 2016; FIGUEIREDO, 2016).

A necessidade de formação e qualificação da força produtiva e a intensificação do debate internacional sobre a importância das indústrias intensivas em recursos naturais nas questões ambientais, a partir da década de 90, representaram importantes aspectos para investimentos em inovação e capacitação (FIGUEIREDO, 2016). Quanto aos recursos públicos destinados ao financiamento de projetos de inovação, bem como ampliação de parques industriais e maquinários, estes foram direcionados via BNDES (BNDES, 1991).

No estudo elaborado por Figueiredo (2016), o autor analisou 15 empresas do setor de celulose e papel no Brasil, que representam 76% da produção de celulose e 50% da produção de papel nos últimos 5 anos. O critério de escolha foi a representatividade das empresas nos diferentes segmentos. Diante disso, constatou-se que os caminhos percorridos por elas, em sua acumulação de capacidades tecnológicas, seguiram estratégias para o distanciamento da trajetória tecnológica de fibra longa, que tem como principais produtores as firmas líderes dos países da América do Norte e Escandinávia, para o desenvolvimento da trajetória de fibra curta. Segundo o autor, o aumento das capacidades tecnológicas foi inserido por diferentes níveis e procedimentos, entre eles o desenvolvimento de capacidades tecnológicas por meio de redes de firmas. Outros estudos, como os apresentados por Toivanen e Lima-Toivanen (2011) e IEL/NC (2018) destacam a trajetória de parcerias com universidades e institutos de pesquisa e de políticas públicas nacionais de suporte à pesquisa, financiamento e comércio exterior.

Nestes estudos, destacam-se fatores de impacto na indústria de celulose e papel, principalmente a partir das políticas públicas implantadas em 2008. Alguns pontos podem ser destacados, entre eles o aumento da capacidade de produção florestal, ou seja, a implementação de atividades de produção com base no uso de tecnologias e sistemas de produção florestal. As estratégias direcionadas para este fim possibilitaram a produção de viveiros e processos de reprodução seminal de mudas, infraestrutura para prevenção e monitoramento de incêndios, atividades de planejamento em reflorestamento e recursos para instalação, assistência e recuperação florestal (FIGUEIREDO, 2016). Isso se reflete na importância das indústrias nacionais no atual cenário produtivo em nível global.

Do mesmo modo, outros processos podem ser destacados como inovações tecnológicas mais recentes na referida indústria, como as tecnologias para rastreamento e registro de operação para dados florestais, gerenciamento de

variedades por área do solo, clima, tempo e demanda, processos de plantio e recursos para controle de peste e doenças e processos para proteção de diversidade biológica relacionados às áreas de plantio (FIGUEIREDO, 2016; IEL/NC, 2018; TOIVANEN, 2012). Estas atividades incluíram investimentos em P&D para a criação de tecnologias florestais, mas que podem oportunizar também, possibilidades para inovação no escopo de negócios das firmas.

De modo geral, é possível afirmar que as ações de inovação no chão de fábrica ocorrem na busca de soluções padronizadas e controles de processos de qualidade, em consonância com legislações específicas. Exemplos destas ações podem ser relacionadas com à automação de processos, atualizações em tempo real de sistemas quando da introdução de mudanças no processo e processamento em nuvem (FIGUEIREDO, 2018; IEL/NC, 2018). Diante disso, observa-se que na trajetória de desenvolvimento da indústria, houve a implementação de diversas tecnologias de processos e produtos industriais estruturados no desenvolvimento de soluções adaptativas. As estratégias envolveram modificações associadas a novas demandas por celulose e papel, processos de engenharia e sistemas de avaliação para elaboração de novos projetos e controles de produção para sistemas complexos. Já com relação a produtos, foram implementadas em diferentes níveis e empresas, atividades de melhoria nas características dos produtos, padronização como resultado de automação de forma contínua e diferenciação de produto por valor adicionado. No entanto, um elemento que merece destaque diz respeito à intensificação das ações de inovação na indústria em estudo, especificamente nos últimos 12 anos (IBÁ, 2019; BNDES, 2021). Isso pode refletir os resultados das políticas que impactaram o setor de celulose e papel em períodos anteriores. Por fim, a análise da relação entre as políticas de inovação e o desenvolvimento industrial do referido setor, bem como os possíveis impactos no desenvolvimento de novas TICS, serão detalhados no capítulo de resultados e discussões. Isso pode contribuir para o diagnóstico das necessidades e demandas tecnológicas no setor.

Diante disso, busca-se no próximo capítulo, convergências dessas estratégias em relação ao ambiente tecnológico nacional, com foco na análise das tecnologias, incluindo bases de conhecimento, fontes e graus de oportunidades tecnológicas, condições de apropriabilidade e graus de acumulação técnica em sistemas setoriais. Para isso, no primeiro momento, será direcionada uma análise geral do setor de celulose e papel em nível global e nacional, com foco em elementos específicos da

cadeia produtiva do referido setor. Após a descrição geral, a análise volta-se para o atual cenário da indústria nacional e os impactos na economia nacional.

4 ANÁLISE SETORIAL DA INOVAÇÃO: O CONTEXTO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

Neste capítulo, a atenção volta-se para a análise do setor de celulose e papel. A proposta é apresentar considerações sobre a relevância da indústria no atual cenário. Além disso, serão destacadas as principais características da cadeia produtiva e da trajetória de desenvolvimento da indústria nacional. Busca-se, nesta etapa, demonstrar o impacto da indústria no cenário nacional e identificar possibilidades de inserção de novas tecnologias neste contexto.

Em síntese, as atividades do setor se concentram na produção e extração de madeira, na fabricação de celulose e pasta mecânica e, por fim, na produção de papel e embalagens. Diante disso, os desafios para as novas tecnologias são direcionados para soluções que integrem toda a cadeia produtiva, aperfeiçoamento a agilidade de interligação entre dispositivos. Este capítulo está organizado da seguinte forma: na primeira seção são abordados elementos sobre o cenário global do setor de celulose e papel, com destaque para a indústria nacional como importante *player* global. Na sequência, serão apresentadas as etapas de produção desse setor, com o objetivo de identificar pontos potenciais para a implantação de novas tecnologias no processo produtivo. A terceira seção detalha a trajetória de desenvolvimento da indústria nacional de celulose e papel e por fim, serão apresentadas algumas referências sobre balança comercial e impactos do setor no PIB nacional.

4.1 O CENÁRIO GLOBAL DO SETOR DE CELULOSE E PAPEL

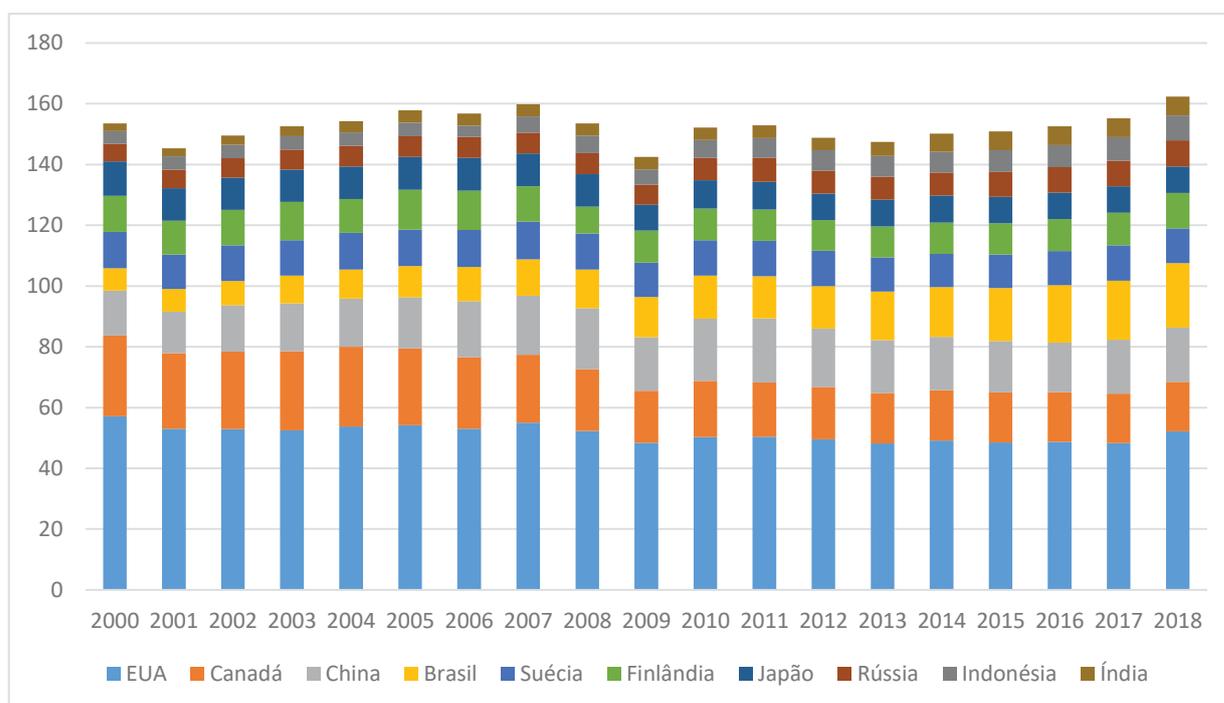
A análise da indústria de celulose e papel justifica-se pela grande representatividade desse setor na indústria nacional. Além disso, se faz necessário compreender os fatores que determinam o desenvolvimento das capacidades tecnológicas para inovação e aumento de produtividade e, assim, buscar possibilidades de desenvolvimento e implantação de novas tecnologias na perspectiva de sistemas de inovação. Diante disso, alguns elementos relacionados às diferenças estruturais e organizacionais entre os dois segmentos serão detalhados no decorrer do capítulo.

4.1.1 Características gerais do segmento de celulose

As estratégias da indústria de celulose estão relacionadas, em muitos aspectos, com eficiência na alocação dos recursos em P&D, disponibilidade de áreas para plantio, políticas de preservação e cotação internacional da *commodity*. Assim, é possível afirmar que existe concentração de mercado no que se refere à oferta. Quando analisado pelo lado da demanda, o setor é polarizado, conforme o tipo de fibra (longa ou curta), com diferentes produtos (VIDAL e HORA, 2012).

Segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2020), a produção mundial de celulose para papel em 2018 foi de 191,2 milhões de toneladas (m/t). Em relação aos países produtores, os 10 principais países são responsáveis por cerca de 84% da produção mundial. Nota-se, que ao longo de 20 anos, a concentração de mercado em relação à produção de celulose permanece a mesma. O Gráfico 3 apresenta essa concentração dos maiores produtores e a produção mundial na série histórica.

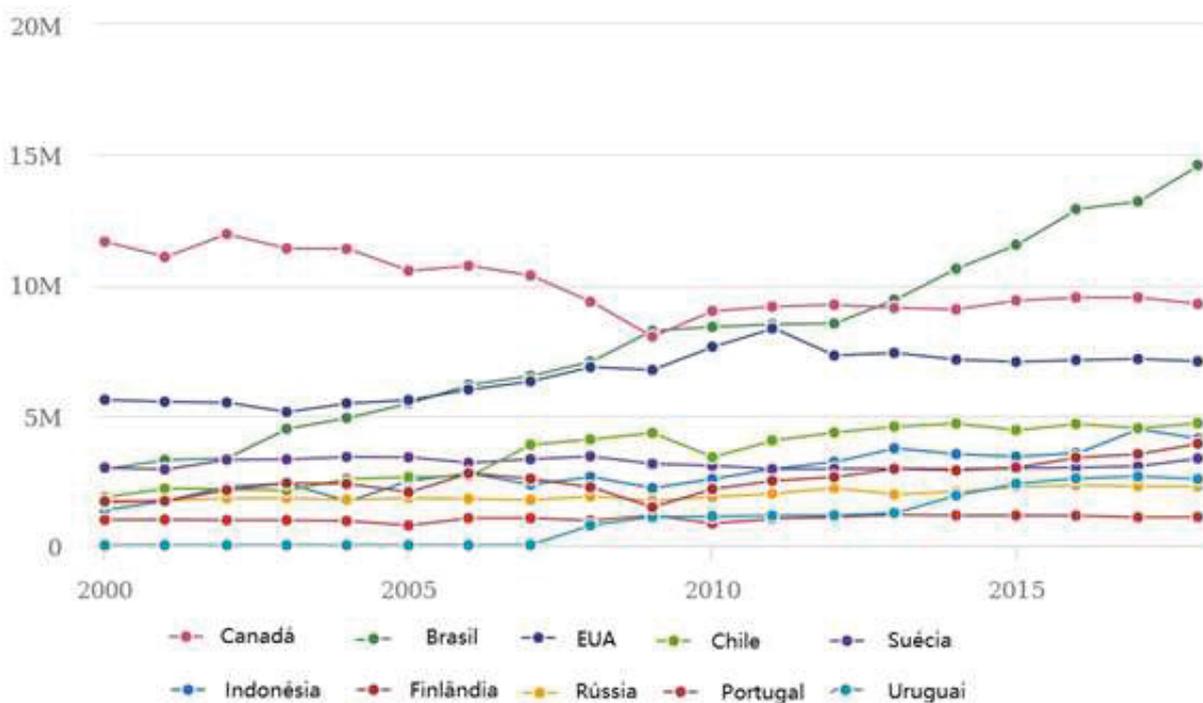
GRÁFICO 3 – PRINCIPAIS PRODUTORES MUNDIAIS DE CELULOSE ENTRE 2000 E 2018 (em milhões de toneladas)



Fonte: FAO (2020).

Em relação à exportação de celulose, o Brasil se tornou em 2016 o maior exportador global. O volume de exportação aumenta a cada ano, totalizando em 2018 aproximadamente 15 milhões de toneladas exportadas e, assim, o país se consolida como um grande fornecedor global desse insumo. Na segunda posição segue o Canadá, responsável pela exportação de 9,3 milhões de toneladas em 2018. Os Estados Unidos são o terceiro maior exportador, com 7 milhões de toneladas de celulose exportadas no mesmo período (Gráfico 4). Juntos, estes três países somam 50% das exportações mundiais, o equivalente a 30 milhões de toneladas, número que corrobora a característica de concentração industrial do setor, uma vez que, tanto a produção quanto as exportações e importações se concentram em poucos países (FIEP, 2016).

GRÁFICO 4 – PRINCIPAIS PAÍSES EXPORTADORES DE CELULOSE NO MUNDO
(em milhões de toneladas)



Fonte: FAO (2020).

As expectativas para os próximos anos no segmento de celulose e papel são de uma crescente demanda da China, EUA e Europa. No ano de 2020, a indústria que já acumulava crescimento em períodos anteriores, foi impulsionada pelo crescimento

das demandas por papel embalagens e para fins sanitários. A próxima subseção aborda com mais detalhes as características do segmento de papel e as relações com a produção e demanda entre os dois setores.

4.1.2 Panorama geral do segmento de papel

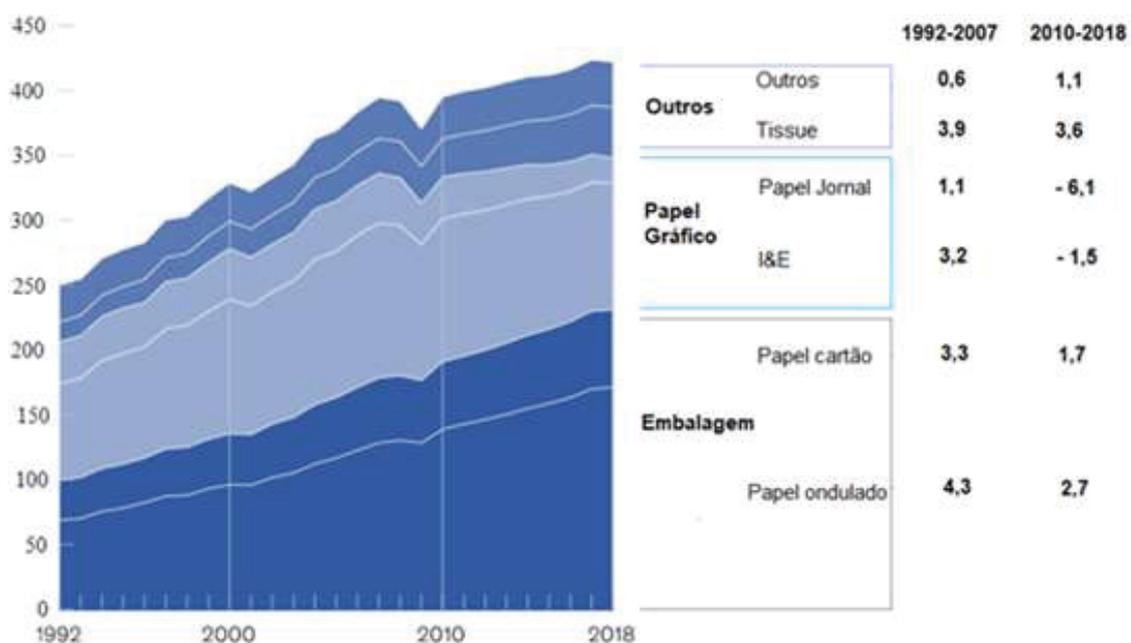
Quanto ao setor de papel, a indústria é constituída de forma menos concentrada em relação a oferta de diferentes produtos e grande número de pequenos produtores. Em relação a produção global, países com a estrutura industrial consolidada para o referido setor concentram a produção global. Além disso, destaca-se a incidência de fortes barreiras de entrada, elevado grau de verticalização e a necessidade de constantes reparos incrementais (*upgrades*) nas máquinas e equipamentos (MELLO, 2002). Quanto à cotação do papel, os preços são cíclicos e acompanham as oscilações da celulose. Além disso, outros determinantes afetam a valorização e depreciação como atividade econômica global, a expansão da capacidade e as flutuações nas taxas de câmbio. Em relação ao consumo, a média global por ano é aproximadamente 55 kg por pessoa (FAO, 2019).

Nesse segmento, a produção mundial é organizada conforme a sua textura nas seguintes categorias:

- i) O papel imprensa para a fabricação de jornais, revistas e outras publicações similares;
- ii) Papéis para imprimir e escrever, como o papel *offset*, papel *couché*, papel monolúcido, papel apergaminhado, papel *super bond* e cartolina para impressos;
- iii) Papel para embalagens;
- iv) O papel-cartão e a cartolina, também muito utilizados na confecção de embalagens em geral, podem ser classificados em: papel-cartão duplex; papel-cartão tríplex; cartão sólido; cartolina branca e colorida; papelão; e, polpa moldada;
- v) Papéis para fins sanitários ou *tissue*, os papéis para fins sanitários são compostos por folhas de baixa gramatura e utilizados essencialmente na higienização pessoal e doméstica (FIEP, 2016).

Segundo dados do estudo apresentado por Berg e Lingqvist (2019), em relação à produção global de papel, houve redução de demanda mundial nos últimos anos, principalmente por papel gráfico, em decorrência dos avanços dos meios de comunicação e mídias on-line. Por outro lado, observa-se o crescimento nos segmentos de papéis para embalagens e papéis *tissue* para fins sanitários e higiene (Gráfico 5).

GRÁFICO 5 – TAXA DE CRESCIMENTO MÉDIO DA PRODUÇÃO GLOBAL (em milhões de toneladas)

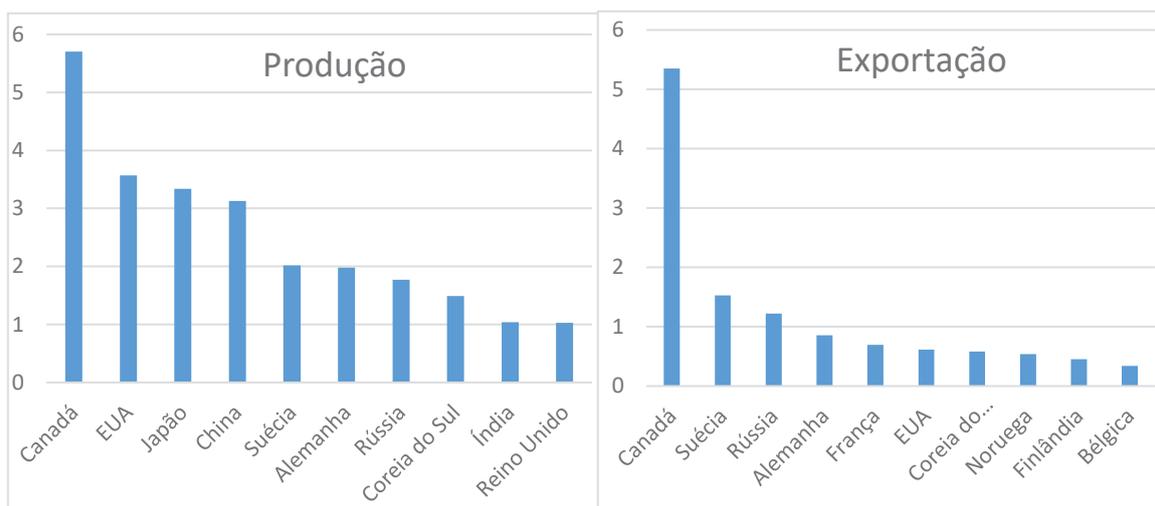


Fonte: Berg e Lingqvist (2019).

No que se refere à produção de papel, em 2018 a produção global foi de aproximadamente 419,7 m/t, com grande parte da produção direcionada para papel para embalagens. Os três maiores países produtores de papel do mundo são China, Estados Unidos e Canadá. Estes três países são responsáveis por mais da metade da produção mundial de papel. Quanto aos países exportadores, não há predominância de um único país. Os destaques são para os Estados Unidos, como maior exportador de papel para embalagens e Finlândia, maior exportador de papéis para imprimir e escrever (FAO, 2020). Os gráficos de 6 a 15, apresentam as médias

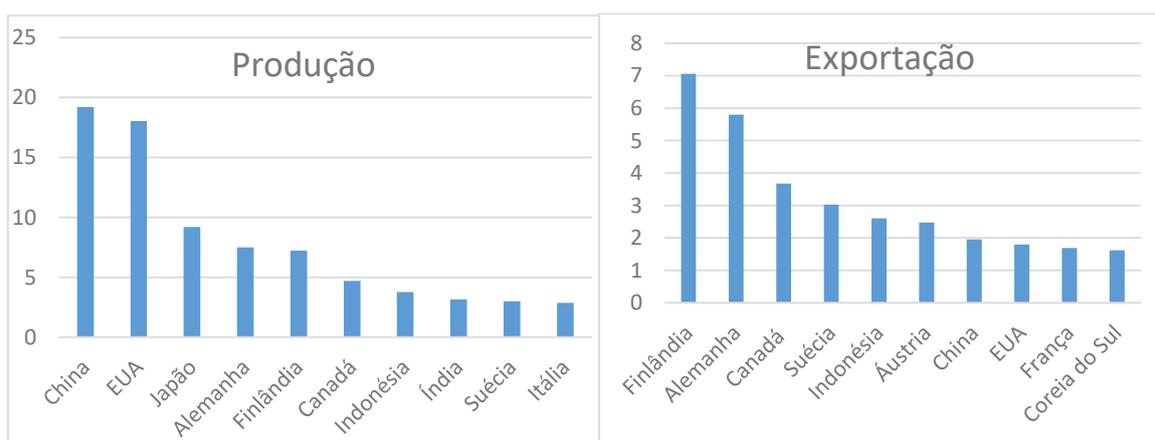
de produção e exportação dos principais países entre 2000 e 2018 e são organizados por categorias.

GRÁFICOS 6 E 7 – PRINCIPAIS PRODUTORES E EXPORTADORES GLOBAIS DE PAPEL IMPRENSA – MÉDIAS ENTRE 2000 E 2018 (em milhões de toneladas)



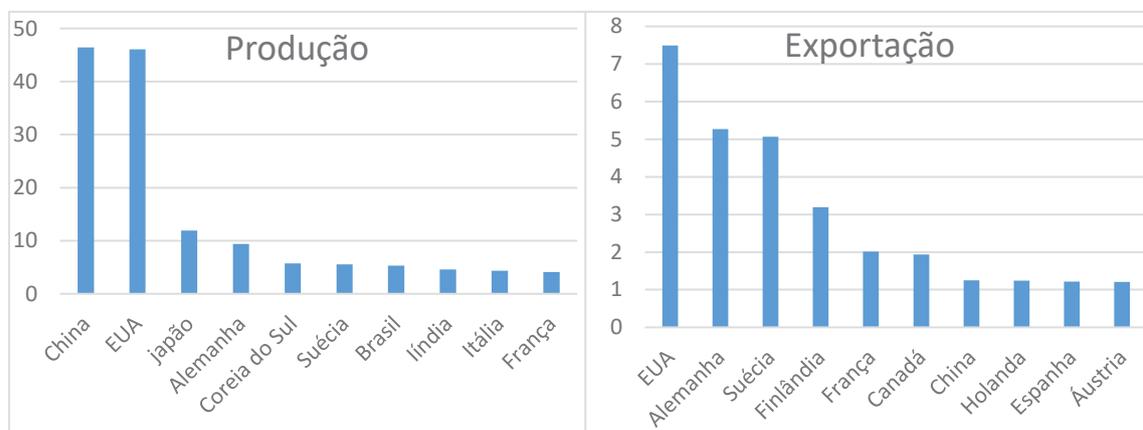
Fonte: FAO (2020).

GRÁFICOS 8 E 9 – PRINCIPAIS PRODUTORES E EXPORTADORES GLOBAIS DE PAPÉIS PARA IMPRIMIR E ESCREVER – MÉDIAS ENTRE 2000 E 2018 (em milhões de toneladas)



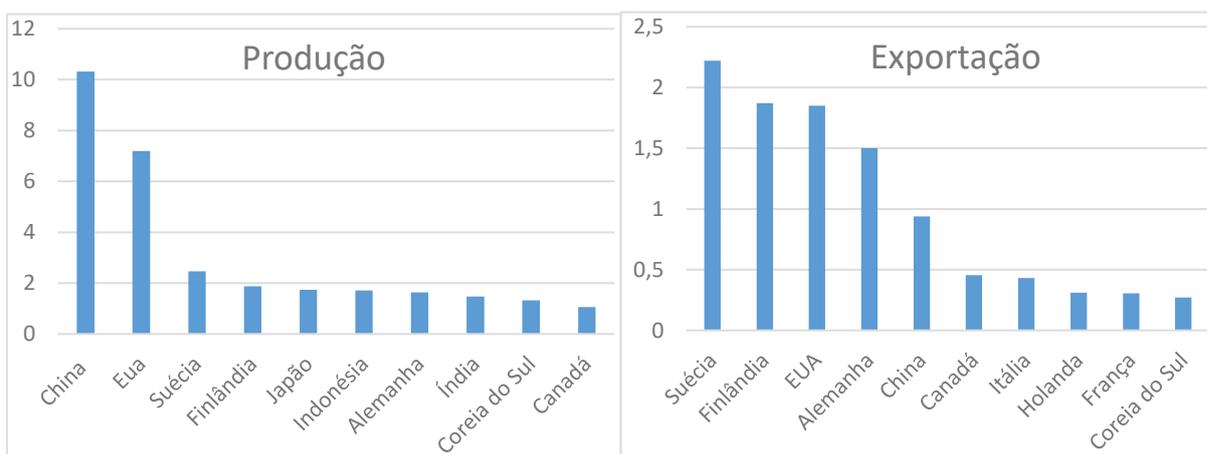
Fonte: FAO (2020).

GRÁFICOS 10 E 11 – PRINCIPAIS PRODUTORES E EXPORTADORES GLOBAIS DE PAPEL PARA EMBALAGENS – MÉDIAS ENTRE 2000 E 2018 (em milhões de toneladas)



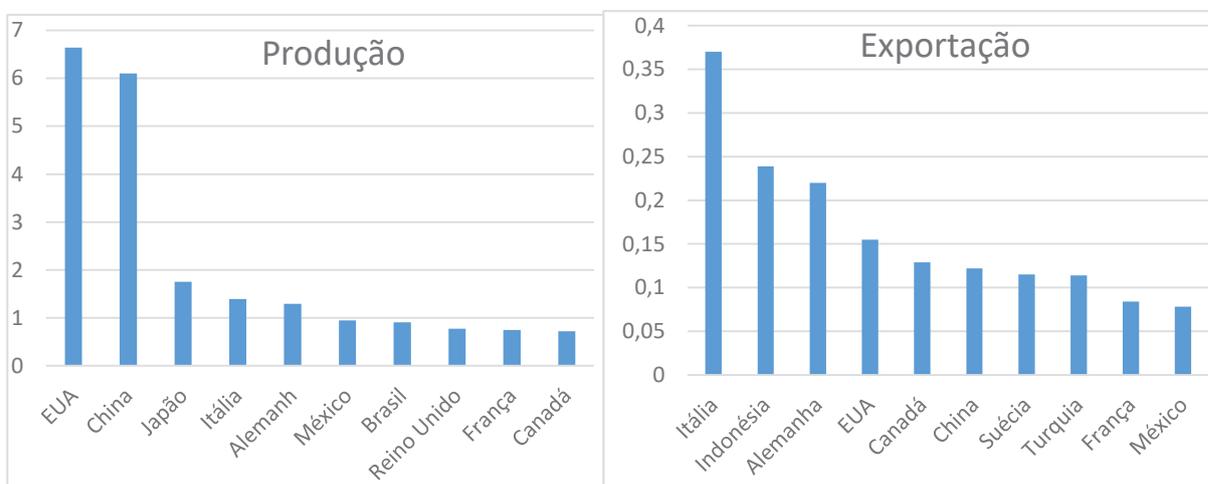
Fonte: FAO (2020).

GRÁFICOS 12 E 13 – PRINCIPAIS PRODUTORES E EXPORTADORES GLOBAIS DE PAPEL-CARTÃO – MÉDIAS ENTRE 2000 E 2018 (em milhões de toneladas)



Fonte: FAO (2020).

GRÁFICOS 14 E 15 – PRINCIPAIS PRODUTORES E EXPORTADORES GLOBAIS DE PAPÉIS PARA FINS SANITÁRIOS (*TISSUE*) – MÉDIAS ENTRE 2000 E 2018 (em milhões de toneladas)



Fonte: FAO (2020).

Segundo dados do *The World Count* (2021), cada pessoa utiliza mais de duas folhas de papel a cada hora em todo o mundo. Os maiores consumidores são os Estados Unidos, Japão e Europa, onde o consumo anual por pessoa é estimada entre 250 e 300 Kg. Com uma produção global de aproximadamente 400 milhões de toneladas por ano, os materiais de embalagem compreendem em torno de 50% da indústria.

Observa-se, neste contexto, que os impactos causados pelo Covid-19 em 2020 aceleraram o crescimento em nível global do setor, principalmente no segmento de *tissue*, em decorrência do aumento da demanda por produtos de higiene pessoal. Outro segmento impactado de forma positiva foi o de embalagens, em decorrência do aumento do e-commerce e embalagens para alimentos, bebidas e produtos farmacêuticos. Por outro lado, a demanda por papel de imprimir e escrever foi reduzida. A mudança nas demandas por produtos resultou na necessidade de reestruturação nas linhas de produção e, como consequência, novos investimentos em novas máquinas e equipamentos (CORDEIRO; NEVES, 2020). Segundo os autores, outros fatores como aumento do preço da celulose de fibra curta podem impactar o mercado global. Isso poderá ocorrer em decorrência da valorização da *commodity*, caso a economia mundial se recupere, gerando assim o aumento da produção e consumo de papéis e da redução de estoques mundiais.

Outro fator importante a ser considerado, diz respeito às exigências de órgãos de controle por ações internas de sustentabilidade, o que resultará no aumento em pesquisas por novas aplicações e usos da madeira e seus componentes (BERG E LINGQVIST, 2019). A próxima seção apresenta uma visão geral do ciclo de produção deste setor. Assim, ao analisar a organização dos processos desta cadeia produtiva, busca-se identificar possibilidades para a indústria tecnológica nacional.

4.2 CARACTERÍSTICAS DA CADEIA PRODUTIVA DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

A cadeia produtiva de celulose e papel é estruturada por meio de processos de automação e especialização técnica, com foco na integração e coordenação das atividades fabris. Segundo Castilho e Frederico (2010), as pressões competitivas ampliam a articulação dessas cadeias entre diferentes agentes e isso se reflete na necessidade de investimentos em pesquisa, bem como a necessidade de aprimoramento de tecnologias em máquinas e equipamentos. No que se refere à fabricação de celulose e papel, a matéria-prima base para a produção industrial é a polpa de celulose, que é extraída a partir de fibras encontradas em raízes, tronco, folhas, frutos e sementes de vegetais. As principais espécies cultivadas na indústria são o eucalipto¹⁴ e pinus¹⁵.

A estrutura da cadeia produtiva se divide em duas etapas (CASTILHO e FREDERICO, 2010; PIOTTO, 2003):

- i) Base florestal (produção Florestal e processamento primário), que é organizada em etapas de pesquisa, plantio, extração e produção de madeira e agrega grandes áreas de ativos florestais, geralmente com áreas específicas destinadas a preservação ambiental;

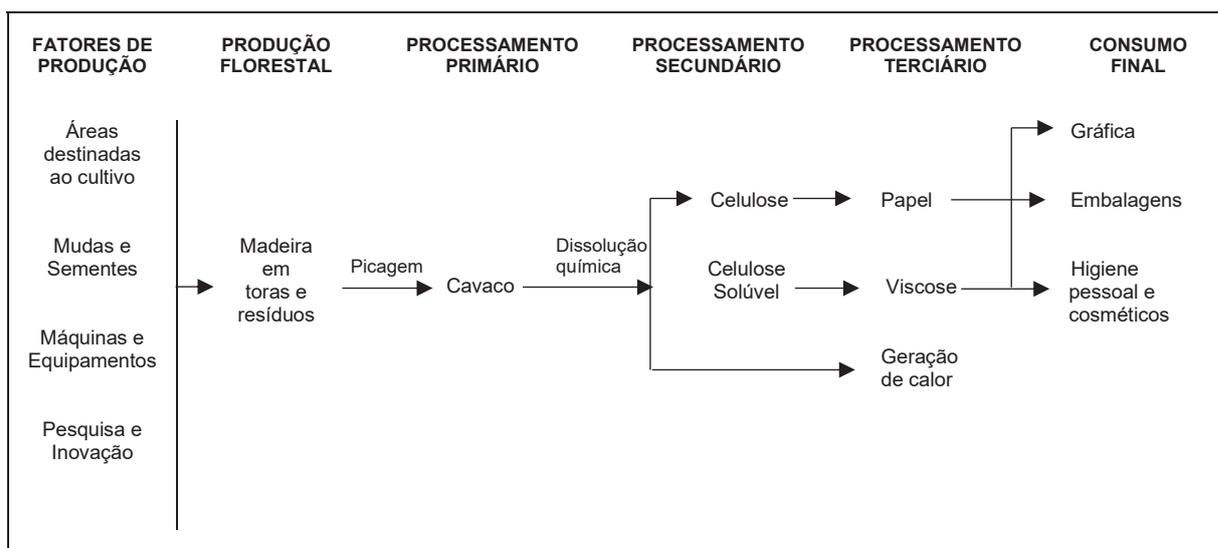
¹⁴ A espécie *Eucalyptus* tem origem a Austrália, Indonésia e outras ilhas da Oceania. Das 730 espécies reconhecidas botanicamente, apenas 20 delas são atualmente utilizadas comercialmente. Entre elas é possível citar *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus dunni*, *Eucalyptus benthamii*, *Corymbia citriodora*, entre outras. Fonte: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/eucalipto/Abertura.html>

¹⁵ *Pinus* compreende cerca de 90 espécies, nativas do hemisfério norte. As espécies mais comuns são *P. elliottii* e *P. taeda*. <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/>

- ii) Indústria de transformação (processamento secundário e terciário): segmentada na produção de celulose e papel, embalagens, artefatos de papel e indústria gráfica e produtos originados da madeira.

Percebe-se, assim, que neste ciclo, o processo principal se concentra na produção da matéria-prima (celulose) para posterior transformação no produto final (papel). Nesta fase, o foco é para a qualidade na produção de matéria prima que resultará também em um produto final com propriedades aceitáveis para padrões internacionais. Na etapa seguinte, que é a de transformação, ocorre a incorporação de novas tecnologias ao avançar em cada etapa de produção (FIEP, 2016). O Quadro 8 ilustra a integração da cadeia produtiva do setor de celulose e papel.

QUADRO 8 – CADEIA PRODUTIVA DO SETOR DE CELULOSE E PAPEL



Fonte: Adaptado IBÁ (2019).

Quanto a classificação da celulose, este processo ocorre em decorrência da fibra (curta – eucalipto, ou longa - pinus), bem como ao processo de fabricação (químico, semiquímico e alto rendimento/pasta mecânica) e a destinação (mercado ou integrada). Neste último, a celulose é denominada integrada, quando se destina à produção de papel em uma planta anexa à produção do insumo; e mercado, quando é encaminhada para outras fábricas de papel. Após o direcionamento para a produção em decorrência da destinação, ocorre o agrupamento em categorias específicas, que

são definidas segundo Vidal e Hora (2012), como:

- Celulose *kraft*¹⁶ branqueada de fibra curta ou, *bleached hardwood kraft pulp* – BHKP): utilizada na produção de papéis para imprimir e escrever, *tissue* e papel-cartão. É o tipo de celulose mais produzida no Brasil e com maior competitividade global. No Brasil é proveniente do eucalipto, com diferencial de qualidade em relação às demais fibras curtas, em especial para aplicação em papéis sanitários. No processo de produção, são utilizadas técnicas para o branqueamento, que resulta em produtos de qualidade superior (PIOTTO, 2003). A celulose é qualificada em decorrência do agente químico branqueante utilizado no processo de produção e pode ser: i) STD (*Standard*): quando utiliza cloro molecular; ii) ECF (*Elementary chlorine free*): sem uso do cloro molecular; e TCF (*Totally chlorine free*) sem uso de compostos clorados.

Em termos de mercado, a polpa de celulose ECF apresenta crescimento contínuo e domina o mercado mundial de celulose química. Em 2018, a produção representou totalizando mais de 3/4 do mercado mundial. Já a polpa TCF representou 5% da celulose química produzida. O motivo ocorre devido ao processo da polpa TCF ter custos maiores e menor rendimento do que a polpa ECF.

- Celulose *kraft* branqueada de fibra longa (*bleached softwood kraft pulp* – BSKP): o custo de produção é maior se comparado a BHKP, em razão do ciclo mais longo para o corte das árvores e do processo químico na produção. Por outro lado, o produto final é mais resistente, evitando até danos ao rodar em máquinas de papel muito rápidas. É bastante utilizada em papéis sanitários e de embalagem.
- Celulose *kraft* não branqueada: as características são a coloração escura, opaca e com muita resistência. Geralmente produzida a partir de fibra longa e destinada para a produção de papéis de embalagem e revestimentos.
- Pasta mecânica: de alto rendimento, custo de produção reduzido e qualidade menor. As características envolvem a baixa resistência física, boa capacidade de impressão e alta opacidade. Esse produto é utilizado em papéis para

¹⁶ O processo kraft de produção representa cerca de 80% de todos os processos empregados no mundo (PIOTO, 2013).

imprensa, papel-cartão, papelão e papéis absorventes. Existem, também, outras pastas semiquímicas e pastas semimecânicas, porém essas possuem menor uso na indústria (como papelão corrugado e papel jornal, por exemplo).

Em relação às estratégias e desafios voltados para o segmento de celulose, é importante ressaltar que os investimentos são direcionados para P&D, bem como construção de novas fábricas, aquisição de máquinas e equipamentos de alta intensidade tecnológica e planejamento para longo prazo (IBÁ, 2020). Esse planejamento envolve outros agentes para a integração total da cadeia produtiva, entre eles é possível destacar os fornecedores de insumos e de máquinas e equipamentos. Cabe ressaltar que, conforme observado nos documentos analisados, as principais máquinas e equipamentos são fornecidos por *players* globais, principalmente firmas alemãs, finlandesas e suecas. Nota-se, ainda, que existem fatores relacionados com questões regulatórias, diante da necessidade de adequação de tecnologias para a prevenção e redução de emissões de poluentes, consumo de energia e preservação de áreas de mata nativa. Assim, busca-se por meio da pesquisa analisar os diferentes fatores que impactam o setor e, que somados às perspectivas do cenário pós-pandemia, podem fornecer elementos para novas ações em termos de estratégias industriais para a indústria nacional. A próxima seção tem o objetivo de detalhar aspectos da indústria nacional de celulose e papel, além de destacar o impacto desse setor na economia nacional.

4.3 ASPECTOS GERAIS DO ATUAL CENÁRIO DA INDÚSTRIA NACIONAL

O Brasil, possui a segunda maior área de florestas do mundo, atrás apenas da Rússia (1,3 bilhão de hectares). A área estimada no Brasil é de 463 milhões de hectares de florestas nativas e aproximadamente 10 milhões de hectares de florestas plantadas. Esses números correspondem a mais da metade do território nacional. O Produto Interno Bruto (PIB) setorial no ano de 2018 apresentou uma receita total de R\$ 86,6 bilhões, com impacto de 1,3% do PIB brasileiro e 6,9% do PIB industrial. É importante destacar que a representatividade total do setor de base florestal em 2018, foi superior em relação a outros setores, enquanto a agropecuária evoluiu 0,1%, o setor de serviços, 1,3% e a indústria em geral, 0,6% (IBÁ, 2019).

Nesse cenário, a indústria de celulose e papel representa a maior cadeia produtiva florestal no Brasil e ocupa cerca de 50% da área de florestas comerciais plantadas. Esses dois segmentos, em certa medida, se completam quase que de forma indissociada e são tratados por alguns autores como um único setor. De modo geral, o setor é caracterizado pela necessidade de grandes extensões de áreas disponíveis para a formação da base florestal (HORA, 2017). Nesse contexto, o setor de celulose e papel representa 97% das exportações do setor total de florestas cultivadas.

No setor de celulose e papel, especificamente, as atividades são referenciadas por meio das classes que compõem a divisão 17 do Código Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), conforme o Quadro 9. As atividades contempladas são voltadas para a fabricação de celulose, produção de pastas para fabricação de papel, papel, embalagens e artefatos de papel.

QUADRO 9 – DELIMITAÇÃO DO SETOR DE CELULOSE E PAPEL

Atividade	Seção	Divisão	Grupo	Descrição
Transformação	C	17	17.1	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel
			17.2	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel
			17.3	Fabricação de embalagens de papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado
			17.4	Fabricação de produtos diversos de papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado

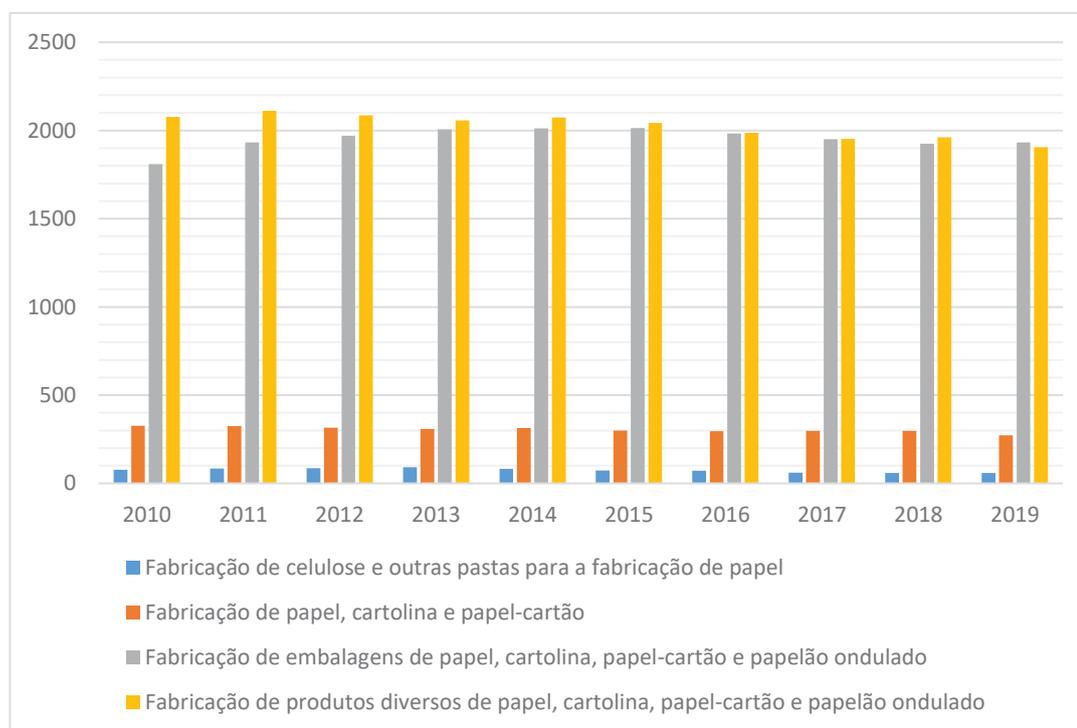
Fonte: Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE 2.0 (IBGE, 2021).

O total de firmas vinculadas ao setor no ano de 2019 foi de 4.170. Em relação à distribuição geográfica, observou-se que no segmento de celulose, 14 estados brasileiros possuem firmas deste segmento, sendo que 84% dos estabelecimentos estão localizados em sete estados, com destaque para Paraná (30%), São Paulo (22%) e Santa Catarina (11%). Por outro lado, no segmento de papel, a distribuição das firmas é menos concentrada, com plantas localizadas em 80% dos estados brasileiros. Entretanto, o estado de São Paulo apresenta 27% das firmas do referido setor. Cabe ressaltar que, devido às características produtivas, as indústrias de celulose e papel tendem a ocupar regiões próximas de sua base florestal e em locais

onde a estrutura logística favoreça o escoamento da produção, o que explica a localização da maioria das firmas (FIEP, 2016).

A série histórica entre 2010 e 2019 no Brasil apresenta estabilidade em relação ao número de firmas vinculadas ao setor nos diferentes segmentos (GRÁFICO 16). Nesse sentido, observa-se que o setor é perene e avança nos últimos 50 anos. Em relação ao porte das 4.170 empresas do setor no ano de 2019, 3.002 (72%) são microempresas e 834 (19%) representam firmas de pequeno porte. As firmas de médio porte somam 292 (7%) e 42 (1%) são grandes corporações. O maior percentual de microempresários pode ser justificado em decorrência do segmento de papel possuir processos na linha de produção que permitem infraestrutura reduzida e baixos investimentos. Em relação ao segmento de celulose, como as firmas são intensivas em capital, exigem maiores investimentos em grandes plantas industriais (IBÁ, 2020).

GRÁFICO 16 – TOTAL DE ESTABELECIMENTOS NO SETOR DE CELULOSE E PAPEL ENTRE 2010 E 2019

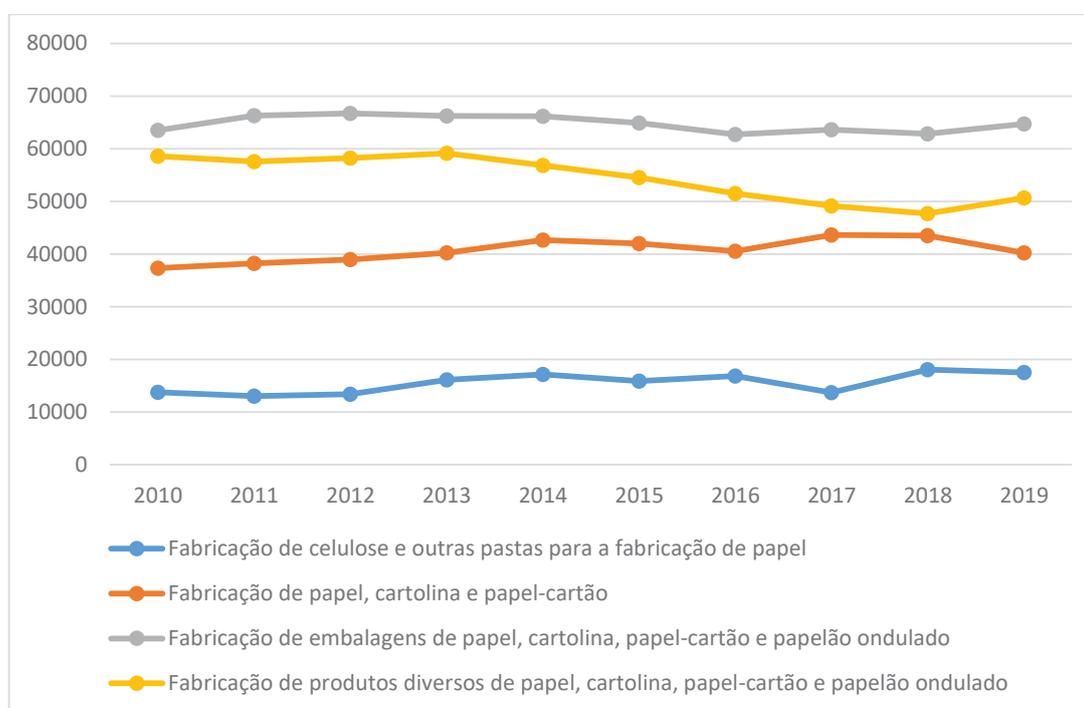


Fonte: MTPS/RAIS (2021).

Outro fator que deve ser considerado diz respeito aos empregos do setor, que em 2019 representaram 173.157 empregos diretos. Observa-se que na série histórica, existe a estabilidade em relação à manutenção dos empregos diretos, o que pode ser

relacionado com o número de firmas do setor, descrita no Gráfico 17. Nesse cenário, estima-se que são gerados mais de 500 mil postos de trabalhos entre empregos diretos e indiretos. Como resultado do efeito renda¹⁷ da atividade de base florestal, cerca de 1,5 milhão de pessoas são impactadas direta e indiretamente. Esse total apresentou um aumento de 1,1% em relação a 2018. Assumindo-se o número de empregos gerados diretamente e o salário médio líquido dos trabalhadores, a renda gerada pelo setor em 2018 foi em torno de R\$ 5 bilhões (IBÁ, 2020).

GRÁFICO 17 – TOTAL DE EMPREGOS NO SETOR DE CELULOSE E PAPEL ENTRE 2010 E 2019



Fonte: MTPS/RAIS (2021).

O aumento dos investimentos no setor, principalmente em relação à construção de novas fábricas, pode também caracterizar boas perspectivas e tendências favoráveis de mercado. As firmas nacionais são importantes *players* em nível global e, atualmente, ampliam seus investimentos com a construção de novas fábricas. Nesse sentido, destacam-se o projeto Puma - Klabin, na cidade de Ortigueira/PR, com investimentos de R\$ 9,1 bilhões, sendo este dividido em duas

¹⁷ De acordo com os indicadores de multiplicação do modelo de geração de empregos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

etapas: a primeira denominada Puma I voltada para a produção de celulose do tipo *fluff*¹⁸ e a segunda etapa direcionada para a produção de papel-cartão (KLABIN, 2021); a nova fábrica *Euca Energy Celulose*, em Alto Araguaia/MT com recursos estimados em R\$ 9,5 bi para a nova planta; o projeto do Grupo Bracell, que faz parte da RGE (*Royal Golden Eagle*), sediada em Cingapura, que confirmou investimentos de R\$ 7 bilhões para expandir a produção de celulose solúvel em Lençóis Paulista e Macatuba/SP e a nova fábrica da canadense *Paper Excellence* em Três Lagoas/MS. Deve-se ressaltar também que alguns destes recursos são originados do BNDES, demonstrando a forte atuação do Estado no respectivo setor (IBÁ, 2019; BNDES, 2021).

Diante dos altos investimentos e da expectativa de valorização da celulose no mercado internacional, bem como o aumento na demanda dos produtos dessa indústria, o cenário global se apresenta positivo. As tecnologias para as novas plantas industriais representam equipamentos de alta intensidade tecnológica, que são fornecidas por grandes fornecedores globais. Por outro lado, a maior parte das fábricas nacionais possuem equipamentos obsoletos que exigem novas adequações para atender a demanda de produção mundial (IBÁ, 2020).

Quanto ao crescimento do mercado interno, a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) apresenta um aumento nas exportações de 10,7% no último ano, em relação a 2018, com 15,8 milhões de toneladas fabricadas. A projeção para os próximos 3 anos é que o setor de base florestal receba por meio de investimentos públicos valores próximos a R\$ 32,6 bi (IBÁ, 2020). Esse montante será direcionado da seguinte forma: R\$ 29,6 bilhões para o setor de celulose, R\$ 2,1 para o setor de papel e R\$ 900 milhões para o setor de painéis de madeira. A descrição mais detalhada dos investimentos na indústria nacional será apresentada na próxima subseção.

4.3.1 O impacto da indústria de celulose e papel na economia nacional

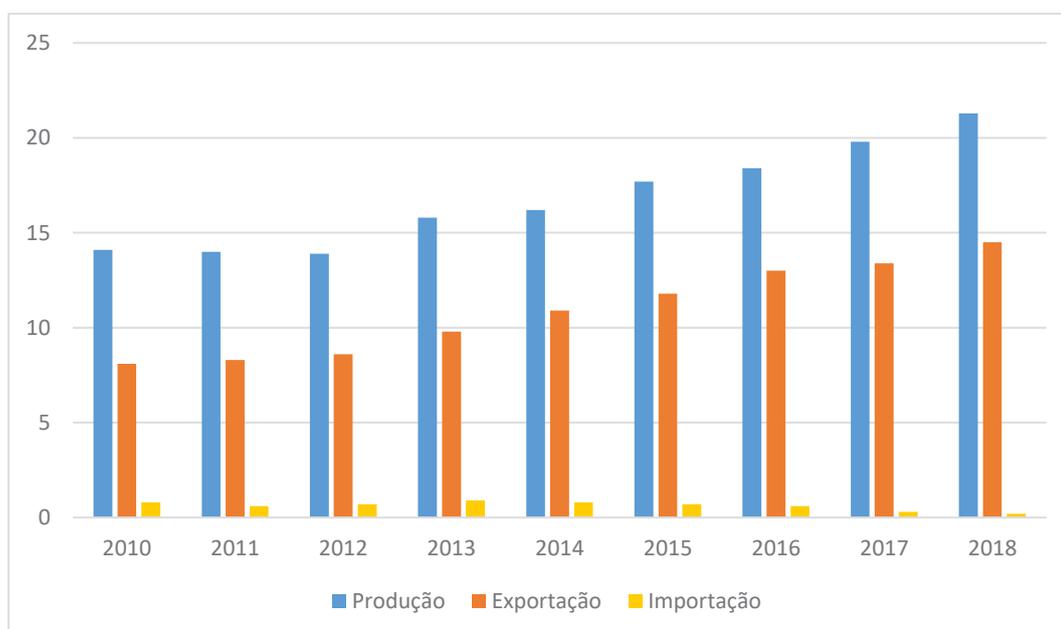
Diante dos aspectos observados na seção anterior, busca-se neste momento, uma análise mais detalhada sobre investimentos e impactos desse setor na indústria

¹⁸ A celulose do tipo *fluff* é utilizada (dentro da categoria *tissue*), principalmente, nos segmentos de absorventes e fraldas descartáveis, em decorrência da alta capacidade de absorção que oferece (HORA, 2014).

nacional. Nesse sentido, é possível afirmar que o setor apresenta diferentes características e estratégias entre os segmentos de celulose e papel. No segmento de celulose, a agenda de investimentos se concentra na construção de biorrefinarias integradas aos projetos de produção e estratégias de médio e longo prazo (BNDES; HORA, 2017). O Gráfico 18 apresenta a evolução da balança comercial do setor entre 2010 e 2018. Nesse cenário, a produção brasileira é direcionada para exportação e as fábricas brasileiras são projetadas para esse fim. Com isso, o Brasil se destaca como o maior exportador de celulose no mundo, tendo como principais consumidores a Europa e China. É importante ressaltar que 70% da produção nacional tem como finalidade a exportação e 30% da produção para o consumo interno (IBÁ, 2019).

No Brasil, as exportações impulsionam o segmento de celulose com vendas de US\$ 14,5 bilhões, que representaram o aumento 24,1% em relação a 2017. Em decorrência de volumes relativamente baixos de importação, a participação desse segmento no saldo da balança comercial foi em torno de US\$ 13,4 bilhões.

GRÁFICO 18 – EVOLUÇÃO DA BALANÇA COMERCIAL DO SETOR DE CELULOSE ENTRE 2010 E 2018 (em milhões de toneladas)

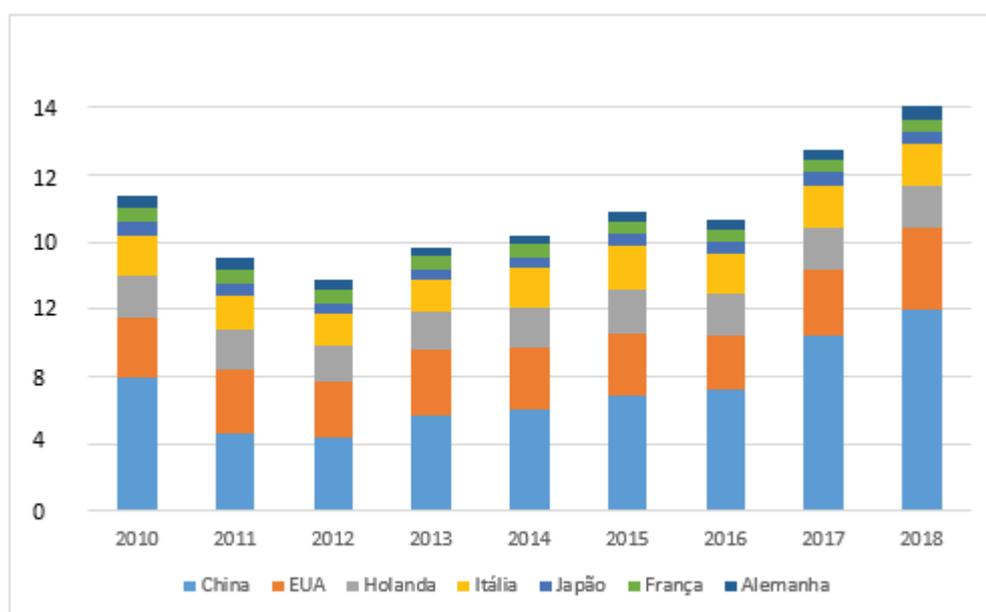


Fonte: MDIC/COMEX (2019), IBÁ (2019).

Quanto aos destinos do produto, a China é o principal parceiro comercial. Fatores como políticas ambientais chinesas e o clima em algumas regiões, obrigaram

o país a importar celulose de outros países e isso resulta no fortalecimento desse segmento no Brasil. Segundo os dados do Comex Vis (MDIC, 2019), a China foi o principal comprador da celulose nacional nos últimos 9 anos, seguido pelos Estados Unidos e outros países da Europa. Cabe ressaltar que os 7 principais países são responsáveis pela compra de aproximadamente 50% da produção nacional. O Gráfico 19 apresenta os países que mais recebem a celulose produzida no Brasil.

GRÁFICO 19 – PRINCIPAIS DESTINOS DA CELULOSE BRASILEIRA – MÉDIA DOS ÚLTIMOS 10 ANOS (em milhões toneladas)



Fonte: MDIC/COMEX (2019).

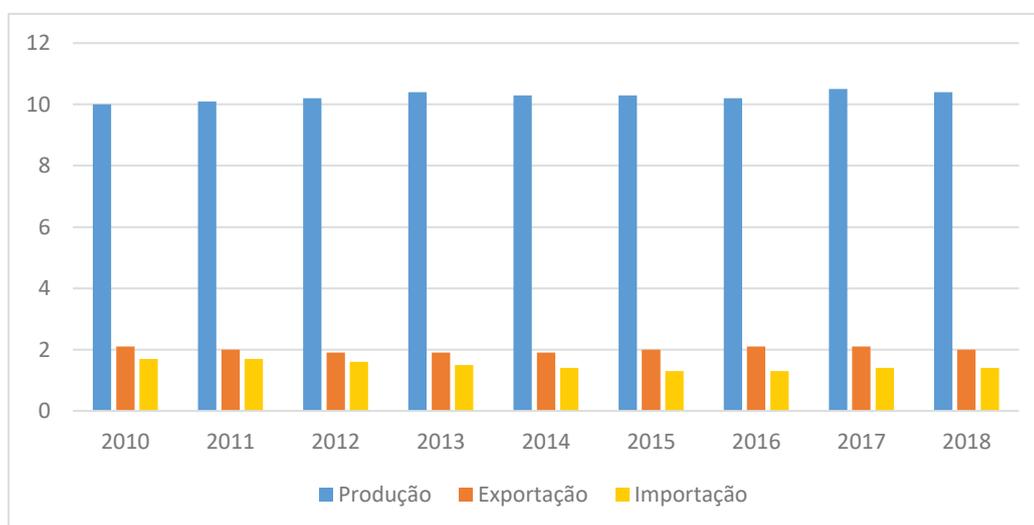
Os fatores que contribuem para a representatividade da indústria brasileira no mercado global estão relacionados às condições naturais favoráveis e os avanços em pesquisas em silvicultura e biotecnologia para melhorias genéticas de árvores não nativas. Além disso, existem incentivos governamentais, por meio de políticas públicas, que proporcionaram investimentos na indústria nacional ao longo da trajetória do setor (TOIVANEN e LIMA-TOIVANEN, 2011).

Por outro lado, no que se refere à produção de papéis, o país ocupa uma posição menos relevante no cenário global, com 2,5% da produção mundial, segundo dados do BNDES (HORA, 2017). De forma geral, o que pode ser caracterizado como pontos estratégicos a serem aperfeiçoados no ciclo de produção do papel está

relacionado com: estrutura produtiva fragmentada, máquinas e equipamentos desatualizados, altos custos de energia, produtos químicos importados e baixo consumo per capita de papéis no Brasil e América Latina (principal mercado externo).

É importante ressaltar que, diferente da indústria de celulose, o planejamento estratégico da indústria de papel é focado no curto e médio prazo. No que se refere à demanda, observa-se que as maiores firmas globais estão localizadas nos maiores mercados consumidores, como EUA, Europa e China. No Brasil, a Klabin S/A há muitos anos se consolidou como a maior produtora e líder de venda em diferentes segmentos de papéis no Brasil. No entanto, não está entre as vinte maiores no mundo em relação a produção de papel (HORA, 2017). Ao contrário do que ocorre no segmento de celulose, a produção nacional de papel é direcionada ao consumo interno, absorvendo 81% da produção (IBÁ, 2019). O Gráfico 20 detalha dados da balança comercial do segmento de papel entre 2010 e 2018, onde é possível notar a estabilidade tanto na produção, quanto na exportação nos últimos anos.

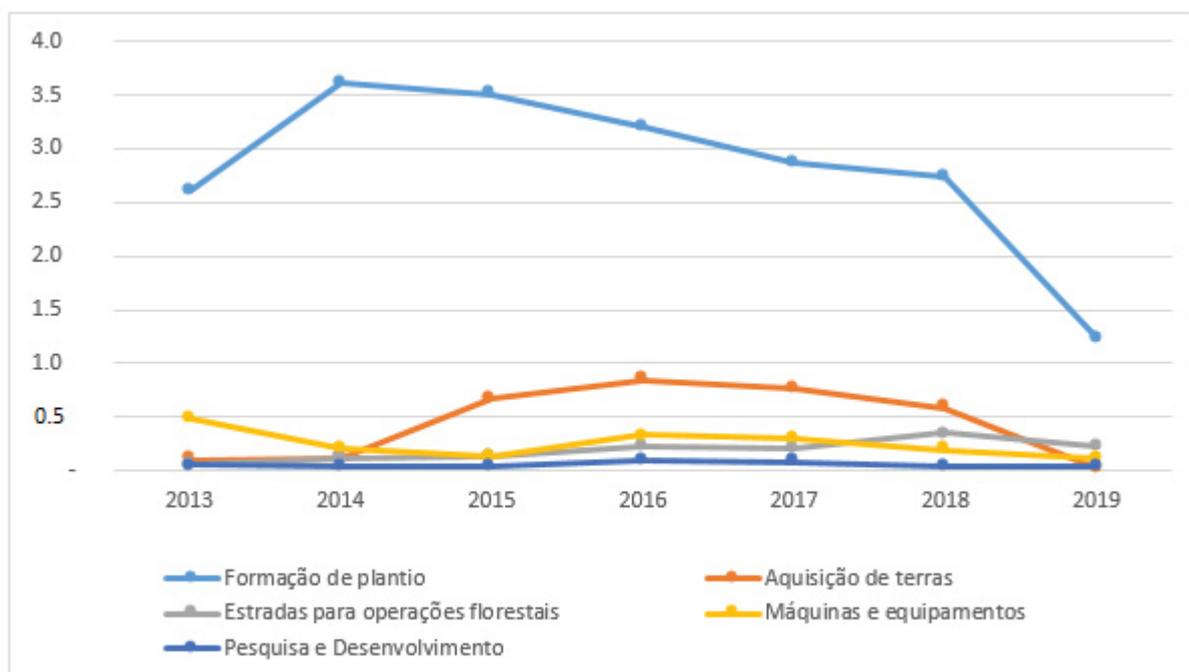
GRÁFICO 20 - BALANÇA COMERCIAL DO SETOR DE PAPEL ENTRE 2010 E 2018 (em milhões de toneladas)



Fonte: MDIC/COMEX (2019).

Quanto aos investimentos do setor de celulose e papel, os dados mais recentes de 2019 apontam para investimentos em torno de R\$ 3,4 bilhões (IBÁ, 2020). Os direcionamentos destes recursos foram de R\$ 1,3 bilhão para a base florestal e R\$ 2,1 bilhões para unidades industriais. Os Gráficos 21 e 22 apresentam os investimentos do setor entre 2013 e 2019.

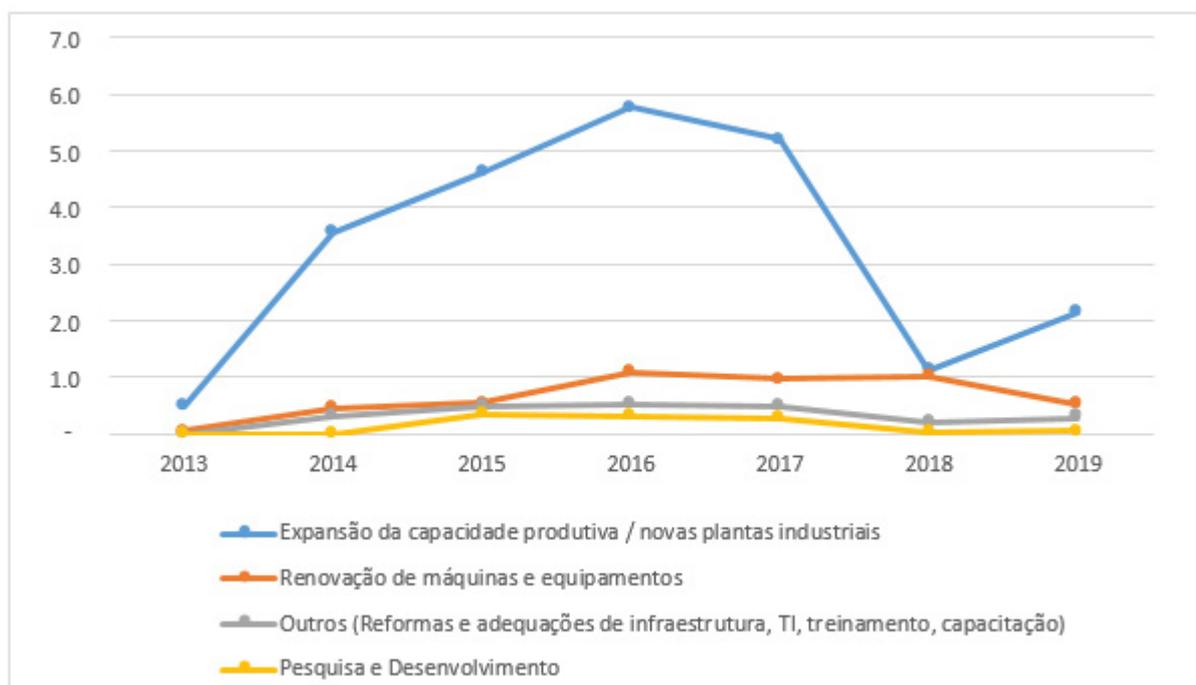
GRÁFICO 21 – DIRECIONAMENTO DOS INVESTIMENTOS EM FLORESTAS ENTRE 2013 E 2019 (em bilhões de R\$)



Fonte: Relatórios IBÀ entre 2013 e 2020.

Nota-se no Gráfico 22 que os investimentos foram direcionados, principalmente, para a construção de novas plantas industriais. Entre os anos de 2015 e 2017, houve considerável aumento na construção de novas plantas, como exemplo é possível citar o projeto Puma-Klabin. Isso pode ser atribuído às políticas industriais definidas em anos anteriores. É possível destacar, também, que os recursos direcionados para serviços em TI, manutenção preventiva e serviços de TI, foram classificados na categoria – “Outros”, em conjunto com infraestrutura e capacitação. Na base florestal os recursos foram intensificados para formação de plantio.

GRÁFICO 22 – DIRECIONAMENTO DOS INVESTIMENTOS EM UNIDADES INDUSTRIAIS ENTRE 2013 E 2019 (em bilhões de R\$)



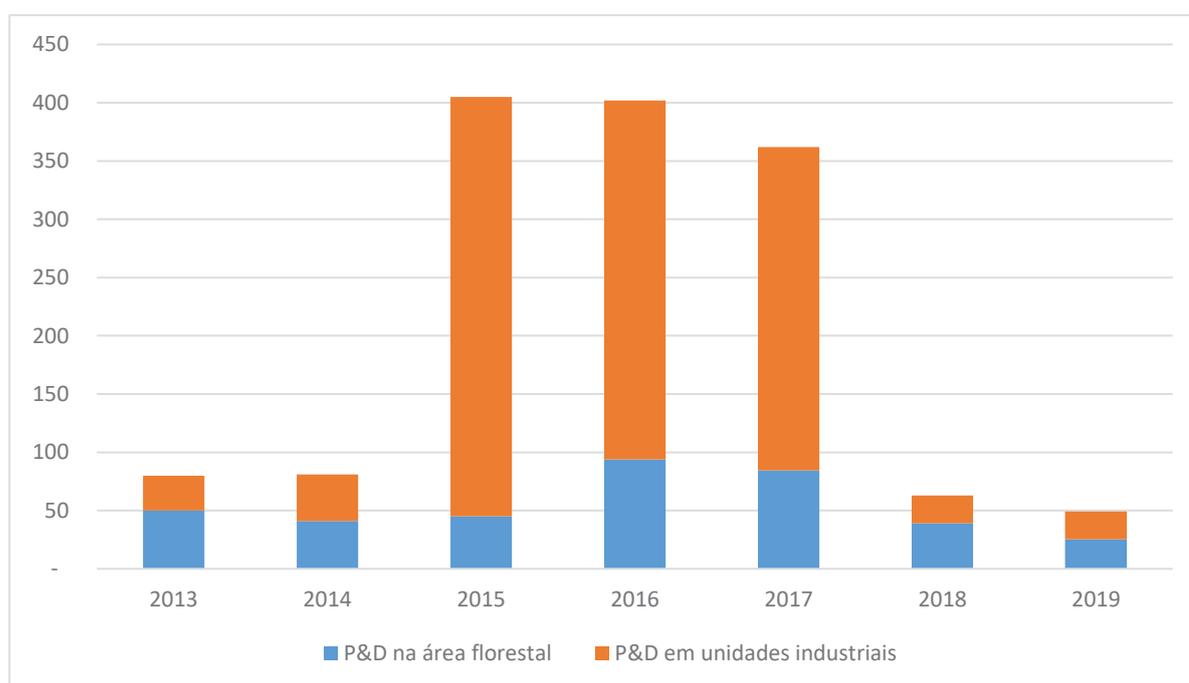
Fonte: Relatórios IBÁ entre 2013 e 2020.

De forma mais específica, em relação aos investimentos em P&D no ano de 2019, somente 2,3% dos investimentos foram destinados para a inovação, o equivalente a quase R\$ 50 milhões distribuídos para as áreas florestal e industrial. Deste montante, aproximadamente 1,5% dos recursos foram direcionados para a área florestal, o equivalente a R\$ 25,5 milhões, e 0,8% (R\$ 23,8 milhões) no âmbito industrial. Para as indústrias, a maior parte foi investida em novas tecnologias (IBÁ, 2020). No segmento de florestas, os recursos foram destinados para projetos de melhoramento genético, técnicas de manejo de campo e de viveiro, automatizações e aprimoramentos em cada processo da produção, treinamentos e workshops. Na indústria, os investimentos em tecnologias estão relacionados ao aprimoramento de produtos e/ou processos já existentes, aquisição de máquinas e equipamentos mais modernos e eficientes, desenvolvimento de novos produtos sustentáveis, redução no consumo de energia e redução do consumo de combustíveis fósseis.

Diante disso, um fator que deve ser considerado é que o desenvolvimento de muitas soluções para a indústria está relacionado com parcerias entre centros de pesquisa, universidades e *players* globais, o que pode justificar o montante limitado

de recursos direcionados para a área industrial. Da mesma forma, observa-se que na área de florestal também ocorre transferência de conhecimento com empresas química, silvicultura e biotecnologia. Isso fortalece os conceitos apresentados no primeiro capítulo sobre a conformação de redes para o desenvolvimento de pesquisa e novas tecnologias. O Gráfico 23, apresenta mais detalhes sobre os investimentos em P&D entre 2013 e 2019 no setor, segundo dados do IBÁ (2020).

GRÁFICO 23 – INVESTIMENTOS EM P&D ENTRE 2013 E 2019 (em milhões de R\$)



Fonte: Relatórios IBÁ entre 2013 e 2020.

Neste cenário, observa-se que os anos entre 2015 e 2017 concentraram maiores investimentos em P&D, especificamente na área industrial. Isso pode ser relacionado com os projetos de construção e ampliação de plantas físicas, onde houve mais investimentos. No entanto, cabe destacar que houve investimentos em pesquisa e melhoria genética, bem como melhorias em métodos de silviculturas na área florestal (IBÁ, 2020).

Por fim, é possível afirmar que, diante da importância do setor de celulose e papel para a economia nacional e dos altos investimentos destinados para o setor nos próximos anos, existem possibilidades para o desenvolvimento e aprimoramento de

tecnologias tanto para o segmento de celulose, quanto para a indústria de papel. Nesse sentido, é necessário analisar a competitividade e competência técnica da indústria tecnológica nacional para atender tais demandas. Busca-se, ainda, identificar elementos dentro da realidade nacional para promover o desenvolvimento de base tecnológica por meio de ações estratégicas e políticas públicas. O próximo capítulo apresenta as possibilidades de novas tecnologias da Indústria 4.0 e as possibilidades dentro do setor de celulose e papel.

5 AS TECNOLOGIAS EMERGENTES E AS POSSIBILIDADES DE PRODUÇÃO TECNOLÓGICA PARA ATENDER A DEMANDA SETORIAL DA INDÚSTRIA NACIONAL

Este capítulo destina-se a apresentar de forma mais detalhada as potencialidades das novas tecnologias disruptivas. Para tanto, assume-se que os impactos econômicos em nível global podem ser orientados pela agilidade na integração das redes de comunicação e impulsionados por máquinas com inteligência artificial e pela digitalização de processos nas cadeias de valores globais (BRYNJOLFSSON; MCAFFEE, 2014; SCHWAB, 2016; SÁTYRO, *et al.*, 2018). Essas são características das novas TICS voltadas para a Indústria 4.0. Diante disso, o referencial teórico da primeira seção volta-se para os aspectos gerais sobre conceitos e definição do referido termo, bem como um panorama inicial sobre as novas TICS. Na sequência será apresentada a trajetória de desenvolvimento tecnológico, descrevendo as revoluções industriais ao longo da história e as atuais tecnologias da Indústria 4.0. Por fim, serão apresentadas algumas estratégias em relação às novas tecnologias incorporadas na indústria de celulose e papel, com exemplos de tecnologias adotadas pelas principais indústrias. Busca-se, assim, identificar possibilidades de implantação de novas tecnologias, que representam o objeto da pesquisa.

5.1 CONCEITOS E ORIGEM DA INDÚSTRIA 4.0

No contexto que envolve Indústria 4.0, os primeiros relatos ocorreram na Feira de Hanôver, na Alemanha em abril de 2011 e se concentraram em detalhar como as novas tecnologias disruptivas poderiam redirecionar a organização das cadeias de valores globais. Segundo Schwab (2016), ao possibilitar a criação de cenários “inteligentes”, as novas tecnologias integram os processos verticais e horizontais dentro do escopo corporativo, que cooperam entre si de forma flexível e em nível global. Para Sátyro *et al.* (2018, p. 47), as novas TICS “propiciam a conexão do mundo real com o mundo digital, por meio de automações, troca de grandes quantidades de informações e utilização de sistemas ciberfísicos (CPS, em inglês *cyber-physical systems*)”. Ainda, em relação aos avanços das tecnologias, Brynjolfsson e McAfee (2014) descrevem questões relacionadas ao desenvolvimento econômico em nível

mundial, que são impulsionadas por máquinas com inteligência artificial, por dispositivos para comunicação em rede e pela digitalização de processos.

É importante ressaltar que os debates iniciados em 2011 ganharam espaço em decorrência da necessidade de uma nova análise das TICS em relação à sua função no processo produtivo. Nesse sentido, os investimentos que foram direcionados na década de 70 por meio de ações em diferentes países industrializados e incorporados por indústrias de alta intensidade tecnológica, resultaram em uma nova estrutura produtiva integrada e com base no conhecimento. Observa-se, neste cenário, que as mudanças nas cadeias produtivas demandaram ações institucionais e regulatórias para a configuração de políticas públicas em nível global.

A partir do enfoque originado em 2011 e descrito como a “quarta revolução industrial” (SÁTYRO, *et al.* 2018, SCHWAB, 2016), é que Diegues e Roselino (2019, p. 6) descrevem uma “política nacional deliberada que visa, a partir de uma ênfase no emprego de tecnologias de informação e comunicação, promover um salto tecnológico no setor industrial da Alemanha”. Nesse contexto, os autores apresentam uma discussão semântica que trata, em sua gênese, da trajetória de desenvolvimento tecnológico até chegar à Indústria 4.0. A abordagem defendida pelos autores é a de que os avanços tecnológicos observados como os avanços disruptivos das tecnologias, retratam o desdobramento da terceira revolução industrial, apresentando assim, uma evolução dos produtos e processos originados na década de 70. Os autores ressaltam ainda, que a base de desenvolvimento tecnológico é estruturada na microeletrônica e nos serviços de informática e internet e por isso não representa um fenômeno revolucionário no processo de produção industrial. Assim, admite-se nesta pesquisa que as novas TICS representam um fenômeno evolutivo de tecnologias precedentes e não uma revolução tecnológica defendida por alguns autores¹⁹.

Além disso, para a compreensão da amplitude das novas tecnologias, existe a necessidade de analisar a estrutura da indústria tecnológica nacional, com base em redes de cooperação, dinâmicas competitivas e concorrenciais, bem como possibilidades de novos mercados e capacitação técnica. Isso engloba, também, a remodelagem de escopos de negócios em firmas nacionais, diferentes plataformas e

¹⁹ É importante ressaltar para fins de concepção do termo, que “Indústria 4.0” pode ser considerado uma expressão adotada na imprensa e na indústria como uma estratégia de marketing e não propriamente por autores acadêmicos.

serviços, bem como tecnologias heterogêneas. Assim, o desafio apresentado está em analisar e compreender as possíveis ações para a (re)estruturação da indústria tecnológica nacional, com base em redes de cooperação, dinâmicas competitivas e concorrenciais, bem como novas possibilidades de novos mercados e capacitação técnica. Nesse contexto, se faz necessário dimensionar um panorama estratégico para o desenvolvimento das novas TICS.

Outro fator a ser considerado diz respeito ao aspecto concorrencial, ou seja, é importante ressaltar que, para atender as atuais demandas tecnológicas relacionados à Indústria 4.0, não existe a consolidação de *players* que dominam o mercado em nível global. Ao contrário, em segmentos tecnológicos onde se verifica “baixo grau de generalidade, baixas externalidades de rede e efeitos de *lock-in*”, existe a necessidade da compreensão de especificidades setoriais como um importante fator da competitividade (DIEGUES e ROSELINO, 2019, p.10). O *leapfrogging* aqui está associado às possibilidades de pequenos fornecedores (*startups*), com base na produção de conhecimento associado a dispositivos de baixo custo (como sensores, por exemplo) participarem de uma nova corrida tecnológica. Diante disso, observa-se a existência de estruturas de mercado menos concentradas, o que possibilita a entrada de novos produtores.

Diante disso, uma importante estratégia competitiva pode ser direcionada para o desenvolvimento de novas tecnologias em setores onde o Brasil representa referência na produção global. Além disso, existem possibilidades de avançar na produção de equipamentos e serviços para atender a demanda das indústrias de alta intensidade tecnológica. Nota-se, diante das referências apresentadas, que a Indústria 4.0 representa uma nova corrida tecnológica que propicia a expansão de produtos em diferentes segmentos da produção industrial.

5.2 A TRAJETÓRIA DE DESENVOLVIMENTO DAS NOVAS TICS

A partir da compreensão de que as tecnologias representam diferencial competitivo para as firmas e países, busca-se analisar as novas TICS como fator essencial nas trajetórias de desenvolvimento econômico. Nesse sentido, diante das possibilidades de inovar com produtos, processos, serviços e mercados, é necessário apresentar o processo histórico de revoluções e evoluções das tecnologias. Diante

disso, observa-se que os avanços nos últimos anos ocorreram de forma muito mais intensa e significativa, quando comparados com desenvolvimento científico e tecnológico de décadas anteriores.

Um fator que deve ser considerado é a velocidade de aprimoramento na capacidade de processamentos de equipamentos e dispositivos. Nesse cenário de interconexão entre pessoas, plataformas e dispositivos, bem como a demanda por ambientes ágeis, ocorre devido à necessidade de processamento e armazenamento de grandes repositórios para produzir informações em tempo real. O aumento constante na velocidade desses dispositivos foi descrito por Moore (1965), quando previu, com base em observações na indústria tecnológica, que o número de transistores em um processador seria multiplicado por dois, em média, a cada dois anos com o mesmo custo. Isso resultaria no aumento substancial no processamento de dados. Ou seja, quando na década de 70, havia cerca de 1000 transistores embarcados em um único chip de silício, hoje um único chip pode ser desenvolvido com até 20 bilhões de transistores.

Nota-se, nesse contexto que a redução nos custos de dispositivos essenciais para o desenvolvimento de soluções IoT, somada a redução de custos para transmissão e latência e aumento de banda de transmissão, resultam em velocidades de conexões muito mais rápidas e eficientes com taxas de 1 Tb/s (terabit por segundo), contra 100 b/s (bits por segundo) de conexões obsoletas. Isso possibilita a criação e implementação de novas tecnologias, onde não há *players* dominantes. De forma geral, o crescimento exponencial da capacidade de processamento e transmissão de dispositivos eletrônicos, somados à miniaturização, ao custo reduzido e consumo de energia, aceleram as evoluções tecnológicas e contribuem para a disseminação de equipamentos e serviços ligados à Indústria 4.0 (CIUFOLLETTI, 2018; FOLKENS, 2016).

Nesse contexto, em relação às trajetórias de desenvolvimento científico e tecnológico, é possível afirmar que quase não houve produção de P&D até a segunda metade do século XVIII. Entre 1770 e 1870 houve um crescimento maior, mas ainda lento. Já entre 1870 e 1970 ocorreu uma importante aceleração em C&T e, como consequência disso, observa-se a importante evolução dos meios de produção e econômicos. Como forma de detalhar a trajetória de desenvolvimento de produção industrial, é necessário descrever quatro importantes momentos da trajetória de desenvolvimento tecnológico (SÁTYRO *et al.*, 2018; SCHWAB, 2016).

A primeira revolução ocorreu no fim do século XVIII, com a criação do regulador centrífugo de esferas, que possibilitou o controle da velocidade das máquinas a vapor, por meio de processos mecânicos (SÁTYRO *et al.*, 2018; SCHWAB, 2016). Isso resultou em grandes avanços e na expansão das linhas de produção da indústria moderna e no transporte ferroviário de cargas. Ao longo da evolução dos ciclos de produção industrial, atividades como a hidráulica e pneumática e, depois, a eletricidade, foram implantadas como fontes para a geração de energia nesses ciclos. Essas tecnologias buscavam a substituição do trabalho repetitivo, previsível e padronizável que passou a ser realizado por máquinas automatizadas. Isso caracterizou a segunda revolução industrial.

A terceira revolução ocorreu a partir da metade do século XX, quando os controladores mecânicos foram substituídos por eletroeletrônicos analógicos e digitais. Naquele momento, as sequências de processos industriais passaram a ser controlados por softwares, computadores e robôs (SÁTYRO, *et al.* 2018). Em síntese, a indústria 3.0 focava na automação individual de máquinas e processos. A Figura 4 apresenta as revoluções da indústria na história.

FIGURA 4 - REVOLUÇÕES DAS GERAÇÕES DA INDÚSTRIA



Fonte: Modificado de COELHO (2016).

As mudanças no cenário produtivo que ocorreram até a década de 70, tiveram como principal vetor o desenvolvimento do complexo eletrônico, o qual segundo Diegues e Roselino (2019) revolucionaram radicalmente o mundo da produção e do trabalho. O resultado dessa ruptura foi uma demanda maior de processos automatizados, que fez emergir para o núcleo da dinâmica inovativa, os serviços de

informática, conexões e softwares integrados aos dispositivos de hardware. Essas tecnologias evoluíram para soluções integradas por meio de conexões estabelecidas entre dispositivos *end-to-end*, que possibilitam a tomadas de decisões na cadeia produtiva. Nesse contexto, as novas tecnologias disruptivas configuram o novo cenário denominado Indústria 4.0.

É importante ressaltar que as possibilidades são presentes em diferentes segmentos, como apresentado no relatório *Price Waterhouse Coopers PwC Global Annual Review 2019* (PwC, 2019), que em síntese, também descrevem as novas possibilidades de desenvolvimento tecnológico no atual contexto produtivo, em convergência com o estudo anterior. Como exemplo é possível citar:

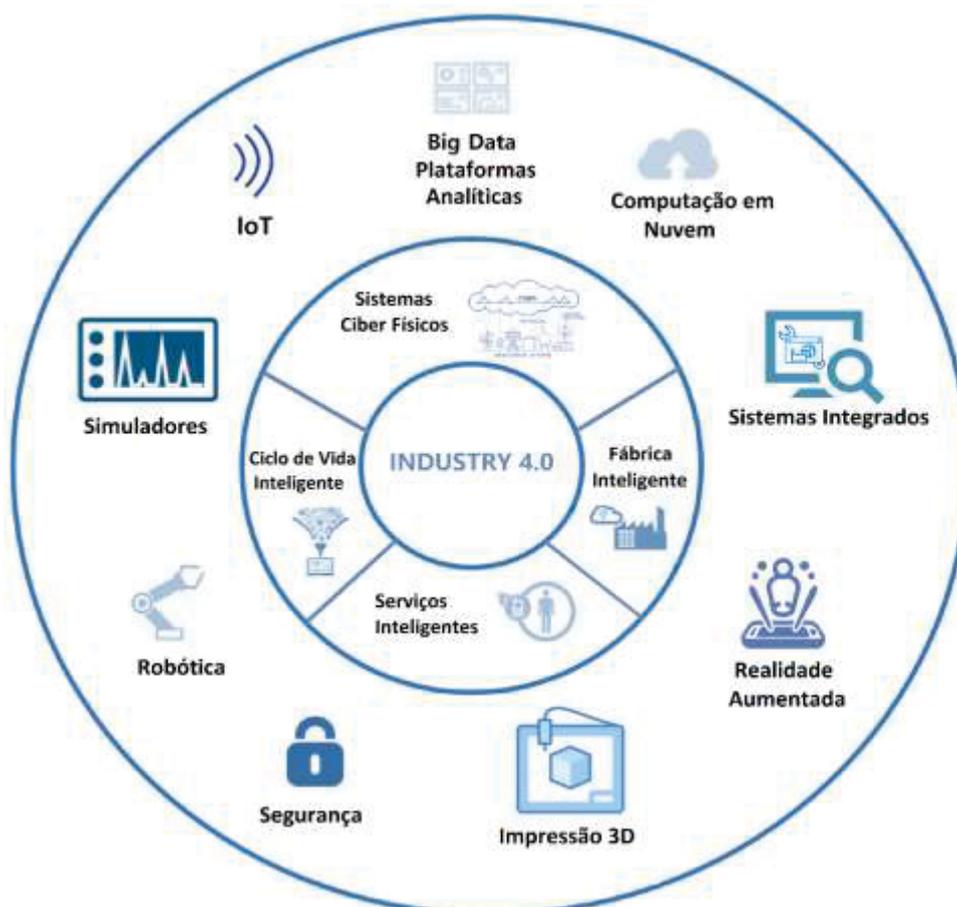
- Integração horizontal e vertical das cadeias de valor ou produtivas: isso ocorre com a conexão de processos internos na organização do ciclo de produção, a partir da aquisição de matérias primas (fornecedores) para a fabricação dos produtos, passando por processos de operações, gestão da qualidade, planejamento e serviços, até a expedição e logística;
- Ampliação do escopo de produtos e ofertas de serviços: esse elemento está relacionado à expansão na linha de produção industrial para possibilitar a otimização na oferta de produtos. Os exemplos são sensores ou dispositivos de comunicação que podem ser usados com ferramentas de análise de dados e na criação de novos processos, com foco em agilidade e integração na produção.
- Modelos de negócios digitais e acesso de clientes: com o desenvolvimento de novas tecnologias, ocorre também, a oferta de serviços orientados a dados, como o uso de grandes repositórios de dados e sistemas integrados. Diante disso, o que ocorre é que um novo modelo de sistema digital pode facilitar a conexão de clientes com as plataformas gerenciais e comerciais das firmas.

A partir destas possibilidades, abrem-se outras oportunidades para o desenvolvimento de novas tecnologias, muitas dessas com baixo custo de produção, principalmente em relação ao sensoriamento remoto. Alguns desses dispositivos permitem a cópia e compartilhamento com menos restrições que as atuais licenças consolidadas. Como exemplo, é possível citar microcontroladores para o controle de

máquinas e robôs autônomos, que são concebidos a partir de plataformas para prototipagem eletrônica de hardware livre. Estas plataformas seguem padrões de licença de software GNU *Lesser General Public License* - LGPL e *General Public License* GPL e *hardware em Creative Commons* (ARDUÍNO, 2019). As licenças destes dispositivos são aprovadas pela *Free Software Foundation* (FSF), que assegura os direitos do autor ou desenvolvedor, com menores restrições de uso e replicação para o desenvolvimento de sensores, protótipos e outros dispositivos eletrônicos.

Além disso, existem outros dispositivos para simulação e virtualização de ambientes empresariais e industriais, sensoriamento integrando produção, gestão e controle de ativos, tomada de decisão por meio de inteligência artificial, segurança digital, manufatura aditiva (3D) entre outros, que são descritos na Figura 5.

FIGURA 5 - TECNOLOGIAS NA INDÚSTRIA 4.0



Fonte: Pesquisa Global indústria 4.0: Relatório Brasil/PwC (2016).

O núcleo central dessas tecnologias demanda cada vez mais capacidades de processamento e conexão com o advento das indústrias e cidades “inteligentes”, sendo conhecidos como Sistemas Ciberfísicos (CPS). Os CPS consistem na integração de sistemas computacionais e dispositivos físicos, criando um sistema de computação onipresente (ubíqua) (SÁTYRO *et al.*, 2018; MAGRANI, 2018) com infraestrutura de interconexão que permite a troca de grande volume de informações entre diferentes plataformas. Assim, é possível detectar problemas no chão de fábrica, bem como, obter informações para o gerenciamento da cadeia produtiva (SCHWAB, 2016). Algumas tecnologias mais recentes, utilizadas para a conectividade dos CPS são os sensores sem fio (RSSF, rede de sensores sem fio), como o LoRa, CC1101, RFM69 (FSK), nRF24L01, para citar alguns exemplos. Outros recursos permitem o encapsulamento e compressão de dados através de protocolos como o 6LoWPAN (*IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks*).

As tecnologias embarcadas nestes dispositivos buscam cada vez mais aumento de velocidade, reduções no consumo de energia e nas taxas de transferência, bem como segurança entre as conexões físicas e virtuais. Outros fatores também podem ser considerados como pilares para a organização de ações voltadas à Indústria 4.0. Entre eles, é possível destacar os instrumentos de proteção de dados e regulação para a garantia de direitos dos usuários, bem como fatores éticos e sociais que serão impactados com a inserção das novas tecnologias (SÁTYRO *et al.*, 2018; PwC, 2019; SCHWAB, 2016). No entanto, não representam o foco de análise desta pesquisa e, assim, são indicados como importantes áreas para pesquisas futuras.

Neste contexto, Steimuller (2001, p. 193) afirma que “as aplicações de TIC muitas vezes parecem ser complementares aos esforços para melhorar a qualidade, rapidez e flexibilidade de produção, oferecendo uma vantagem compensadora contra as deficiências existentes nas capacidades de produção”. Segundo o autor, isso acontece devido ao fato de que muitos componentes e sistemas utilizados para estes *upgrades* estão disponíveis por meio de diferentes fornecedores no mercado e são facilmente transferíveis à outras plataformas ou desenvolvedores e, assim, são aprimorados. Diante das relações existentes entre as novas tecnologias da Indústria 4.0 e a intensidade do conhecimento aplicado nestas TICS, observa-se a abertura de possibilidades de desenvolvimento de soluções ligadas à criatividade. Essa abertura

pode representar o *leapfrogging* diante das possibilidades de desenvolvimento de inovação incremental, que podem ser produzidas por fornecedores nacionais.

A subseção seguinte apresenta um panorama da segurança dos sistemas e tecnologias ligadas à Indústria 4.0. A partir disso, busca-se identificar possibilidades no referido setor para a incorporação das novas tecnologias nos processos de produção.

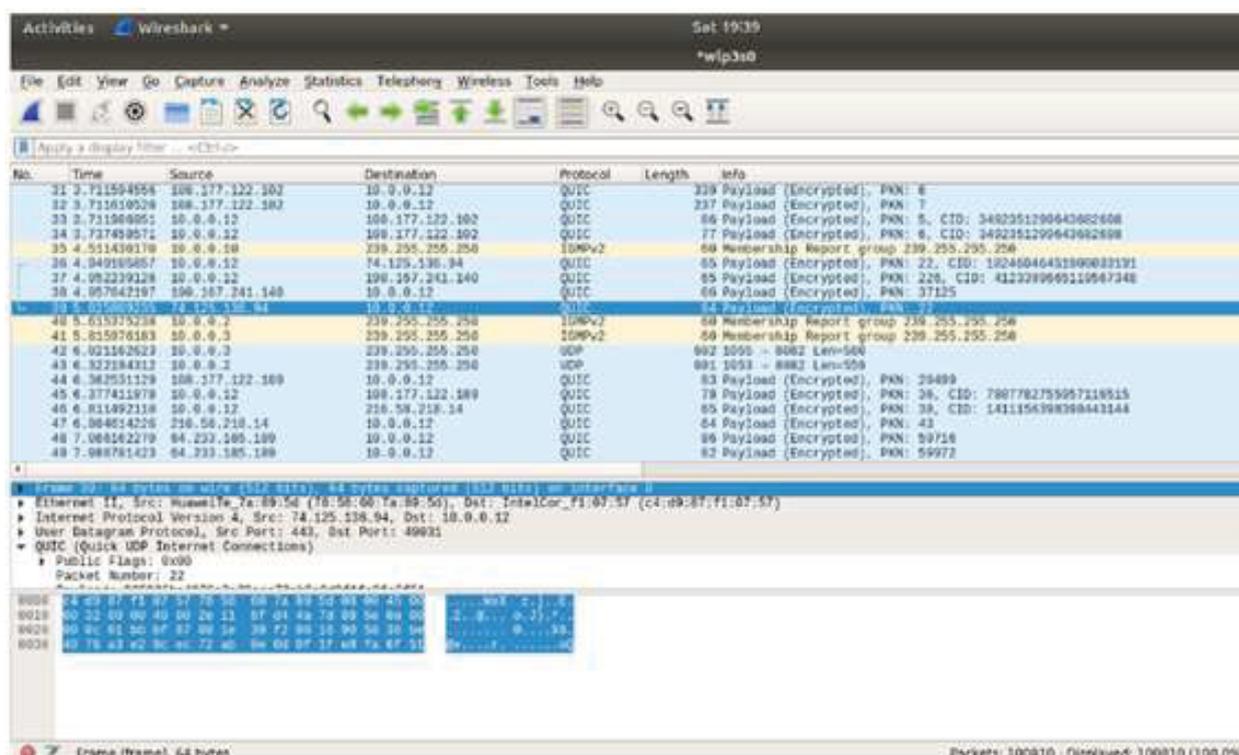
5.2.1 SEGURANÇA CIBERNÉTICA NA INDÚSTRIA 4.0

O aumento na integração entre plataformas e dispositivos físicos está diretamente relacionado com questões que envolvem segurança e privacidade no acesso aos dados. Nesse ambiente de interconectividade, cabe destacar a necessidade de aplicação de controles aos sistemas de forma apropriada, principalmente àqueles onde os dados são direcionados para uma base on-line - *Cloud Computing* (WEGNER *et al.*, 2017; DAWSON, 2018; BODKHE *et al.*, 2020). Como forma de orientar e organizar alguns procedimentos de segurança voltados à Indústria 4.0, alguns institutos e centros de pesquisa, como o *Institute of Electronic and Electrical Engineers* (IEEE) e International Organization for Standardization (ISO), além de legislações e regulações propostas por governos, apresentam instrumentos para fortalecer alguns padrões de segurança. No entanto, Dawson (2018) afirma que há falta de orientação para a segurança em dispositivos da Indústria 4.0.

Algumas questões que estão relacionadas à segurança cibernética envolvem procedimentos específicos de permissões, integridade e confidencialidade que podem ser incorporados em plataformas e equipamentos, principalmente para a IoT. No que se refere aos processos de produção, é possível afirmar que grande volume de dados são abstraídos de máquinas e equipamentos por meio de sensores no chão de fábrica e, posteriormente, são enviados para bases remotas e que por sua vez são utilizados para controle na tomada de decisões. Isso representa um dos muitos casos que demandam procedimentos de segurança. Nesse cenário, um exemplo que detalha a captura de dados em uma rede vulnerável é apresentado com o uso do software

Wireshark²⁰ (DAWSON, 2018). A Figura 6 apresenta como é possível acessar dados que trafegam em uma rede privada.

FIGURA 6 – CAPTURA DE TRÁFEGO DE REDE ETHERNET POR SOFTWARE WIRESHARK



Fonte: Dawson (2018).

No exemplo é apresentado a captura de diversos pacotes de dados em uma rede Ethernet privada no ambiente industrial. Com este software que pode ser instalado em um computador portátil ou mesmo um celular, é possível realizar testes de possíveis pontos de acesso à rede. Nota-se que, a partir dos pontos de comunicação apresentados, é possível identificar a origem, o destino e o protocolo de rede utilizados na transmissão dos dados. Assim, o conteúdo transmitido na rede se torna vulneráveis para ataques cibernéticos. As informações fornecidas pelo software detalham quais são os pontos vulneráveis para possíveis acessos não autorizados, o que também facilita a invasão nas bases de dados. Este exemplo representa um caso

²⁰ Wireshark é uma ferramenta análise de tráfego na rede. Este sistema captura o tráfego na rede local e disponibiliza para identificação e análise dos pacotes transmitidos. Os dados abstraídos podem ocorrer em redes do tipo Ethernet, Bluetooth, Wireless (IEEE.802.11), Token Ring, conexões Frame Relay, por exemplo (VARONIS, 2020).

entre outras situações providas por ferramentas de código fonte aberto, que permite o fácil acesso a dados e pontos de conexões em um rede privada. Algumas ferramentas podem ser utilizadas para conduzir ataques cibernéticos, como o Kali Linux, Metasploit, Pontoon (Translations Service) e LibreNMS²¹, entre outros.

A segurança dos sistemas e dispositivos relacionados à Indústria 4.0 pode ser orientada por meio de procedimentos que envolvem certificação, credenciamento de sistemas e normas e regras de privacidade. A implementação de rotinas permite a verificação de requisitos de segurança na transmissão dos dados (BODKHE *et al.*, 2020). Para Dawson (2018), existe a necessidade e, até mesmo, urgência na elaboração de normas e procedimentos em medidas de segurança por parte de gestores da indústria. Além disso, observa-se a necessidade de implementação de políticas, diretrizes e leis para que os sistemas sejam submetidos à regulação e critérios para a fabricação de dispositivos, sistemas e plataformas tecnológicas (DAWSON, 2018).

Em relação à certificação e credenciamento, existem algumas diretrizes em nível global que foram propostas por instituições, conforme citado anteriormente. Um exemplo é o *framework* para Gerenciamento de Risco (RMF - *Risk Management Framework*²²), que pode ser usado como base para a implementação de requisitos de segurança. O RMF utiliza a abordagem baseada no risco à seleção e especificação do controle de segurança considerando a eficácia, a eficiência e as restrições relacionadas às leis em vigência nos EUA²³. De forma geral, as diretrizes descritas no RMF se referem à i) Atividade de preparação e organização do gerenciamento de segurança e privacidade; ii) Categorização do sistema e das informações processadas, armazenadas e transmitidas com base em uma análise de impacto; iii) Seleção de controles para proteção e avaliação de risco; iv) Implementação e registros dos procedimentos; v) Avaliação de procedimentos e controles implementados; vi)

²¹ Cabe ressaltar que as ferramentas de inteligência de código aberto (em inglês Open Source Intelligence Techniques - OSINT) têm a finalidade de prover testes de vulnerabilidade e avaliações de segurança de rede.

²² O Risk Management Framework representa uma diretriz do Governo americano que para auxílio no desenvolvimento de medidas de proteção em TICS. Essas medidas são adotadas por órgãos e autarquias no âmbito do *National Institute of Standards and Technology* (NIST, 2020).

²³ De modo geral, as leis de segurança e privacidade de dados nos EUA são específicas e diferentes à regulação europeia e brasileira, para citar alguns exemplos. Os instrumentos norte-americanos orientam ações específicas a estados ou setores. Como exemplo, é possível citar a Lei Federal *Driver's Privacy Protection Act* (DPPA) e as Leis estaduais *California Consumer Privacy Act* (CCPA) e a *New York Stop Hacks and Improve Electronic Data Security Act* (NY SHIELD) (GAFETY, 2021).

Autorização de operação do sistema; vii) Monitoramento contínuo de riscos e procedimentos (NIST, 2020). Os controles e procedimentos são detalhados por meio de normas técnicas, como o SP 800-53 (NIST, 2020). Outro importante instrumento de regulação, que orienta ações de proteção a dados na Europa, é o *General Data Protection Regulation* (GDPR, 2018), que foi implementado em 2018 por meio da Regulation EU 2016/679 (GRPEU, 2018)).

No que diz respeito aos instrumentos normativos nacionais, é possível destacar a Lei Geral de Proteção de Dados – LGPD (BRASIL, 2018). De modo geral, a LGPD é voltada para o tratamento de dados pessoais confidenciais, no âmbito individual. No contexto que envolve privacidade de dados individuais, observa-se outro mecanismo com princípios semelhantes ao LGPD, que se refere a ISO/IEC 29100 - Tecnologia da informação - Técnicas de segurança – Framework de privacidade (ISO, 2011) (CANEDO *et al.*, 2020).

Por fim, é possível atestar a necessidade de implementar protocolos de segurança que atendam tanto o desenvolvimento de softwares e processos, quanto de dispositivos eletrônicos. Assim, será possível alcançar níveis elevados de segurança que garantam a transmissão e armazenamento de dados. No entanto, essas ações não dependem somente de conhecimento técnico, mas também de políticas regulatórias, treinamento e capacitação de *stakeholders* e investimentos no desenvolvimento de tecnologias em níveis de camadas de rede. Isso abre um campo de estudos com foco no direcionamento de ações para o desenvolvimento de soluções software determinados pela LGPD, GDPR ou outras políticas regulatórias. A próxima seção abordará a relação entre as novas TICS e a indústria nacional de celulose e papel.

5.3 O AVANÇO DAS NOVAS TICS NO SETOR DE CELULOSE E PAPEL

Os avanços da indústria nacional de celulose e papel nas últimas décadas levaram essa indústria a uma posição de liderança internacional, conforme detalhado anteriormente. Segundo Figueiredo *et al.* (2016), essa posição de destaque foi alcançada devido ao desenvolvimento de trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas no nível das firmas e redes de parceria tecnológica. Nesse sentido, a indústria de celulose e papel evoluiu e acompanhou as fases anteriores de

desenvolvimento tecnológico desde o século XVIII, até os processos automatizados no chão de fábrica e as redes de comunicação para a tomada de decisão. No entanto, o atual cenário apresenta a necessidade de avanços e adequações em busca de novas tecnologias. Isso ocorre, entre outros motivos, devido à demanda de integração nas etapas de produção e pressões relacionadas à concorrência global.

Em relação às tecnologias incorporadas na indústria de celulose e papel, Pinheiro, *et al.* (2015) afirmam que os *players* nacionais apresentam estratégias e investimentos para avanços em P&D e acumulação de capacidades tecnológicas. No entanto, observa-se importantes fatores de divergências nas trajetórias entre as diferentes firmas pesquisadas. Os autores afirmam que firmas maiores e pertencentes a um padrão mais elevado de capacidades tecnológicas apresentaram mais do que o dobro da incidência de parcerias com universidades e institutos de pesquisa, fornecedores e consultores, em relação às firmas com menos recursos para inovação. Diante disso, é possível afirmar que as parcerias envolvem interações não apenas de P&D como também de atividades com menor complexidade tecnológica, como assistência técnica e capacitação de colaboradores. O resultado é que as grandes firmas apresentaram capacidades de criar e desenvolver novas tecnologias, principalmente na área florestal, que possibilitam o domínio de mercado em nível global, conforme descrito anteriormente.

O ponto de análise aqui pode ser compreendido em relação às grandes máquinas e equipamentos pesados que compõem a grande infraestrutura de produção, onde os *players* produtores de celulose e papel não possuem capacidade de criar e desenvolver tecnologias industriais próprias. Todavia, esse também não representa o foco de desenvolvimento tecnológico desse setor. Nesta perspectiva, portanto, a grande infraestrutura da indústria é determinada por tecnologias dominadas por fornecedores globais (FIEP, 2016; IBÁ 2020; IEL/NC, 2018). Por outro lado, no que se refere à inovação incremental, essa demanda pode representar uma importante janela de oportunidades a ser preenchida por fornecedores de tecnologias nacionais.

Uma análise mais técnica organizada por pesquisadores do Instituto Euvaldo Lodi (IEL/NC, 2018) indica que firmas globais fornecem tecnologias para a indústria nacional por meio de soluções como sistemas SAP e *blockchain* em suas operações. Segundo o estudo, ao longo da cadeia evidencia-se também a adoção de máquinas e equipamentos produzidos por firmas dominantes globais como soluções adotadas

por firmas nacionais produtoras de celulose e papel. Outras tecnologias também são apresentadas como possíveis soluções para a cadeia produtiva do setor de celulose e papel, entre elas destacam-se: inteligência artificial, tecnologias para conexões de redes e nanotecnologia. Assim, por meio dessas tecnologias, haverá a introdução de interfaces homem-máquina e interação com clientes em vários níveis na cadeia produtiva, segundo o estudo do IEL/NC (2018). O uso destas novas tecnologias poderá possibilitar avanços como: mineração de grandes volumes de dados (Data Mining), conexão da cadeia produtiva com resultados em tempo real e estruturação das fábricas “inteligentes”. Assim, é possível reestruturar diversos processos de produção, possibilitando agilidade na confecção de produtos finais e na tomada de decisões. É neste cenário que se encontram oportunidades para a implementação de novas tecnologias que possibilitam a atualização de máquinas e equipamentos. Essas novas possibilidades apresentam características que podem resolver problemas pontuais e incrementais e não são dominadas globalmente, o que abre espaço para novos pequenos fornecedores de TICS.

Outro fator importante observado no estudo refere-se às inovações orientadas para a produção e processamento de matérias-primas, com foco na digitalização e genética avançada. Neste caso, as firmas nacionais de maior porte também estabelecem parcerias com os *players* globais. Aqui é possível identificar alguns elementos que merecem destaque como, por exemplo, o aprimoramento técnico obtido a partir de novas tecnologias, que também está restrito às grandes firmas nacionais. Esses *players* têm maior facilidade e prioridade na formação de redes de inovação, o que sugere que pequenos fornecedores podem desenvolver novas tecnologias por meio de parcerias com uma nova geração de *startups* nacionais.

A próxima subseção apresenta uma visão geral sobre algumas tecnologias adotadas no setor em análise. Da mesma forma, as questões relacionadas à sustentabilidade serão descritas de forma inicial. A ideia é apresentar um diagnóstico inicial da aceitação e adoção dessas TICS no setor de celulose e papel. O aprofundamento dessa análise ocorrerá no capítulo de resultados e discussões, onde serão analisados os dados obtidos na pesquisa.

5.3.1 A inserção das novas TICS nas principais firmas do setor de celulose e papel

No cenário relacionado à indústria de celulose e papel, os principais fornecedores de soluções para a indústria nacional são grandes *players* globais. Como exemplo, é possível destacar a *Valmet Corporation*²⁴, que representa um grande fornecedor de máquinas e equipamentos para o setor de celulose e papel. Os principais produtos fornecidos pela *Valmet* são voltados para a linha de produção industrial, com foco em otimizações autônomas (MARTIN, 2017, 2017a; KAIVO-OJA *et al.*, 2018; CATENAZZO *et al.*, 2018). Outro fornecedor é a *Voight GmbH & Co.*²⁵ que, além de fornecer grandes máquinas para o chão de fábrica, desenvolve projetos com foco no gerenciamento autônomo da indústria (MARTIN, 2017, 2017a). Diante disso, é possível afirmar que o fornecimento das tecnologias disruptivas (máquinas e equipamentos) para o setor é formado por um duopólio global, constituindo, assim, uma interdependência global das firmas produtoras de celulose e papel.

No que diz respeito à produção nacional de celulose e papel, é possível citar alguns *players* importantes que demandam inovações tecnológicas. Entre eles, a Suzano que já adota soluções da Indústria 4.0 para novos projetos. Em relação às ações internas para o desenvolvimento de P&D, a referida firma possui estratégias voltadas para o segmento de florestas, por meio de quatro centros de pesquisa no Brasil. Um destes centros é a subsidiária de biotecnologia FuturaGene, onde são desenvolvidas novas soluções para o melhoramento genético no segmento florestal. Como parte da estratégia é voltada para a inovação industrial, onde ocorrem parcerias com universidades, institutos de pesquisa e *startups*.

Outro *player* nacional que merece destaque é a Klabin S/A. Neste caso, o referido *player* representa o maior produtor e exportador nacional de papéis, com foco na produção de papéis para embalagens e papelão ondulado. Além disso, tem grande representatividade na produção e exportação de celulose. Nesse cenário, são incorporadas estratégias para expansão de unidades industriais e desenvolvimento

²⁴ A Valmet é uma empresa sueca com mais de 220 anos e líder mundial no desenvolvimento e fornecimento de tecnologias, automação e serviços para os setores de celulose, papel e energia. Em 2013, tornou-se subsidiária do Metso Group para ser a representante na divisão dos negócios de celulose, papel e energia do Metso Group. Fonte: <https://www.valmet.com/pt/sobre-a-valmet>

²⁵ A Voith é um grupo tecnológico alemão de 153 anos, que desenvolve tecnologias para indústrias da energia, petróleo e gás, papel, matérias-primas e transportes e automóvel. Fonte: <http://voith.com/corp-en/index.html>

tecnológico com foco nas no crescimento global do setor. O maior projeto em andamento é a construção de uma unidade focada na produção de celulose, que será a maior fábrica do mundo a produzir celulose de pinos e eucalipto, localizada no município de Ortigueira/PR. Os investimentos serão em torno de R\$ 9,1 bilhões até 2023. O destaque nesta nova planta se refere às escolhas tecnológicas implantadas em todo ciclo produtivo, em que as novas plantas industriais já serão adaptadas às demandas da Indústria 4.0 (NEMOTO *et al.*, 2018).

Com base neste exemplo, cabe ressaltar que apesar do aprimoramento tecnológico em termos de novas TICS para a Indústria 4.0 nesta nova unidade, a realidade nas outras 18 unidades na Klabin é diferente. Ou seja, existe a necessidade de adequações na base tecnológica já instalada em termos de instrumentação e automação, para que as novas tecnologias sejam implantadas (FIEP, 2016). É importante destacar que se trata de uma instituição com mais de 100 anos, com máquinas que operam, em muitos casos, há mais de 50 anos.

A relação das possibilidades de inovação em máquinas, produtos e processos, somadas à perspectiva de crescimento do setor e aos investimentos públicos nos últimos anos, mostram que existe um amplo espectro de crescimento da indústria nacional. Observa-se, também, que o setor de celulose e papel faz parte das estratégias de desenvolvimento nacional, pois o Estado atua como importante agente de fomento com recursos originários de fontes públicas, principalmente BNDES. No que diz respeito à adaptabilidade por meio de inovações incrementais, capacidade de aprendizado e formação técnica especializada, é possível afirmar que existem possibilidades que surgem da ruptura das trajetórias tecnológicas existentes. Isso gera novas demanda por P&D, novos produtos e serviços e maior flexibilidade nos processos de produção. Assim, a análise das possibilidades e oportunidades pode ser direcionada para fatores de produção e negócios ainda não explorados.

Outro fator observado como estratégico para investimentos em tecnologias para o setor é a sustentabilidade (PERSSON, 2018; TOPPINEN *et al.*, 2017; DALENOGARE *et al.*, 2018). Nesse contexto, a indústria de celulose e papel representa um dos setores mais sensíveis em relação às questões ambientais. Isso ocorre devido à dependência de recursos naturais, bem como utilização de energia e à vitalidade dos ecossistemas florestais como fonte de matéria-prima. A análise da trajetória de desenvolvimento dessa indústria mostra que a organização estratégica passou por quatro fases distintas, são elas: orientação florestal, orientação para a

produção, orientação para o mercado e orientação para a sustentabilidade (TOPPINEN *et al.*, 2017). No referido estudo, os autores apresentam um panorama geral da indústria de celulose e papel em ciclos de transformação contínua, que busca adequações para uma gestão baseada em aspectos sustentáveis.

Nesse cenário, a tarefa de produzir novos produtos incrementais pode preencher uma lacuna tecnológica em relação a serviços e ao fornecimento de tecnologias relacionadas à Indústria 4.0. Diante disso, cabe identificar como os fornecedores buscam e direcionam os investimentos para o desenvolvimento destas tecnologias. Em outras palavras, é necessário analisar em que medida as firmas de grande porte levam vantagens em adquirir subsídios para investimentos em novas tecnologias, além de parcerias com fornecedores e transferência de tecnologias. Isso será analisado nas entrevistas com representantes da indústria nacional. Este representa um fator que exige especial atenção, pois diferente dos altos custos para aquisições de tecnologias disruptivas (grandes máquinas e equipamentos), as firmas de celulose e papel de menor porte também podem incorporar novas tecnologias a custos menores.

De forma geral, é possível afirmar que a indústria de celulose e papel avança em investimentos e perspectivas em nível global. Apesar dos impactos negativos na economia, há expectativas de crescimento nesta indústria. Com exceção do papel gráfico (imprimir e escrever), que já apresentava redução de consumo nos últimos anos, a demanda por embalagens cresceu com as vendas on-line, junto com os papéis sanitários, produtos de higiene e a valorização da celulose no mercado internacional. Para o complemento da análise das novas tecnologias incorporadas pela indústria nacional e das estratégias de novos investimentos e novas adesões, haverá uma nova etapa de exploração e análise, com dados obtidos de entrevistas com a indústria, fornecedores e representantes do setor. A próxima subseção apresenta uma visão dos processos industriais no chão de fábrica e as principais tecnologias utilizadas para produção de papel-cartão.

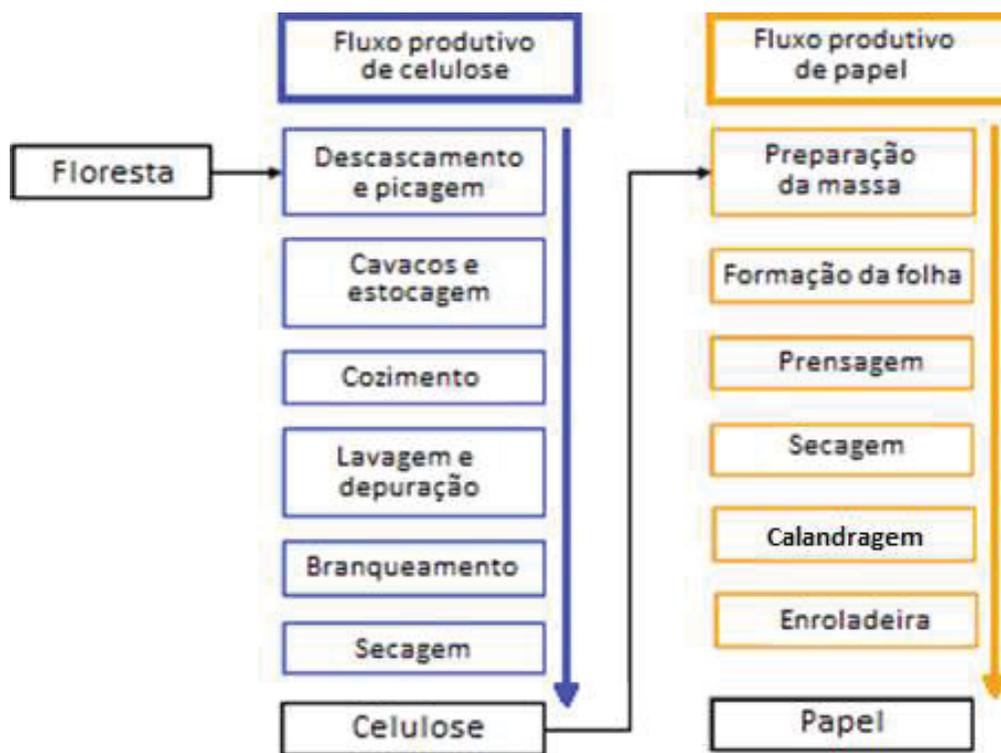
5.3.1.1 As etapas na produção de papel-cartão

Diante da representatividade global que a indústria nacional de papel e celulose alcançou em sua trajetória de desenvolvimento, é possível afirmar que essa

visibilidade ocorreu devido aos avanços em tecnologias de fibra curta à base de eucalipto. Essa trajetória também foi caracterizada por regimes tecnológicos de acumulação de capacidades, parcerias com universidades e institutos de pesquisa e políticas públicas de suporte à pesquisa e investimentos em máquinas e equipamentos, além de políticas públicas que impulsionaram o setor (FIGUEIREDO, 2016; VIDAL e HORA, 2012; TOIVANEN e TOIVANEN, 2011).

A produção em celulose e papel é intensiva em processos e composta por fluxo contínuo de materiais e tecnologias. Estes processos iniciam com a etapa florestal para a produção de celulose e encerram com o fluxo produtivo de papel. A síntese da cadeia produtiva é apresentada na Figura 7.

FIGURA 7: SÍNTESE DAS ETAPAS NA LINHA DE PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL

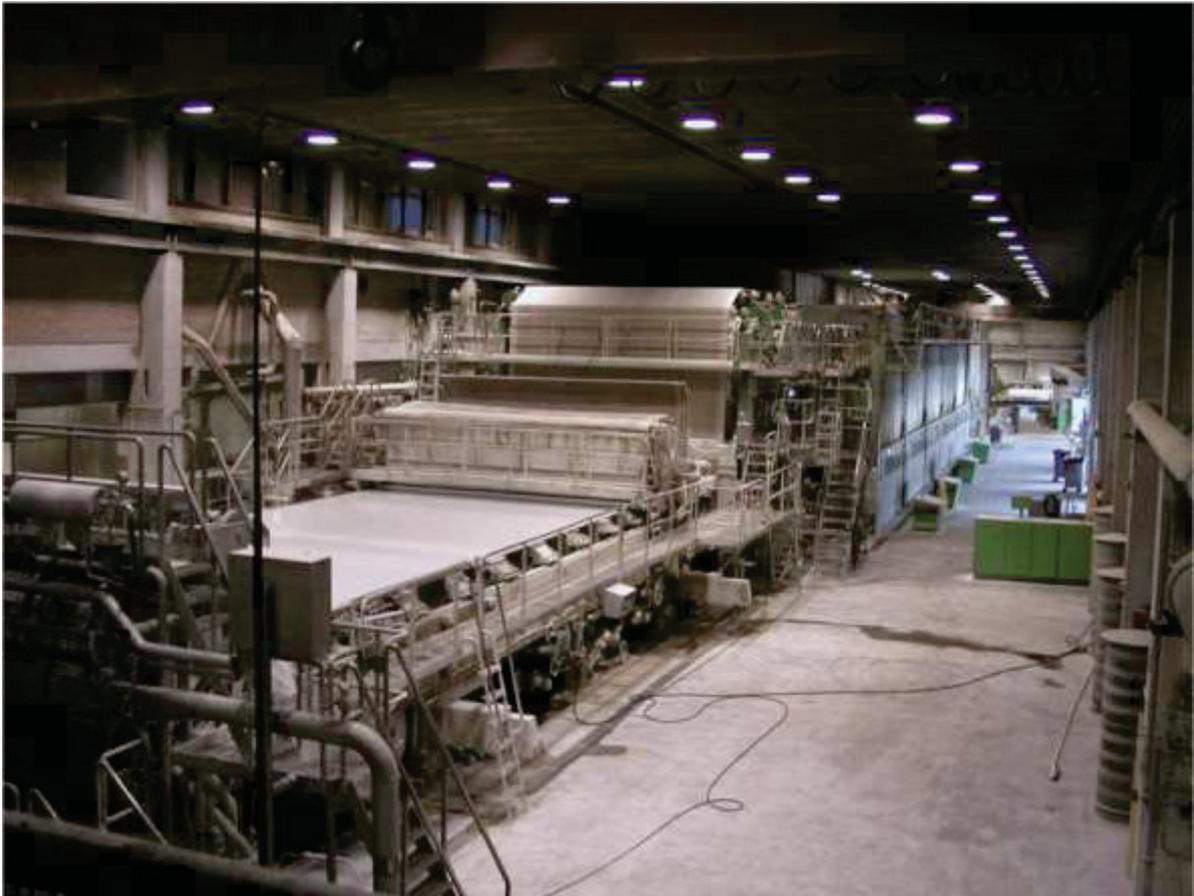


Fonte: Figueiredo (2016).

Para a produção de papel são necessários investimentos em máquinas e equipamentos de alta qualidade e precisão. Em decorrência do alto grau de automação, necessários para fabricação do produto final, estes investimentos representam os maiores aportes dessa indústria (FIGUEIREDO, 2016; VIDAL e

HORA, 2012). Neste cenário, é importante destacar as especificidades técnicas dos processos de produção e, assim, identificar gargalos para a incorporação das TICS em máquinas e equipamentos. Para a melhor interpretação das etapas de produção, as Figuras 8 e 9 apresentam também algumas características específicas da linha de produção.

FIGURA 8 – VISÃO GERAL DO CHÃO DE FÁBRICA: MÁQUINA PARA PRODUÇÃO DE PAPEL-CARTÃO



Fonte: (FDT GROUP, 2021).

De forma geral, é possível afirmar que a função básica de uma máquina de papel é remover a água da matéria-prima (celulose) nas etapas de: i) Formação: desaguamento utilizando as características hidrodinâmicas do líquido; ii) Prensagem: desaguamento por compressão mecânica; iii) Secagem: desaguamento realizado por evaporação em cilindros secadores e iv) Calandragem: definição e controle das

propriedades do papel. Por fim, o papel é destacado do cilindro e segue para a enroladeira, onde são formados os rolos do tipo jumbo (ABTCP, 2020).

FIGURA 9 – ETAPAS DA MÁQUINA NA PRODUÇÃO DE PAPEL



Fonte: Tognetti (2016).

No que se refere à trajetória de desenvolvimento tecnológico da indústria de celulose e papel, é possível afirmar que os avanços em máquinas, equipamentos, processos e P&D permitiram: i) A produção da matéria-prima (celulose) com diferentes variedades de fibras e aditivação controlada; ii) Aquisição de máquinas e equipamentos para a produção contínua com caixas de entradas e melhoria na fase inicial de produção das folhas; iii) Prensas como maior estabilidade e precisão em ajustes, permitindo maior qualidade na produção e iv) Controle de secagem para melhor densidade e maciez do produto final. O foco no desenvolvimento de novas TICS busca, cada vez mais, o aperfeiçoamento no controle das etapas de produção e, como consequência, melhorias no produto final (CAMPOS, 2012). As próximas subseções serão voltadas para o detalhamento das etapas de produção de papel-cartão que foram analisadas na visita técnica.

5.3.1.1.1 As seções de formação, secagem, calandragem e enrolamento

A etapa de formação infere o maior impacto na qualidade da superfície da folha de papel acabada. Segundo Peng (2007, p. 7), a estrutura de formação representa uma “complexa matriz tridimensional para ajustes e direcionamento da

matéria-prima na etapa inicial de produção do papel. Essa matriz é composta por filamentos ortogonais de múltiplas camadas que são utilizados no direcionamento transversal da máquina (CMD - *cross machine direction*). Os componentes desta etapa são a caixa de entrada (FIGURA 10) e uma esteira móvel de tela plástica, que drena a água da suspensão da polpa e forma uma folha úmida contínua (FIGURA 11). De forma geral, o principal objetivo é transferir para seção seguinte a folha de papel com grau de teor seco de aproximadamente 20% (SILVA, 2010). Além disso, busca-se a distribuição uniforme da massa em relação à largura da máquina e a equalização do fluxo da massa e da velocidade da tela formadora. A execução das ações ocorre por meio do jato de suspensão de fibras provenientes da caixa de entrada até a tela formadora, resultando em uma folha. O processo inicial de drenagem da água ocorre por ação da força centrífuga gerada pelo movimento do rolo formador conhecido como “*Crescent Former*”. Após a execução destas atividades, o processo de produção segue para a etapa seguinte que ocorre na seção de prensas (PENG, 2007).

FIGURA 10 – CAIXA DE ENTRADA DA MÁQUINA DE PAPEL-CARTÃO

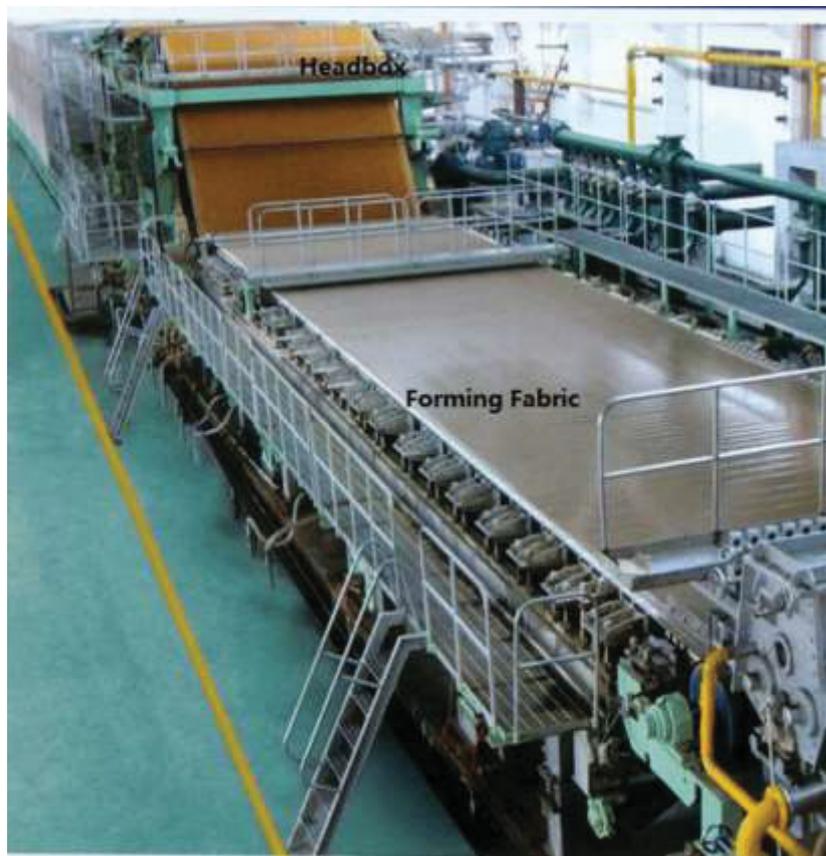


Fonte: Tognetti (2016).

Na fase seguinte, as ações são executadas na seção de prensas (FIGURA 12 e FIGURA 13) e têm como objetivo remover o excesso de água, além de gerar impacto

nas propriedades na superfície da folha de papel e fornecer resistência à absorção de umidade. Assim, é possível aperfeiçoar a operacionalidade da folha no início da seção de secagem. A prensagem é estruturada na compressão mecânica da folha de papel em contato com feltro entre dois rolos, combinada com a sucção de água pelo cilindro inferior (CAMPOS, 2012).

FIGURA 11 – ESTEIRA MÓVEL NO PROCESSO DE FORMAÇÃO DO PAPEL-CARTÃO

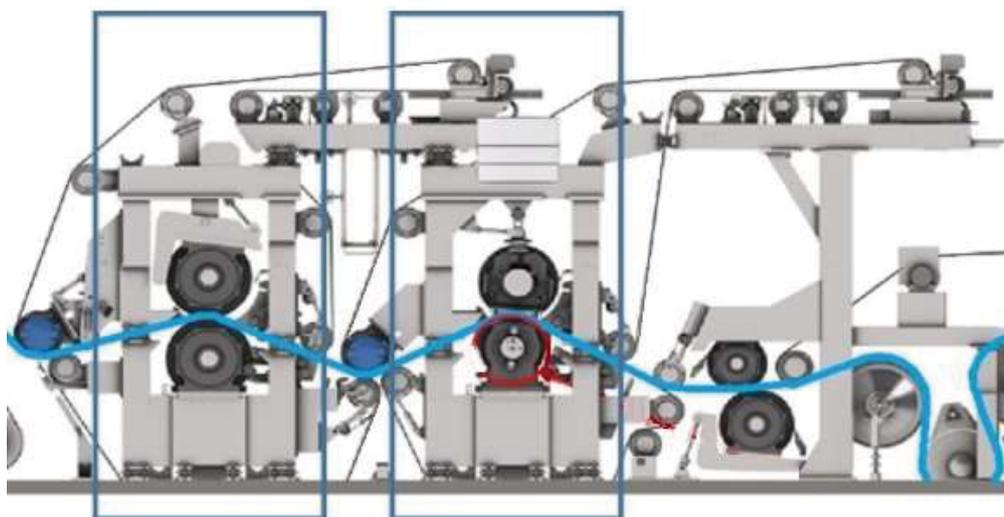


Fonte: Peng (2007).

A configuração dos *setups* com diferentes variáveis e parâmetros para posicionamento e angulação das prensas está relacionada ao melhor desempenho da seção e encaminhamento para a etapa seguinte de produção. Assim, a configuração correta das prensas permite melhor adesão à superfície do cilindro, com melhores resultados no que se refere à redução de umidade da folha de papel. Algumas referências técnicas são descritas por Campos (2012, p.7), onde “as cargas de pressão variam, geralmente, de 35 a 90 kg/cm no primeiro cilindro de pressão e 62 a

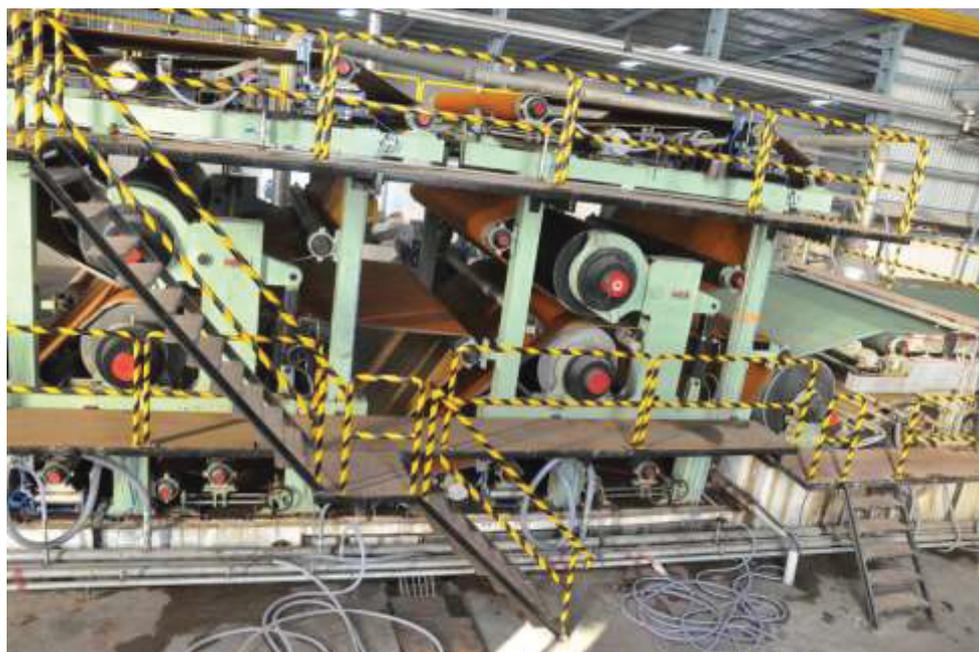
90 kg/cm no segundo cilindro, com a pressão no primeiro cilindro igual ou maior que o segundo”.

FIGURA 12 – ESTRUTURA DE PENSAGEM EM UM MODELO DE MÁQUINA PARA FABRICAÇÃO DE PAPEL



Fonte: CBM Connect (2019).

FIGURA 13 - MÁQUINA DE FABRICAÇÃO DE PAPEL-CARTÃO: ETAPA DE PENSAGEM



Fonte: Indiamart (2022).

Na etapa de secagem ocorre a remoção completa de água da folha de papel por evaporação. O processo de secagem analisado na visita técnica foi o de múltiplos cilindros (Figura 14). O objetivo principal desse processo é garantir a eficiência de secagem com o mínimo de consumo de energia. (VALMET, 2020). Nesta etapa, a atividade de secagem é realizada por meio do acionamento do vapor saturado no interior do cilindro, cuja energia térmica é transmitida à folha, enquanto que a secagem na parte externa da folha é realizada com a capota do tipo de alta eficiência, que incorpora um sistema de controle do fluxo de ar e com aquecedores com uma regulação digital (CAMPOS, 2012). Após a secagem o papel é destacado do cilindro e segue para a seção de calandragem, que é a última etapa do processo de fabricação de papel que afeta as propriedades do papel (VALMET, 2020).

FIGURA 14 - MÁQUINA DE FABRICAÇÃO DE PAPEL-CARTÃO: ETAPA DE SECAGEM

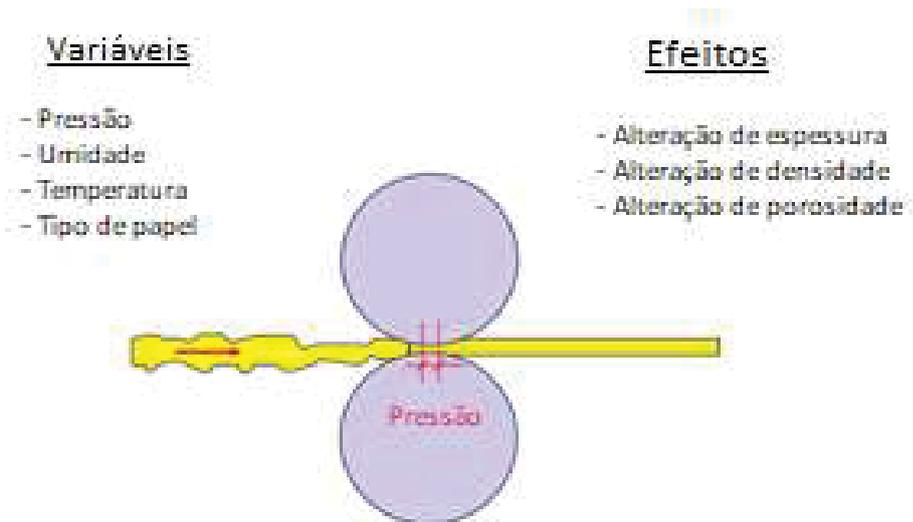


Fonte: Indiamart (2022).

Na etapa de calandragem ocorre a passagem da folha de papel entre dois cilindros sob pressão controlada (FIGURA 15). A partir da pressão definida como variável no *setup*, o papel é moldado pelo trabalho mecânico e plasticidade da folha (FIGURA 16). Outras variáveis como nível de umidade, temperatura e tempo também podem ser geridas, a partir do controle por sensoriamento remoto. O objetivo principal desta etapa é melhorar as propriedades da superfície e controlar a espessura do

papel. Assim, a calandragem permite corrigir irregularidades na formação da folha, aperfeiçoando as propriedades do papel como porosidade e brilho. Após esta etapa, o papel segue para a enroladeira, onde são formados os rolos do tipo jumbo de papel-cartão com aproximadamente 10 toneladas (FIGURAS 17 e 18).

FIGURA 15 – VARIÁVEIS E EFEITOS NA ETAPA DE CALANDRAGEM



Fonte: Tognetti (2016).

FIGURA 16 - MÁQUINA DE FABRICAÇÃO DE PAPEL-CARTÃO: MODELO DE CALANDRA



Fonte: Guoguang Group (2022).

Por fim, o enrolamento é a última etapa da máquina de papel. Todo o processo de fabricação do papel-cartão, que tem início na caixa de entrada (formação) até a entrada na seção de enrolamento, é contínuo e sem interrupções. A partir desta etapa, é necessário transformar a folha contínua em unidades específicas, com peso e tamanho diferentes de acordo com as demandas de mercado. O enrolamento tem por função a formação de rolos Jumbo, os quais, posteriormente, seguem para as seções de acabamento. A uniformidade e a resistência do papel são importantes para a boa performance na seção de acabamento (ABTCP, 2020).

FIGURA 17 – MODELO DE ENROLADEIRA



Fonte: Valmet (2022).

FIGURA 18 - MÁQUINA DE FABRICAÇÃO DE PAPEL-CARTÃO: ENROLADEIRA



Fonte: Engenhariae (2017).

As possibilidades adaptativas nas etapas de produção podem abrir oportunidades para o desenvolvimento de novas tecnologias no chão de fábrica. A necessidade de avanços em termos da integração de dados da produção e gestão, assim como as funcionalidades incorporadas com uso do controle remoto de processos, por exemplo, representam fatores que podem impactar os meios de produção. Diante disso, analisar os níveis de implementação tecnológica e identificar quais os impactos das novas tecnologias na linha de produção, representam formas de avaliar a adoção de novas soluções. O próximo capítulo apresenta os resultados e discussões obtidos por meio de entrevistas e visita técnica. Assim, busca-se identificar as estratégias da firma para a inovação. Além disso, a análise “*in loco*” de todas as etapas de produção apresentará as principais ações da Firma BR para preencher os *gaps* tecnológicos e, assim, serão analisadas as possibilidades de incorporações de novas tecnologias incrementais em cada etapa de produção. Por fim, serão detalhados o grau de maturidade da firma diante dos fatores observados e os determinantes do processo de inovação no setor de celulose e papel.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Até o momento, a pesquisa apresentou as referências teóricas sobre os sistemas de inovação com ênfase no sistema setorial de celulose e papel. Além disso, foram retratados, também, as principais tecnologias emergentes direcionadas para a indústria em análise. De modo geral, é possível afirmar que a trajetória da indústria nacional de celulose e papel foi estruturada, no primeiro momento, com a aquisição de grandes máquinas fornecidas por *players* internacionais para a composição das linhas de produção. A consolidação setorial ocorreu com as políticas de investimentos que alavancaram a construção de plantas industriais e os níveis de produção. O atual cenário é constituído pela adoção de diferentes tecnologias incrementais no chão de fábrica, melhorias nas antigas máquinas e equipamentos e apresenta uma demanda crescente por papel-cartão e *tissue* (HORA, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2017; TOIVANEN e LIMA-TOIVANEN, 2011).

A análise de resultados ocorreu por meio da relação do referencial teórico com os dados extraídos das entrevistas e observações na linha de produção. Neste contexto, buscou-se identificar qual o impacto que a Firma BR exerce nas redes de inovação e quais as estratégias para produção de novas tecnologias foram incorporadas no chão de fábrica. Para a estruturação deste capítulo, foram organizadas seções para detalhar as principais estratégias e demandas da Firma BR em relação às tecnologias da Indústria 4.0 e, a partir disso, identificar as características da inovação já implementadas na firma e os potenciais caminhos para a sua geração e novas incorporações.

6.1 OS DESAFIOS PARA PREENCHER OS GAPS TECNOLÓGICOS DA FIRMA

Esta subseção apresenta os elementos centrais das tecnologias para produção de papel-cartão na Firma BR. Buscou-se, com isso, trabalhar a especificidade do objeto de estudo diante dos apontamentos de gestores e equipe técnica em relação aos principais desafios tecnológicos no setor. A partir da análise da firma e dos principais produtos e matérias-primas utilizadas, foram elencadas evidências sobre as estratégias para inovação de processos, máquinas e equipamentos. Assim, a etapa inicial de análise focou nas estratégias, gargalos e

desafios tecnológicos que existem para a produção de papel. Além disso, as entrevistas foram direcionadas para a identificação de quais produtos tecnológicos representam o foco de investimentos neste segmento.

Diante disso, o trabalho de campo identificou os principais pontos em relação às estratégias da firma para a inovação. No primeiro momento, a análise de campo aponta convergências em relação ao conteúdo apresentado no capítulo de análise setorial. Observa-se, neste cenário, que os impactos causados na pandemia aceleraram a demanda por embalagens (papel-cartão) em decorrência do aumento do *e-commerce*, juntamente com papéis para fins sanitários e a valorização da celulose no mercado internacional.

A característica de produção da Firma BR é verticalizada e atua em diferentes segmentos da cadeia produtiva florestal. No que diz respeito ao impacto do papel-cartão (que representa o foco da pesquisa) na receita da firma em análise, é possível destacar que esta categoria representa aproximadamente 40% da produção na firma. A produção total de papéis de diferentes categorias nas 18 unidades é de 2 milhões de toneladas/ano, com previsão para produzir 8 milhões de toneladas até 2026. Neste cenário, a unidade em análise é a responsável pela produção total de papel-cartão e a previsão é aumentar em 3 vezes a produção até 2026 (GERENTE-A).

Quanto às unidades de negócios na firma, estas estão divididas em: i) Unidade florestal: onde são direcionados investimentos em P&D para o melhoramento genético e aprimoramento de matéria-prima e madeira para fábricas no Brasil e no exterior; ii) Papéis: produção de diferentes categorias; iii) Celulose: produção e venda de celulose branqueada de fibra curta e celulose branqueada de fibra longa; iii) Conversão: direcionada para a produção de embalagens.

As linhas de produção de papel-cartão são constituídas por diferentes composições de fibras virgens, principalmente de eucalipto e possuem diferentes categorias de papel para atender produtos congelados e refrigerados, proteção anti-gordura, caixas resistentes para bebidas e embalagens longa vida. Isso demanda mais investimentos em tecnologias para aumento e agilidade e redução nos custos de produção. Nesta etapa inicial, foi possível identificar as principais demandas no que se refere à atualização de máquinas e equipamentos e quais as estratégias da firma são associadas à inovação. A próxima subseção trata das principais estratégias da Firma BR para a incorporação de novas TICS no chão de fábrica.

6.1.1 As estratégias para o desenvolvimento tecnológico na Firma BR

Em relação à incorporação de novas tecnologias na linha de produção, foram entrevistados dois gestores setoriais da unidade de estudo, denominados Gerente-A e Coordenador-A, um coordenador setorial apresentado como Coordenadora-B, dois engenheiros (processos e manutenção), denominados Engenheiro-A e Engenheiro-B e um analista de inovação corporativo (que atua em projetos de inovação que atendem todas as unidades da firma), apresentado como Analista-A. O foco inicial da entrevista foi analisar como ocorre o processo de decisão em relação à inovação, ou seja, se as decisões são centralizadas na alta administração ou ocorrem de forma participativa. Isso permitiu identificar as prioridades e ações da firma e conhecer como ocorrem as parcerias e aquisições de novas tecnologias. Nesta etapa, além de entrevistas on-line, foi realizada uma visita técnica na firma em estudo. Especificamente, o trabalho *in-loco* ocorreu em uma máquina de produção de papel-cartão e no Centro de Monitoramento de Ativos e Prevenção à Falhas, onde se dá o controle das etapas de produção.

As ações da Firma BR para a incorporação de tecnologias incrementais no chão de fábrica têm como foco a redução dos custos e perdas na produção, bem como o aumento na competitividade da firma (GERENTE-A). Dentro do possível, as estratégias que envolvem a execução de projetos de inovação ocorrem por meio de diferentes parcerias com *startups* e instituições de ensino. Além disso, atividades internas para identificar falhas na linha de produção e para capacitação de colaboradores são parte dessas estratégias tecnológicas (ENGENHEIRO-A). É importante ressaltar que a organização e estruturação dessas ações serão tratadas com maior profundidade na próxima seção.

A organização interna para a inovação teve início há 5 anos (ENGENHEIRO-A). Nesse sentido, o advento das novas tecnologias incorporadas nos últimos anos corrobora com as atividades de implementação de novas soluções identificadas na firma. Destaca-se, nesse contexto, que nos países industrializados o debate sobre Indústria 4.0 iniciou em 2011 e cresceu rapidamente, resultando em TICS em um certo pioneirismo tecnológico desses países. Neste caso, especificamente, ocorre um atraso na indústria nacional em termos de adoção de novas tecnologias da Indústria 4.0.

A adoção de inovação na Firma BR tem como foco a incorporação de novas

soluções de sensoriamento e conectividade em máquinas e equipamentos e foram apresentadas pela equipe técnica entrevistada (ENGENHEIRO-A; ENGENHEIRO-B). No primeiro momento, foram incorporadas adaptações e melhorias em dispositivos eletrônicos, sistemas e processos. As modificações na linha de produção, implementadas inicialmente, foram desenvolvidas internamente e, também, em parcerias com pequenos fornecedores de tecnologias. Além disso, as condições que possibilitaram o desenvolvimento tecnológico *in-house* foram associadas à geração de conhecimentos com base em experiências anteriores e ações internas que formaram a base do conhecimento, como treinamento e capacitação técnica (ENGENHEIRO-A; ENGENHEIRO-B). Estas ações podem ser relacionadas com as oportunidades diante de recursos disponíveis e estratégias de avanços tecnológicos e com a cumulatividade originada a partir de experiências anteriores (BRESCHI e MALERBA, 1997). Nesse sentido, as características referentes à construção de conhecimento podem ser consideradas os fatores que estruturaram a base de desenvolvimento tecnológico da Firma BR.

A implantação de TICS da Indústria 4.0 seguiu algumas etapas na firma. O estágio inicial deste processo se deu em 2018 e não havia uma estratégia bem definida. Assim, em relação às oportunidades a partir de recursos disponíveis e da necessidade de organização do conhecimento, a equipe técnica identificou a necessidade de elaboração de um plano de ações para a digitalização. Diante disso, depois de algumas tentativas iniciais para resolver os *gaps* tecnológicos (principalmente em relação à quebra ou falha de ativos), foram elencadas ações prioritárias por meio de um Plano Diretor de Digitalização (PDD). A estruturação do PDD ocorreu, em um primeiro momento, com a organização de equipes multidisciplinares de atuação na linha de produção (COORDENADOR-A).

A organização do PDD seguiu por meio de entrevistas em todos os setores da fábrica, com o objetivo de compreender o funcionamento e as relações entre diferentes áreas, partindo dos níveis operacionais, passando pela área administrativa até a gerência. O objetivo foi identificar as principais demandas na linha de produção e buscar soluções envolvendo todos os setores da firma. No segundo momento, foram criados comitês internos direcionados para o entendimento das novas tecnologias da Indústria 4.0, que resultaram em grupos de trabalhos para análise da planta industrial. Assim, problemas foram identificados e apresentados por colaboradores em reuniões setoriais que, posteriormente, foram ampliados por meio de seminários internos para

engajamento e divulgação do tema. As ações adotadas no momento inicial buscaram priorizar, além das demandas emergenciais, a compreensão total das etapas de produção (COORDENADOR-A).

Os elementos centrais identificados neste momento da pesquisa foram: i) A necessidade de alocação de recursos com base no diagnóstico e determinação de níveis de prioridades; ii) A necessidade de obter autonomia para inserir adaptações e incorporação de novas tecnologias no período pós-instalação de máquinas e equipamentos e iii) A construção do conhecimento tecnológico para a implementação da inovação incremental. Estes elementos representam os pontos centrais no processo de organização das ações para a inovação tecnológica da firma.

Em relação as fontes para investimentos em inovação, é possível afirmar que estes recursos são gerados internamente e alocados a partir de decisões do comitê de gestão tecnológica e da alta administração (ANALISTA-A). Nesse sentido, dois aspectos relevantes foram identificados em relação à inovação na Firma BR. O primeiro, diz respeito aos investimentos em máquinas e equipamentos fabricados por players internacionais já consolidados no mercado (como *Valmet* e *Voight*, por exemplo). De modo geral, são máquinas de grande porte (200m de comprimento x 8m de largura x 20m de altura), de fabricação antiga e foram criadas para a produção contínua e sem interrupções. As ações para aquisição e substituição destas máquinas são tratadas como investimentos em infraestrutura e ocorrem com a ampliação de unidades (COORDENADOR-A). Estas medidas são pontuais, com alto grau de investimentos e exigem fontes de financiamentos externas. Por outro lado, as estratégias de inovação identificadas como incrementais e que representam o foco de análise da pesquisa, estão diretamente relacionadas com a capacidade técnica especializada para a adaptação e incorporação de novas soluções e com o grau de cumulatividade do conhecimento interno da firma.

Os componentes e sistemas utilizados para estes *upgrades* são facilmente transferíveis à outras plataformas ou desenvolvedores e, assim, são aprimorados. Isso pode ser relacionado às características da Indústria 4.0, no que se refere aos aspectos adaptativos que não necessitam de altos investimentos. Por outro lado, não há autonomia e controle das TICS proprietárias com a existência das “caixas-pretas”, onde não há acesso aos códigos fontes, ou mesmo, aos mecanismos internos de funcionamento das máquinas. O que ocorre, neste caso, é que existe uma dependência tecnológica em relação às grandes máquinas e equipamentos e que não

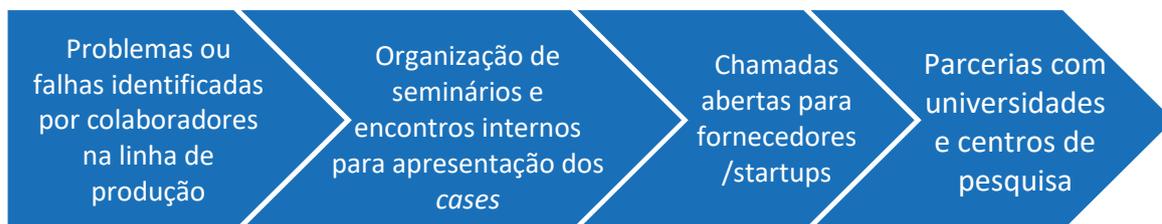
existem fornecedores nacionais que absorvam essa necessidade. Além disso, o fator a ser considerado é que a Firma BR possui essas grandes máquinas que atendem a atual demanda de produção e que as necessidades adaptativas são atendidas por soluções incrementais.

A acumulação das capacidades tecnológicas representa um importante elemento na consolidação da base de conhecimento da firma e, como consequência, a base para a geração das mudanças tecnológicas. Nesse sentido, é importante destacar que essa construção da trajetória tecnológica ocorreu a partir de diferentes estratégias que se somaram para o desenvolvimento da inovação. Em primeiro lugar, destaca-se o aproveitamento das *expertises* internas, com a identificação de falhas e possibilidades de aperfeiçoamento a partir das experiências da equipe técnica no chão de fábrica. O outro elemento identificado diz respeito a organização de ferramentas e estratégias para a aproximação com a academia. Além disso, é possível afirmar que houve tentativas para a construção de um caminho para o fortalecimento da relação entre as partes. As próximas subseções tratam de forma mais detalhada as estratégias para a incorporação e adaptação tecnológica na linha de produção, bem como a construção das redes de inovação.

6.1.2 As ações internas da firma para a inovação

As máquinas e equipamentos verificados no trabalho de campo foram instalados na década de 1970 (ENGENHEIRO-A). Diante das características observadas e da necessidade de adaptações e ajustes, foi possível identificar quais são as ações adotadas pela firma para implantar novas soluções. Além disso, foi necessário compreender quais os mecanismos para a construção de redes de inovação com fornecedores e instituições. Diante dos aspectos analisados, constatou-se que as etapas para o desenvolvimento da inovação são organizadas pela Firma BR conforme a Figura 19:

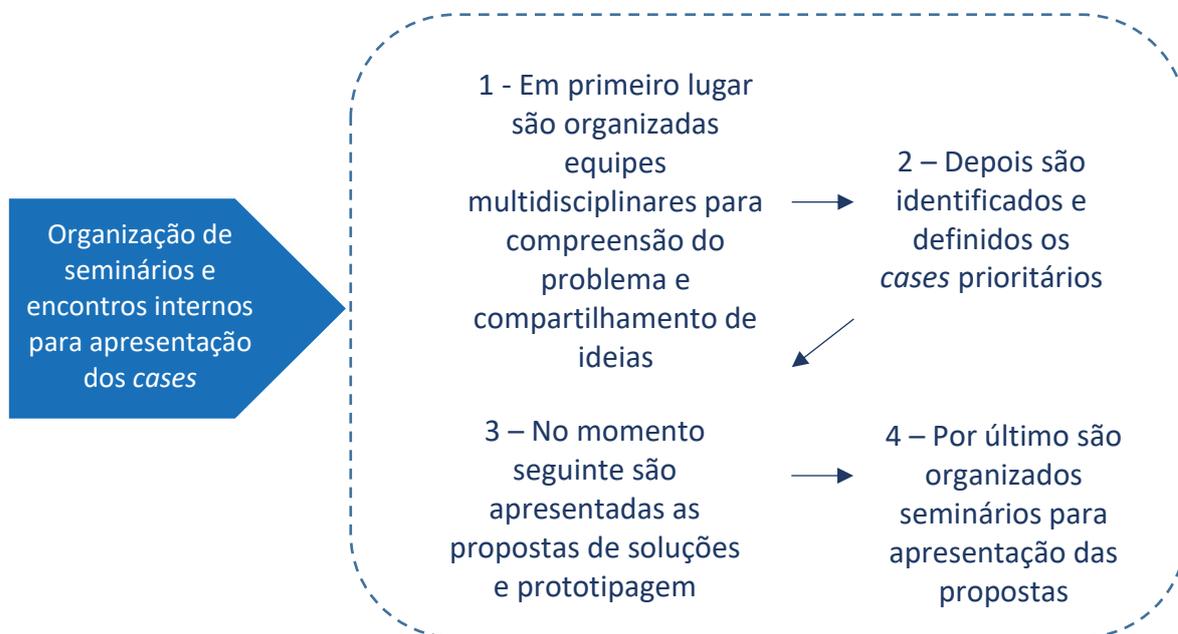
FIGURA 19 – ETAPAS PARA A INCORPORAÇÃO DE SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS



Fonte: O autor (2022).

No que se refere ao diagnóstico de problemas e falhas na produção, a Firma BR criou canais para receber ideias e propostas para melhorias. Estes canais são organizados por meio de reuniões periódicas com times multidisciplinares. Com isso, busca-se organizar atividades para a solução dos problemas. As etapas são definidas conforme a sequência apresentada na Figura 20.

FIGURA 20 – ORGANIZAÇÃO DAS ETAPAS INICIAIS PARA NOVAS TICS



Fonte: O autor (2022)

Os aspectos analisados se referem a organização das atividades que ocorrem em diferentes níveis hierárquicos e quando identificado o impacto local, algumas

soluções são escalonadas para as demais unidades corporativas. Um ponto importante a ser considerado é o caráter didático voltado à organização das atividades. Nesse sentido, as ideias passam pela identificação e aprofundamento do problema, seguindo para o aprimoramento da proposta em forma de protótipo.

O passo seguinte, ocorre com a aprovação da gerência e validação que seguem para posterior implementação (COORDENADORA-B). Essa metodologia de trabalho é algo a ser considerado como diferencial interno, que pode resultar em estratégia de competitividade para a geração de conhecimento e desenvolvimento de novas TICS. Assim, os mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais para a construção de conhecimento acontecem com a análise e compartilhamento de informações sobre as etapas de produção. Com isso, as ações para a inovação tornam as empresas capazes de absorver os recursos trazidos de fora, isto é, possibilitam a integração das aprendizagens interna e externa, internalizando-as em suas próprias capacidades de processo e de produto (FIGUEIREDO, 2018). Esta etapa representa o passo inicial para o desenvolvimento de novas TICS para a linha de produção na firma. As próximas subseções apresentam atividades específicas na busca de parcerias para novos produtos e serviços e na próxima seção serão detalhados os cases com exemplos específicos de implementação dessas soluções.

6.1.3 As parcerias e relacionamentos para a construção de um sistema de inovação

As parcerias para o desenvolvimento de novas tecnologias e geração de conhecimento são fatores que podem indicar em que medida a firma compete ou se associa com outras empresas para inovar (LEE e MALERBA, 2017; MALERBA e McKELVEY, 2020). Nesse sentido, o caminho que a firma percorre para o desenvolvimento das novas tecnologias pode demonstrar as estratégias em termos de pioneirismo ou imitação na incorporação das TICS e foram descritos da seguinte forma:

6.1.3.1 As chamadas abertas para fornecedores de TICS

A organização da Firma BR para contratar fornecedores de tecnologias ocorre

com as chamadas abertas. Estes “editais” abertos acontecem por meio de redes sociais, canais de imprensa e divulgações diretas ao público-alvo. Com isso, a firma apresenta as necessidades e recebe propostas de *startups* para as soluções desejadas. Busca-se, com essas ações, encontrar tecnologias adaptativas para a customização dos produtos (ANALISTA-A). Os principais pontos observados nesta forma de parceria são o compartilhamento de conhecimentos e a transferência de tecnologias com os pequenos fornecedores. Destaca-se, em relação ao relacionamento com pequenos fornecedores, o caráter adaptativo da inovação para a soluções de problemas pontuais que envolvem soluções de software e sensoriamento remoto. As soluções originadas destas parcerias, que não envolvem um alto grau de complexidade ou grandes investimentos em P&D, serão detalhadas na próxima seção.

Por outro lado, a relação estabelecida com demais os *players* de TICS radicais (grandes máquinas, por exemplo) ocorre na forma de aquisição de tecnologias proprietárias, onde não há interações para o desenvolvimento de soluções, mas sim, em uma perspectiva de compra e venda (ANALISTA-A). A limitação observada quanto às tecnologias proprietárias pode ser relacionada com os efeitos de imitação ou reprodução que são restritas por direitos de propriedade industrial ou mesmo como consequência do *lock-in* que tornam a firma dependente dos fornecedores.

As parcerias com *startups* representam o centro da inovação na Firma BR diante das relações existentes entre as novas tecnologias da Indústria 4.0 e a intensidade do conhecimento aplicado nestas TICS. Neste cenário, a flexibilidade para a customização e o baixo custo de desenvolvimento nos produtos são diferenciais para o estabelecimento das parcerias. Esse processo pode ser aprimorado por meio de parcerias com instituições de pesquisa e universidades que dispõem de recursos humanos e laboratórios para o aperfeiçoamento de tecnologias. A próxima subseção apresenta algumas características desse processo.

6.1.3.2 As parcerias com universidades e centros de pesquisa

A relação universidade-empresa é concentrada em três frentes e representam um processo em construção. A primeira diz respeito ao desenvolvimento interno de

soluções por meio de projetos com alunos de mestrado. A outra ação ocorre quando a firma busca instituições de pesquisa e desenvolvimento tecnológico e apresenta uma demanda. Neste caso, destacam-se os 26 Institutos SENAI de Inovação (ISI) que, por meio de pesquisa aplicada, desenvolvem produtos, processos e soluções industriais customizadas (SANTOS, 2016). Alguns exemplos de atividades desenvolvidas com o SENAI podem ser descritos com a produção de um revestimento a partir da polpa de celulose que contém propriedades antivirais. Este produto é produzido a partir de componentes orgânicos e livre de metais em sua composição. A outra Instituição envolvida é a Bio-Manguinhos/Fiocruz. O objetivo principal desta parceria é o desenvolvimento de uma camada de proteção antiviral em embalagens e fibras têxteis. O outro exemplo de parceria entre a Firma BR e o ISI é o álcool em gel feito a partir da microfibrilada de celulose (MFC). Além disso, cabe destacar os cursos de capacitação técnica para atuação no chão de fábrica fornecidos pelo SENAI e, em menor medida, o desenvolvimento e customização de soluções para a linha de produção. Neste contexto, ressalta-se a relevância da parceria existente ao longo da trajetória de desenvolvimento tecnológico com projetos que envolvem P&D (ANALISTA-1).

A terceira atividade identificada é voltada para cursos internos de capacitação. Algumas medidas foram elencadas e, de modo geral, representam a consolidação de um modelo para direcionar as ações que envolvem universidades. No entanto, a dinâmica de interação entre pesquisadores e a indústria exige ajustes para que as ações sejam realmente efetivadas. Em outras palavras, a Firma BR busca soluções práticas e rápidas para sanar os problemas no chão de fábrica. Isso implica o estabelecimento de uma relação firma-colaborador e não uma atividade real de pesquisa-ação. Diante disso, o que se observa é que esta relação se aproxima às estabelecidas com *startups*, onde problemas pontuais são desenvolvidos em curtos intervalos de tempo. Quando se trata de experiências com resultados factuais, é possível afirmar que estas ocorrem quando se estabelece uma relação de longo prazo entre a firma e universidade, com projetos permanentes e de médio e longo prazo.

O ponto positivo na relação universidade-empresa foi com o curso de pós-graduação em Indústria 4.0 em parceria com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR que resultou em ações práticas internas (COORDENADOR-A). De modo geral, é possível destacar que existem ações voltadas para a formação e aprendizagem interna que podem resultar no acúmulo de capacidades e

conhecimento técnico. Para Lee e Malerba (2020), independente de sua propriedade de capital de economias avançadas ou emergentes, as empresas mais capazes são as que estão melhores equipadas para promover parcerias para o desenvolvimento tecnológico. Diante disso, são as que respondem melhor às mudanças do ambiente tecnológico.

Os avanços desta forma de parceria são apresentados por Webster e Etzkowitz (1991) e envolvem: i) Investimentos de pesquisa associados ao desenvolvimento de produtos e serviços; ii) A possibilidade de compartilhamento de custos e o risco das pesquisas de base com outras instituições e com o governo e iii) Financiamento público por meio de institutos de pesquisa. Já no que diz respeito a elementos significativos do lado da universidade, são eles: i) Possibilidades de recursos para o desenvolvimento de pesquisa originados do setor privado e ii) Fomento do desenvolvimento científico junto à comunidade acadêmica. O resultado destas ações pode ser relacionado com a maior produção e cumulatividade do conhecimento interno e à apropriabilidade em relação à inovação. Além disso, as consequências positivas também podem abranger patentes de novos produtos, licenças de softwares e até mesmo *spin-offs* promovidas com a transferência de tecnologias emergentes. Em síntese, a busca por soluções pontuais determina o ponto central da necessidade inovativa por parte da firma. Por outro lado, as expectativas da academia em relação ao processo colaborativo tendem a ser contempladas com processos contínuos de aprendizagem e geração de conhecimento. Assim, o processo de relação entre a Firma BR e a academia é uma atividade que demanda continuidade para maturação e aprimoramento. A próxima subseção trata das relações entre a Firma BR e o Estado.

6.1.3.3 As parcerias com o Estado e o desenvolvimento de tecnologias com características disruptivas

As estratégias *in-house* para o aprimoramento tecnológico são direcionadas para diferentes fontes de investimentos e fornecimento tecnológico (ANALISTA-A). Aqui cabe ressaltar que alguns dos caminhos já foram constituídos pelo Estado e envolvem a aproximação entre instituições de pesquisa científica e tecnológica para o

desenvolvimento de novas soluções. Um exemplo é a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial²⁶ (EMBRAPII).

Nesse sentido, existem quatro projetos em andamento em que a EMBRAPII fez a “ponte” para aproximação da firma com fornecedores de TICS. As aplicações são voltadas para soluções de inteligência artificial e realidade mista. As relações com o Estado também foram observadas no que se refere ao fomento para a ampliação da infraestrutura e construção de novas plantas industriais com recursos via BNDES.

No que diz respeito ao desenvolvimento inovação radical, a firma desenvolve diferentes projetos em um centro interno de P&D com foco em: i) Melhorias na qualidade da matéria-prima e propriedades da madeira, como densidade e teor das fibras; ii) Estudos do solo e clima; iii) Impactos das variações climáticas e uso de água; iv) Estudo de pragas e doenças na área florestal e v) Aumento de produtividade das florestas. Também foi elencada como fonte de fomento para P&D a FINEP, com duas pesquisas em andamento.

O desenvolvimento de tecnologias de caráter radical acontece, também, por meio de parcerias internacionais (ANALISTA-A). Ou seja, a avaliação é de que as parcerias internas com fornecedores nacionais não permitiriam chegar na fronteira tecnológica. Neste caso, o desenvolvimento tecnológico é direcionado para novos produtos em substituição aos materiais que são concorrentes diretos da indústria, como o plástico, por exemplo. Nesta perspectiva, a Firma BR se tornou sócia de uma *startup* israelense para o desenvolvimento de um tipo específico de celulose que pode ser utilizado em reposição ao plástico.

Em síntese, é possível afirmar que os resultados mais relevantes são originados do financiamento público para construção de novas plantas industriais. Os esforços para produção e acumulação de conhecimento têm o foco no longo prazo com base no acúmulo e transferência de conhecimento, como no *case* da *startup* israelense. Assim, para as necessidades de soluções radicais, o *core* de desenvolvimento está na relação com firmas e instituições de pesquisa que atuam fora do país. Por outro lado, o desenvolvimento de tecnologias incrementais para adaptações e atualizações de máquinas e equipamentos ocorre por meio de parcerias com fornecedores nacionais (*startups*, de modo geral) e, em menor regularidade, com

²⁶ A EMBRAPII é uma Organização Social qualificada pelo Poder Público Federal em 2013, formada pela parceria entre CNI, CNPq e MEC que apoia instituições de pesquisa tecnológica e fomenta a inovação na indústria brasileira (EMBRAPII, 2020).

universidades com ações pontuais para engajamento de colaboradores e capacitação técnica. Diante disso, é possível afirmar que a partir do momento em que a Firma BR interage com diferentes atores e instituições, impactando positivamente a capacidade tecnológica da cadeia produtiva, ocorre a geração de um conjunto de capacitações externas onde as parcerias proporcionam um nível superior de desenvolvimento tecnológico. Nesse sentido, observou-se a geração de um efeito de transbordamento das capacidades tecnológicas, onde a Firma BR representa o início do processo de desenvolvimento técnico e, a partir disso, todo o setor é impactado. A próxima seção tem como objetivo detalhar as soluções tecnológicas incorporadas no chão de fábrica e são originadas das parcerias com diferentes fornecedores.

6.2 TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0: AS PRINCIPAIS TICS INCORPORADAS NA FIRMA BR E AS POSSIBILIDADES DE MELHORIAS NO CHÃO DE FÁBRICA

Esta seção apresenta a descrição técnica das etapas de produção e as principais soluções disponíveis na Firma BR. As observações de campo e as entrevistas com a equipe técnica possibilitaram a compreensão de como ocorre o processo de inovação por meio de *upgrades* em máquinas e equipamentos. Assim, foi possível identificar as principais demandas na linha de produção de papel-cartão, bem como as características e possibilidades de aprimoramento tecnológico.

A partir disso, foi possível analisar o grau de maturidade da firma com base no modelo Acatech (SCHUH *et al.*, 2020). Este modelo apresenta diferentes níveis de desenvolvimento e organização das etapas para implantação de TICS da Indústria 4.0. A análise e identificação dos níveis de maturidade da Firma BR serão detalhados na Seção 6.3.

6.2.1 As tecnologias de antecipação às falhas e interrupções na linha de produção

A inovação na indústria nacional de celulose e papel foi construída com base na acumulação de capacidades tecnológicas para a produção de papel a partir da fibra curta, conforme tratado anteriormente. Uma trajetória oposta do que se estabeleceu nas empresas líderes dos países da Escandinávia, por exemplo.

(FIGUEIREDO, 2016; IBÁ, 2018; FIEP, 2016). Essa trajetória envolveu diferentes níveis e velocidades de acumulação de acordo políticas públicas nacionais de suporte à pesquisa e financiamento público (FIGUEIREDO, 2018).

Neste cenário, as diferentes trajetórias podem corroborar para a compreensão dos níveis de inovação no Brasil em comparação com a outros países fornecedores de tecnologias para o setor de celulose e papel. A mudança na escolha da matéria-prima para produção de papel no Brasil, em decorrência de variáveis como clima, solo e adaptação de espécies, direcionou as ações de inovação para adaptações e acoplamento de novas tecnologias em máquinas e equipamentos. Por outro lado, nos países europeus/escandinavos a busca por inovação foi concentrada no aprimoramento de elementos como energia, água e resíduos e matéria-prima (PERSSON, 2018). Isso, somado a fatores como o histórico de parcerias com universidades e institutos de pesquisa e de políticas públicas nacionais de suporte à P&D, financiamento público e fomento do comércio exterior (FIGUEIREDO, 2016), pode explicar o fato de que existe uma diferença entre o parque industrial europeu e o nacional, em termos de obsolescência tecnológica (FIEP, 2016, IBÁ, 2018).

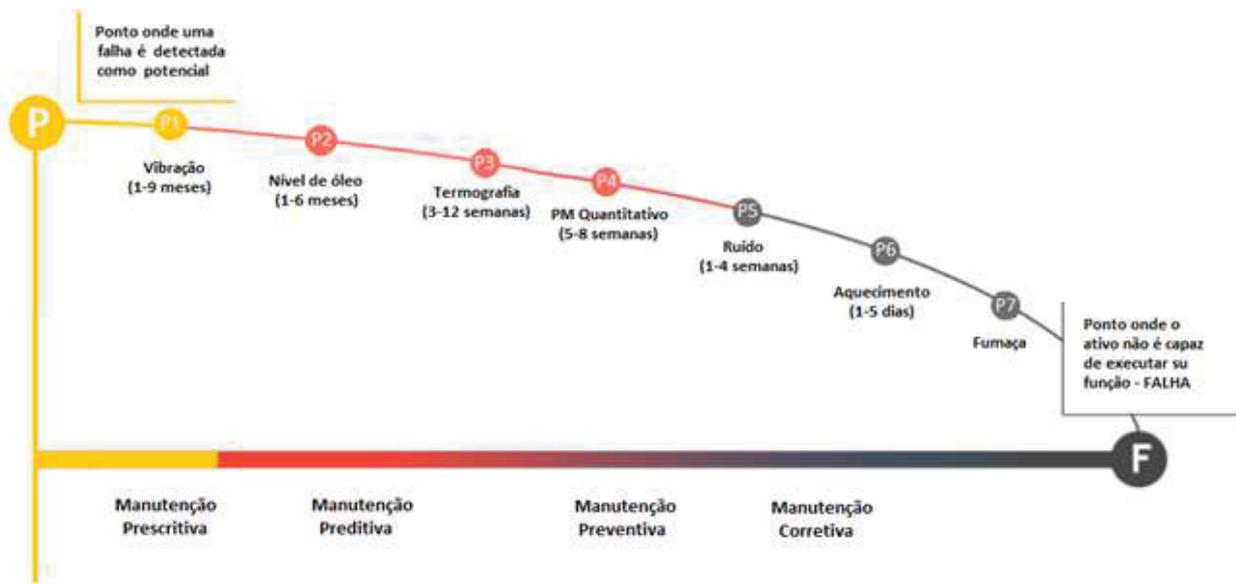
Neste contexto, a incorporação de soluções incrementais para a produção de papel-cartão foi o principal aspecto identificado na Firma BR. As principais demandas envolvem, de modo geral, o monitoramento em tempo real de máquinas e equipamentos para antecipar problemas nas etapas de produção. Além disso, a firma busca soluções para tratamento e monitoramento de dados com o uso de inteligência artificial e sistemas para simulação, com dispositivos de realidade mista. Isso possibilita o controle do maior número de variáveis na produção e estão relacionados a fatores como: redução de falhas e interrupções, redução de custos e qualidade do produto final. O Gráfico 24 apresenta uma síntese das principais necessidades no chão de fábrica.

As possibilidades de redução nas falhas na produção, envolvem segundo NORDAL *et al.* (2021):

- **Manutenção corretiva:** ação que demanda reparos técnicos não previstos. Neste caso, ocorre bloqueio na produção devido à quebra de ativos. Isso pode resultar na interrupção de processos, causando atrasos na linha de produção e danos de proporções mais amplas. Este é um tipo de manutenção caro porque interrompe a linha de produção e tem alto custo no

reparo com peças. Neste caso, um indicador importante para medir a eficiência da atuação corretiva é o tempo médio para reparo MTTR²⁷ (*mean time to repair*, em inglês).

GRÁFICO 24 – AS DIFERENTES FORMAS DE ANTECIPAÇÃO À FALHAS EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS



Fonte: (LLK – Engenharia de Produção, 2018).

- Soluções preventivas: formas de reparo que seguem um plano de trabalho pré-definido por critérios técnicos. Representa, de modo geral, uma intervenção programada com o objetivo de antecipar uma falha ou defeito, que ocorre por meio de cronogramas de inspeções sistemáticas.
- Soluções preditivas: processos que indicam as condições de funcionamento, desgaste e degradação de máquinas e equipamentos. Estes dados são coletados e tem como objetivo indicar o tempo de vida útil dos referidos ativos. Deste modo, a equipe técnica trabalha na

²⁷ MTTR: Métrica utilizada para reconhecer e testar o impacto das operações de recuperação de ativos. Esta métrica é utilizada para mensurar a causa e efeito entre parâmetros de recuperação e apresentar respostas sobre desempenho e tempo de recuperação de determinada máquina ou equipamento (KONG e MORENO, 2019).

parametrização de variáveis em busca de melhor desempenho das máquinas e equipamentos, com base nos *setups* desses ativos.

- Soluções prescritivas: envolvem combinações de análise, experimentos, simulação e inteligência artificial para melhorar a eficácia da tomada de decisões e antecipar falhas em equipamentos e processos de produção. Este conceito surgiu em decorrência das possibilidades oferecidas pelas novas TICS. Esta nova forma de monitoramento e previsão está relacionada com as soluções da Indústria 4.0 e associada à ISO 55000:2014²⁸.

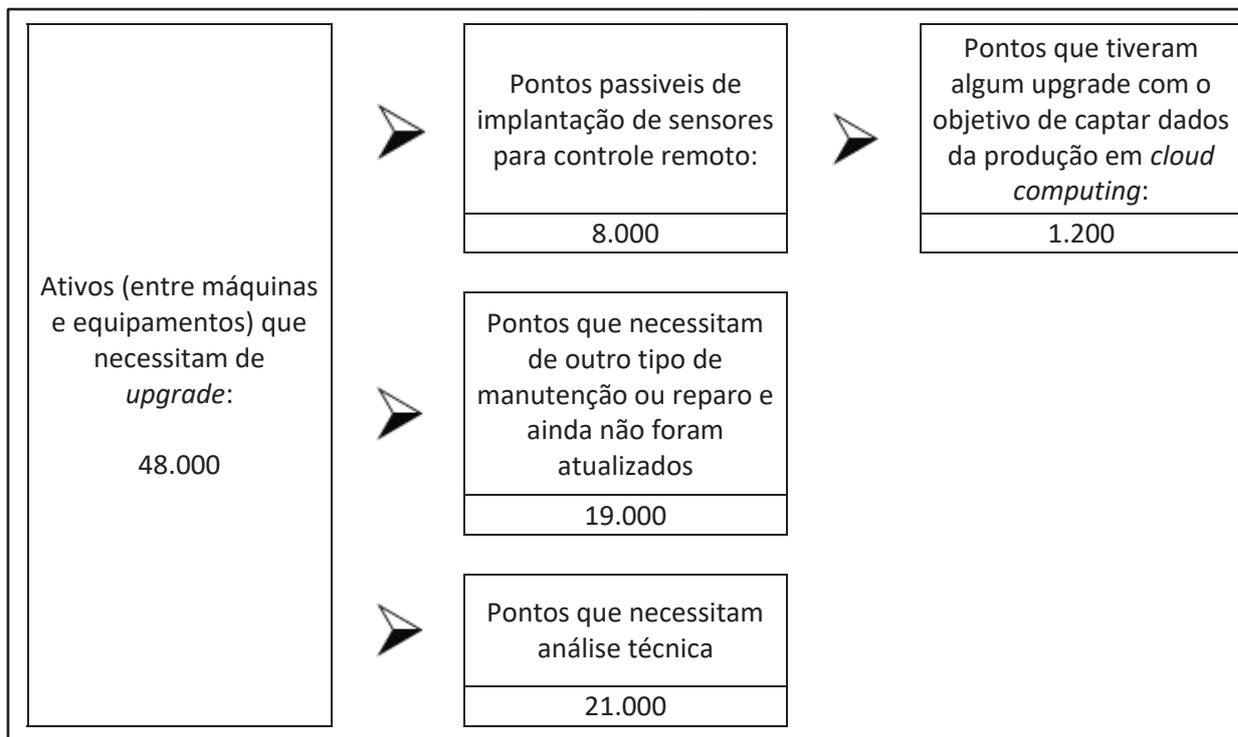
As soluções técnicas para a implantação destas etapas envolvem, em linhas gerais, a captação e posterior mineração de dados para a garantia e estabilidades nas etapas de produção. Os ganhos com os avanços prescritivos envolvem, além da antecipação às falhas e interrupções, uma certa independência no trabalho contínuo das máquinas. A visualização em tempo real das etapas de produção aumenta também os níveis de segurança da firma. No entanto, para o desenvolvimento destas tecnologias existe a necessidade do estabelecimento de parcerias com fornecedores e universidades. Os detalhes para a construção de soluções prescritivas e preditivas serão apresentados na próxima subseção.

6.2.2 As principais demandas e as tecnologias implementadas nas etapas de produção na Firma BR

A ampliação do sensoriamento remoto nas seções de prensagem, secagem, calandragem e enroladeira representa uma necessidade no chão de fábrica, conforme identificado no trabalho de campo. Isso impacta as transformações ocasionadas pela Indústria 4.0 e cria um ambiente virtual para simulações e prototipagem para melhorias na produção. O Quadro 10 apresenta uma visão geral das principais demandas tecnológicas e das soluções já incorporadas.

²⁸ ISO 55000:2014 fornece uma visão geral da gestão de ativos, seus princípios e terminologia, e os benefícios esperados da adoção da gestão de ativos (ISSO, 2014).

QUADRO 10 – TICS QUE NECESSITAM DE UPGRADES NA FIRMA BR



Fonte: O autor (2022)

Cabe ressaltar que, apesar da firma apresentar característica de verticalização em seus produtos, ou seja, produz tanto celulose quanto diferentes tipos de papéis, a análise foi direcionada somente para a produção de papel-cartão. Isso está relacionado com a estratégia da firma para atender a demanda crescente em produtos com maior valor agregado na produção de diferentes tipos de embalagens. A descrição detalhada dos pontos para a implantação de sensores será apresentada nas subseções seguintes.

6.2.2.1 Análise de vibração

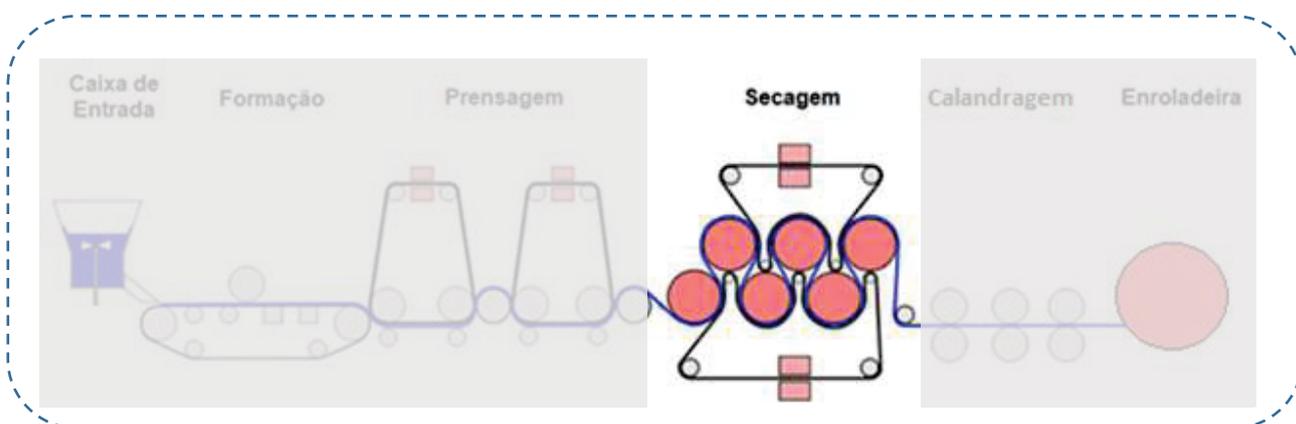
O princípio desta análise está fundamentado no conceito de que essas estruturas são estimuladas por esforços dinâmicos e geram sinais vibratórios (MMTEC, 2020). A análise permite identificar falhas como: desbalanceamento de massa, desalinhamento e empenamento de eixos, desgaste de rolamentos, desgaste de engrenagens, problemas estruturais, folgas, entre outros (TRACTIAN, 2021).

A configuração dos dispositivos ocorre com o posicionamento de captadores de vibrações (sensores) em pontos específicos da máquina. Estes dispositivos captam

os níveis de vibrações e enviam os dados para uma base remota. A partir disso, é possível detectar a origem dos esforços presentes em uma máquina quando está em operação, bem como o grau de desgaste que pode resultar em danos ou quebra de equipamento (MMTEC, 2020). No caso da máquina analisada, a necessidade de controle de vibração é direcionada para um equipamento chamado turbo gerador, que é utilizado para a geração de energia em todas as etapas de produção. No entanto, a etapa de secagem (FIGURA 21) é onde ocorre a maior incidência de problemas relacionados à vibração e desgaste dos equipamentos. Agentes como temperatura elevada e os jatos de vapor utilizados nesta etapa são responsáveis por problemas na produção.

Essa é uma necessidade específica que só pode ser solucionado com uso de micrometria, o que implica a instalação de sensores para o controle de vibração. Especificamente, o equipamento que deve ser submetido ao controle via sensoriamento remoto é o mancal de rolamento²⁹ (FIGURA 22). A instalação de micrômetros³⁰, que são utilizados para esse tipo de aferição, é necessária para identificar movimentações aleatórias que podem danificar o turbo gerador.

FIGURA 21 – VISÃO GERAL DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO DE PAPEL-CARTÃO



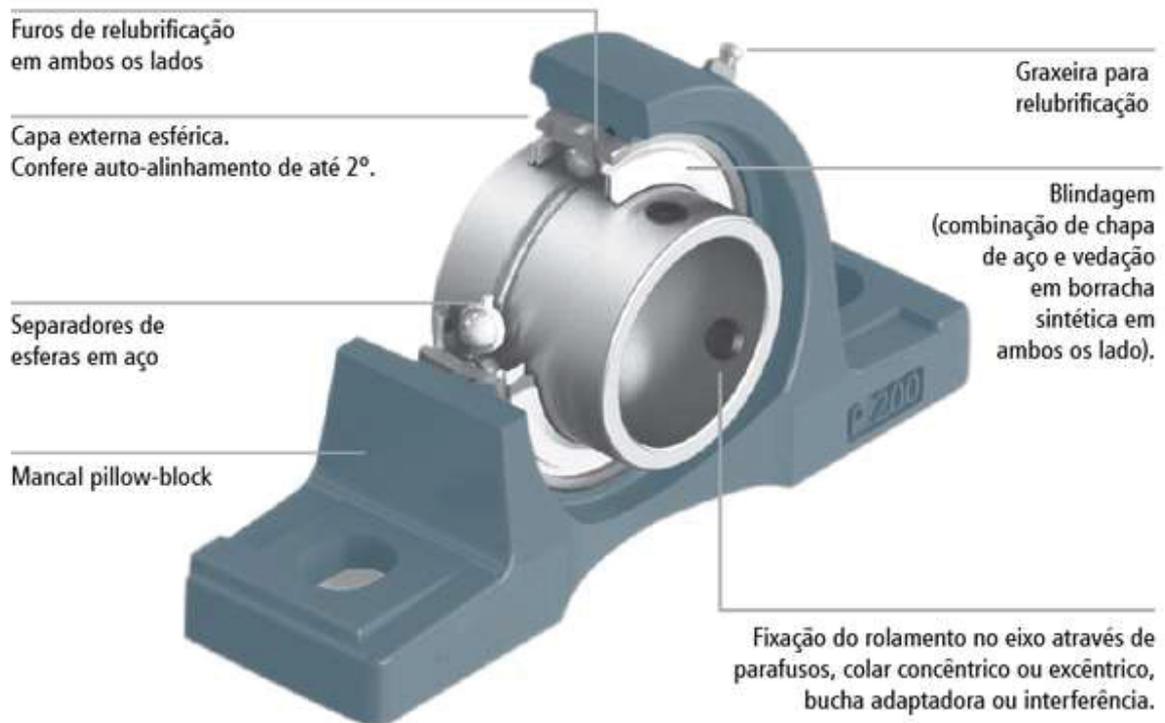
Fonte: Peng (2007).

²⁹ Dispositivo mecânico fixo, em geral em ferro fundido ou aço. Este equipamento é indicado para projetos que necessitam de maior velocidade e menor atrito, geralmente acoplados a motores elétricos. Este equipamento é projetado para suportar cargas aplicadas a um eixo giratório. A principal função é servir como uma espécie de apoio e eixos rotatórios para a propulsão de outros dispositivos (ABECOM, 2020).

³⁰ Instrumento de medição com grande nível de acurácia. As dimensões lineares são aferidas em micrômetros, que representa a milionésima parte do metro (FOCUS METROLOGIA, 2020).

Outra forma de coletar essas vibrações é com o uso do acelerômetro³¹, que mede o deslocamento, a velocidade e aceleração do ativo nos 3 eixos (X, Y, Z). O dispositivo também apresenta uma alta frequência de coleta e sensibilidade, permitindo o uso em ativos com altos RPMs e coletando as vibrações mais discretas, criando os melhores padrões (TRACTIAN, 2021).

FIGURA 22 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO EQUIPAMENTO MANCAL DE ROLAMENTO



Fonte: FRM (2021).

Para o desenvolvimento da tecnologia customizada, a firma buscou um fornecedor nacional que desenvolveu uma solução em parceria (ENGENHEIRO-A). Este foi um exemplo de parceria entre a firma e um fornecedor de tecnologias para a Indústria 4.0, que foi realizada por meio de uma chamada aberta e resultou em um produto inovador que não estava disponível no mercado. Isso pode representar um caminho a ser percorrido dentro das oportunidades que as novas tecnologias oferecem. A Figura 23 apresenta o sensor para controle dos níveis de vibração e na

³¹ Dispositivo eletromecânico que mede as forças de aceleração. Estas forças podem ser estáticas, como força da gravidade ou dinâmicas, causadas pela movimentação ou vibração do acelerômetro (IMOBILIS, 2013).

Figura 24 é apresentado o sensor já instalado na etapa de secagem das folhas de papel-cartão.

FIGURA 23 - EXEMPLO DO SENSOR DESENVOLVIDO PARA CONTROLE DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO



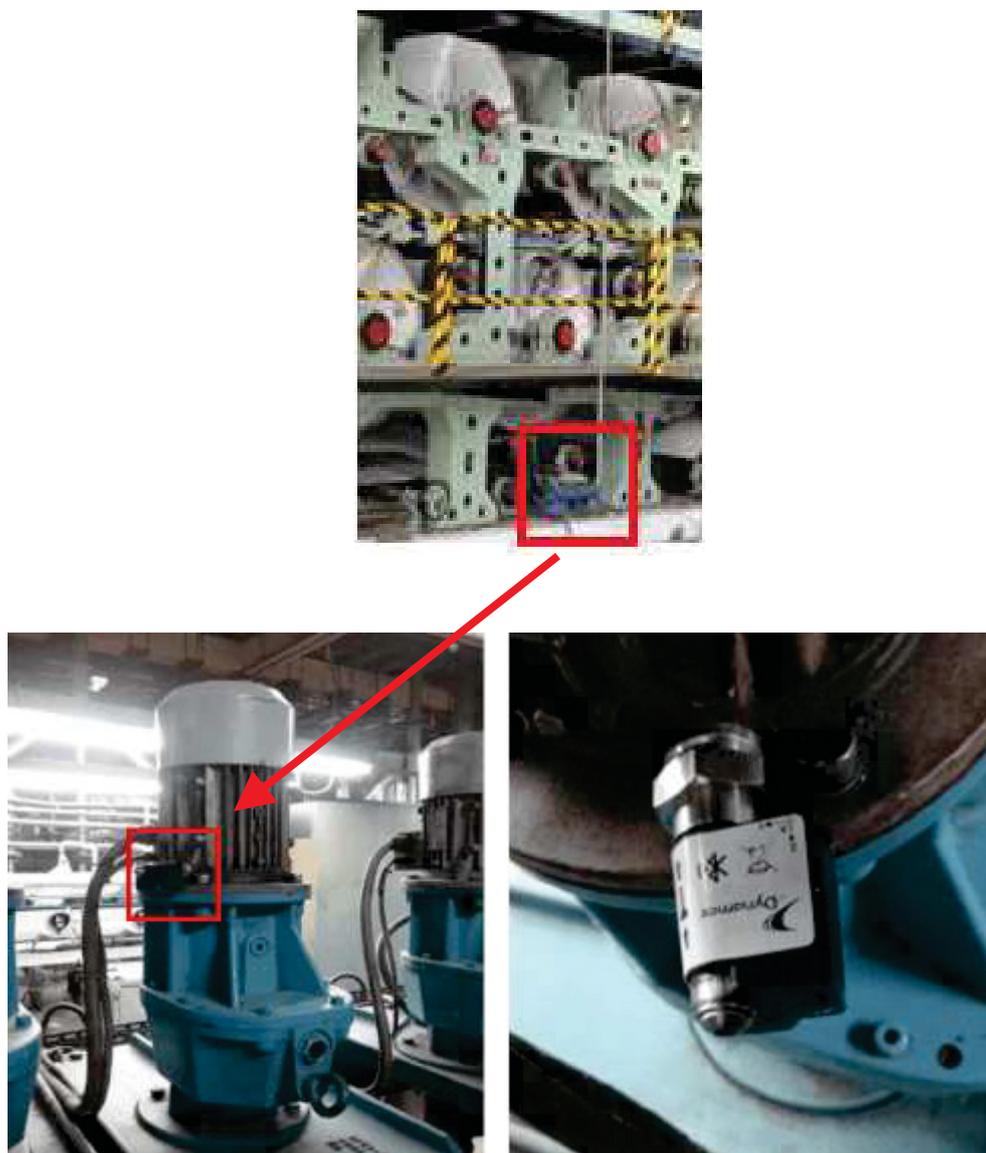
Fonte: Elaboração própria com base na coleta de campo.

A compreensão mais detalhada sobre o desenvolvimento deste produto foi possível a partir da entrevista com o Fornecedor-A. Em relação às características do fornecedor, a firma é uma *startup* que foi criada há 7 anos para trabalhar com tecnologias voltadas para o controle de vibração e acústica, especificamente com a produção de aparelhos auditivos. No entanto, em decorrência das demandas apresentadas pelos setores de celulose, papel e mineração, a firma, em parceria com um laboratório de pesquisa em vibração e acústica de uma universidade pública, desenvolveu produtos *hardware* e *software* para atender uma demanda da indústria nacional.

O fator determinante para a consolidação da parceria foi a possibilidade na customização e atendimento direcionado à demanda da Firma BR. Por outro lado, estas demandas são dificilmente atendidas por *players* fornecedores de TICS. Os grandes fornecedores identificados na pesquisa não oferecem aberturas para as referidas demandas. Estes são eventos muito pontuais e não fazem parte das estratégias dos *players* globais (FORNECEDOR-C). As questões de suporte técnico

também representam um obstáculo, pois em muitas situações, tanto para o desenvolvimento das soluções, quanto para o suporte, ocorrem com equipe técnica de outros países que são a sede destes *players*.

FIGURA 24 – SENSOR DE MONITORAMENTO DE MANCAL NA ETAPA DE SECAGEM

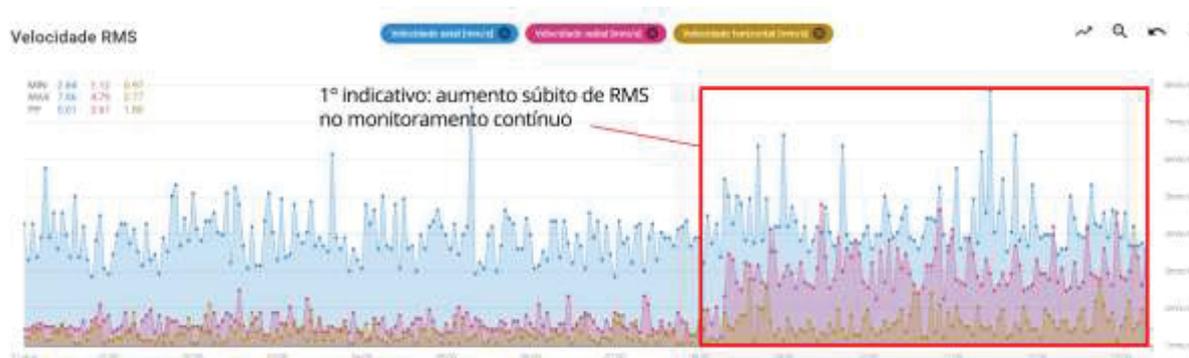


Fonte: Dynamox (2020).

Outro fator considerado positivo em relação à *startup* foi o tempo reduzido para a apresentação do produto. Após identificar a necessidade do cliente, as etapas

de desenvolvimento e testes foram concluídas em 6 meses e a solução foi apresentada (FORNECEDOR-A). No exemplo da análise de vibração, antes da solução incorporada, o controle era realizado de forma manual por meio de um equipamento instalado e com captura de dados realizada mensalmente no local da inspeção. No caso do produto desenvolvido, o sensor é fixado na máquina e o monitoramento é realizado de forma constante (a cada 10 minutos) com registro dos últimos 5 anos nas medições. O controle de monitoramento por meio dos sensores é apresentado no Gráfico 25. Nesta análise, pequenos gradientes e aumentos súbitos de oscilações podem ser observados. Ferramentas, como a média móvel, podem ajudar na visualização da tendência dos dados coletados, suavizando pequenas variações e evidenciando as grandes (DYNAMOX, 2020). De modo geral, os *gaps* identificados na etapa de secagem já foram incorporados com o uso de sensores. No entanto, as possibilidades de implantação de novas tecnologias seguem com a transmissão, registro e tratamento de dados. Para isso, existe a necessidade de soluções voltadas para a computação em nuvem e inteligência artificial.

GRÁFICO 25 – MONITORAMENTO CONTÍNUO DE VIBRAÇÃO PARA DETECÇÃO DE ANOMALIAS



Fonte: Dynamox (2020).

Em relação a análise de vibração, cabe destacar que as tecnologias da Indústria 4.0 abriram possibilidades para parcerias entre a indústria e fornecedores nacionais que, devido à facilidade de acesso, suporte e baixos custos podem completar essa lacuna tecnológica. Outro ponto a ser observado nesta parceria é que os produtos finais que resultaram desta inovação geraram oportunidades que foram difundidas para outros setores. Isso significa que novos conhecimentos podem ser

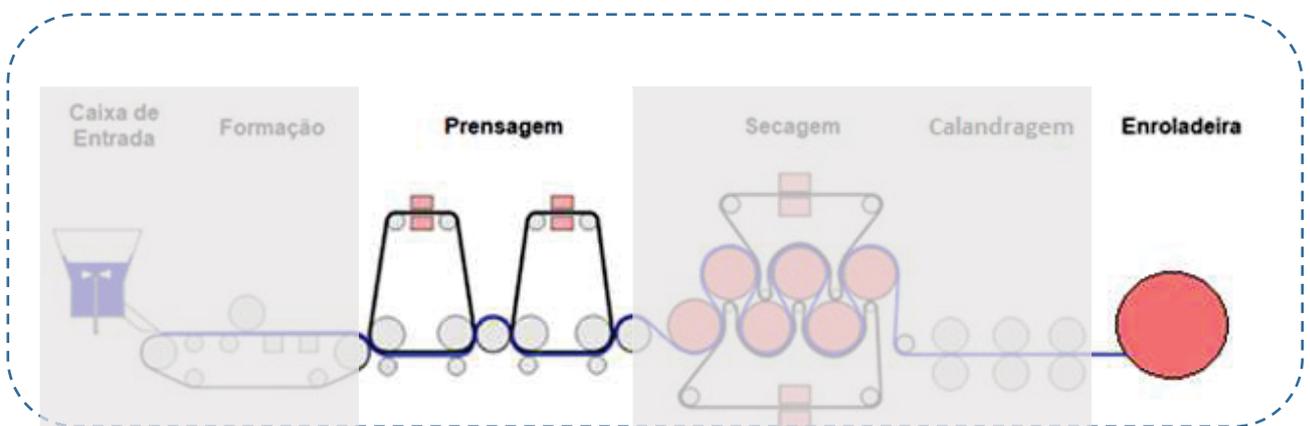
incorporados em diferentes produtos e mercados, aumentando a abrangência do sistema de inovação. A próxima subseção apresenta outra possibilidade de incorporação tecnológica.

6.2.2.2 Análise de trincas por partículas magnéticas e medição de espessuras

As aferições técnicas, nestes dois casos, têm como objetivo detectar descontinuidades superficiais e internas em materiais ferromagnéticos e identificar a espessura de materiais metálicos. No primeiro caso, a análise é realizada por meio de ensaios por partículas magnéticas. Este método é aplicado com base na geração de um campo magnético que percorre toda a superfície do material que será analisado. As linhas magnéticas percorrem as estruturas de máquinas e equipamentos e ao detectar uma descontinuidade superficial ou internas, criam uma região com polaridade magnética altamente atrativa às partículas magnéticas (MMTEC, 2020).

Na medição de espessuras é possível identificar a densidade de materiais metálicos, PVC, teflon, entre outros, por meio de ensaio não destrutivo por ultrassom. Neste contexto, é importante destacar que os problemas em trincas em máquinas e densidade de materiais podem ocorrer em todas as etapas de produção, a partir da formação até o produto final na enroladeira. No entanto, os pontos principais onde ocorrem as falhas são as seções de prensagem e enrolamento, devido ao alto nível de atrito identificado nestas etapas (FIGURA 25).

FIGURA 25 – VISÃO GERAL DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO DE PAPEL-CARTÃO:
ETAPA DE PRENSAGEM:



Fonte: Peng (2007).

Para a detecção destas falhas são utilizados aparelhos como máquina portátil para a detecção de trincas (FIGURA 26) e um aparelho de ultrassonografia industrial (FIGURA 27).

FIGURA 26 – MÁQUINA PARA DETECÇÃO DE TRINCAS POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS



Fonte: Serv-end (2022).

Cabe ressaltar que a firma já dispõe desta tecnologia para diagnóstico de falhas. Os dispositivos são utilizados para a identificação de problemas internos e ocorrem somente como manutenção corretiva. Ou seja, o uso desta tecnologia permite identificar a falha depois que o equipamento já está danificado. Isso implica pontos específicos na produção que exigem aprimoramento, pois resultam sempre em intervenção técnica e interrupção na produção. Nesse sentido, a firma busca novas soluções para problemas desta natureza. Apesar da análise por ultrassonografia representar uma tecnologia relativamente nova, observa-se que existe a necessidade de soluções que antecipem as falhas, o que não ocorre nesta situação.

FIGURA 27 – PROCEDIMENTO TÉCNICO DE ULTRASSONOGRRAFIA INDUSTRIAL



Fonte: Utmaxx (2022).

Neste contexto, o aprimoramento das ferramentas tecnológicas está relacionado com uma das possibilidades dentro da Indústria 4.0. Para isso, a firma buscou também um fornecedor (Fornecedor-B) para o desenvolvimento de uma tecnologia específica para realidade mista³². Observou-se, diante das experiências e situações apresentadas, que as dificuldades identificadas neste caso específico foram encaminhadas para um grupo de trabalho e, após uma análise detalhada da demanda, a firma buscou fornecedores no mercado para a aquisição desta tecnologia.

A solução em desenvolvimento apresenta algumas características em relação

³² As três tecnologias imersivas possíveis em relação ao tema são descritas como: realidade virtual (VR – *virtual reality* em inglês), realidade aumentada (AR – *augmented reality* em inglês) e realidade mista (MR – *mixed reality* em inglês) (KAPLAN, *et al.*, 2020). A VR é constituída de cenários virtuais onde há interação com elementos virtuais. Por exemplo, os jogos de metaverso. AR trabalha em cenários reais, aumentando certas informações por meio de elementos virtuais e permitindo a interação com estes elementos. Como exemplo, é possível citar lojas de varejo que apresentam seus produtos por meio de rótulos interativos, que explicam e contam a história do produto. MR agrega funções de realidades virtual e aumentada e permite interações virtuais e reais, como simuladores de pista utilizados por pilotos de veículos, por exemplo.

a instalação e aplicabilidade. Um ponto a ser destacado se refere ao fato de que essas tecnologias são desenvolvidas, de forma geral, a partir de plataformas oferecidas por *players* dominantes. Neste caso, a Firma BR é cliente de um serviço de nuvem do mesmo *player* e a solução também é uma tecnologia fornecida pela *Microsoft*³³. Observa-se, neste exemplo, que o desenvolvimento de TICS em ambiente multiplataforma (*Power Platform – Microsoft*) facilita a integração de diferentes produtos dentro de um mesmo ambiente. Com isso, existe maior integração entre as ferramentas, o que reduz o tempo de desenvolvimento da solução. A tecnologia em desenvolvimento possibilita o diagnóstico e solução de problemas pontuais em equipamentos por meio de acesso remoto a manuais e vídeos explicativos, além de criar um ambiente que permite a simulação de manutenção no equipamento (FORNECEDOR-B).

O que se observa diante disso, é que o desenvolvimento desta solução está relacionado a uma tecnologia disruptiva fornecida por um *player* dominante. Assim, a dependência tecnológica que ocorre em relação às tecnologias dominantes, representa um importante fator na realidade da indústria tecnológica nacional, pois ocorre a dependência de capital e tecnologias importadas, conforme descrito no Capítulo 2 (FURTADO, 1988; BAMBIRRA, 1974). Isso também está relacionado aos elementos que representam o *core* da base industrial. Conforme descrito anteriormente, as tecnologias que compõem a base da inovação radical são formadas por grandes máquinas, equipamentos e plataformas tecnológicas e são dominadas por *players* estrangeiras.

Nesta relação não se observa a transferência de conhecimentos e tecnologias, mas sim, um vínculo de compra e venda entre firmas e fornecedores. Nesse caso, o que predomina são as “caixas-pretas” em relação às tecnologias protegidas por direitos proprietários e também, em relação às mudanças tecnológicas. O que se defende aqui, é que com os avanços das TICS da Indústria 4.0, se abre um ambiente de oportunidades relacionadas ao conjunto de soluções que integram conhecimento, criatividade e capacidades que podem ser desenvolvidas a partir de baixos investimentos. Isso pode ser acoplado às diferentes tecnologias já dominantes e abrem novas oportunidades de desenvolvimento de soluções incrementais.

De modo geral, os avanços das tecnologias na linha de produção podem ser,

³³ Microsoft HoloLens 2: dispositivo holográfico para mapeamento espacial em ambientes restritos e regulamentados (Microsoft, 2021).

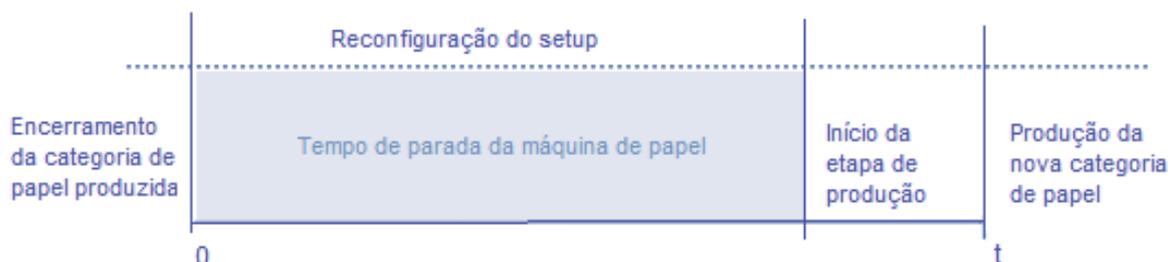
também, relacionados com diversas outras possibilidades dentro da Indústria 4.0. As próximas seções apresentam as relações entre as novas tecnologias com as demandas da Firma BR. As principais possibilidades de mudanças tecnológicas identificadas na produção a partir desta análise foram a busca por maior agilidade no processo de configuração de máquinas (*setups* automatizados), as tecnologias voltadas à computação em nuvem e o desenvolvimento de softwares com base em inteligência artificial. As incorporações destas tecnologias foram identificadas como necessidades emergenciais para as etapas de produção.

6.2.2.3 *Setups* automatizados

A implantação de “*setups* inteligentes” em máquinas de papel se refere às alterações nas configurações de parâmetros e variáveis de forma automatizada, de acordo com as categorias do papel. A partir desta tecnologia, é possível alterar as diferentes variáveis sem interrupções na produção. Essas tecnologias representam avanços em diferentes segmentos da indústria, que necessitam de mudanças contínuas na configuração de máquinas. As ferramentas utilizadas para indexação de variáveis são construídas com base em IoT e inteligência artificial, reduzindo, de forma significativa, o tempo de inatividade da máquina na preparação de novos produtos.

Uma metodologia utilizada para a programação de *setups* é a *Single-Minute Exchange of Die* (SMED) e envolve a redução do tempo necessário para execução da operação da máquina por meio de reprogramação automatizada do *setup* da máquina (SILVA e GODINHO FILHO, 2019). O Gráfico 26 apresenta a sequência de um sistema autônomo de orientação de *setup*.

GRÁFICO 26 – RECONFIGURAÇÃO AUTOMÁTICA DE *SETUP*



Fonte: adaptado de COSTA (2019).

Essa técnica possibilita o desenvolvimento da ferramenta “sem *setup*” em softwares de gerenciamento instalados nas centrais de comando das máquinas (PETRILIN, 2020). Assim, é possível otimizar diferentes processos e reduzir os custos de produção, bem como reduzir os tempos de ociosidade das máquinas. De modo geral, este é um recurso que pode ser adaptado em qualquer dispositivo eletromecânico.

No caso da máquina analisada para a produção de papel-cartão, os parâmetros passíveis de alterações são: espessura, densidade, refino, camadas de tinta, procedimentos químicos, entre outros e são reconfigurados para atender diferentes produtos e clientes. As configurações são implantadas em todas as etapas de produção e resultam no tipo e categoria do produto final. A Figura 28 apresenta o exemplo de *setup* automatizado em uma máquina de papel onde ocorre a configuração e otimização das principais funções do referido ativo.

FIGURA 28 – EXEMPLO DE UM SISTEMA DE *SETUP* AUTOMATIZADO



Fonte: ABB (2020).

As implicações destas mudanças técnicas de forma automatizada são relacionadas com o tempo destinado para atualização do *setup* que em alguns casos pode demandar até 4 horas, ocasionando interrupções, atrasos e perdas na produção. A conexão da central de processamento da máquina com uma base de dados na nuvem por meio de um software “inteligente”, permite a análise e alterações das

variáveis em tempo real, bem como medições nos níveis de produção e qualidade do produto. Isso possibilita uma análise preditiva da máquina e aperfeiçoa o mapeamento das etapas de produção. Este exemplo de demanda foi identificado como mais uma possibilidade de inovação na firma e pode ser desenvolvido por fornecedores nacionais, pois não está diretamente relacionado com tecnologias proprietárias e sim com tecnologias que integram *software* e *hardware*. As ferramentas descritas na próxima seção podem complementar as possibilidades tecnológicas na linha de produção.

6.2.2.4 Computação em nuvem e inteligência artificial

Os serviços de computação em nuvem possibilitam, além do armazenamento e segurança de dados, o tratamento por meio de mecanismos para mineração e interpretação destes dados (SUHERMAN e SIMATUPANG, 2017; JAYASRI, *et al.*, 2017). Neste contexto, é importante destacar que a Firma BR optou por serviços de *Azure*³⁴ da *Microsoft*, em decorrência dos baixos custos oferecidos para a contratação de equipamentos e infraestrutura. Essas plataformas de *players* consolidados podem, também, fornecer serviços de segurança e criptografia com custos menores.

No entanto, essa escolha pode não justificar a terceirização dos ativos não-tangíveis da firma. Nesse sentido, manter um repositório de dados internos está associado à transparência em relação às formas de alocação, protocolos, estruturas de armazenamento e acesso dos dados. Essas práticas também podem ser consideradas como estratégias tecnológicas. Além disso, o controle e propriedade dos dados, somados a composição de uma equipe multidisciplinar de ciência de dados, podem representar novas formas de política de segurança interna e diferencial competitivo da firma.

As inovações agregadas a esse cenário podem ser integradas ao conceito de inteligência artificial. As soluções desta natureza demandam técnicas de data mining para seleção e aprimoramento de dados nas bases de registros gravados. Entretanto, é necessário ressaltar que todas as ações que envolvem a integração da computação

³⁴ Plataforma destinada à execução de aplicativos e serviços, baseada nos conceitos da computação em nuvem. Os serviços abrangem inteligência artificial (machine learning, IoT, segurança e criptografia de dados, entre outros (MICROSOFT, 2021).

em nuvem com diferentes tecnologias encontram-se em estágios iniciais na firma e dependem de aprimoramento e capacitação da equipe interna.

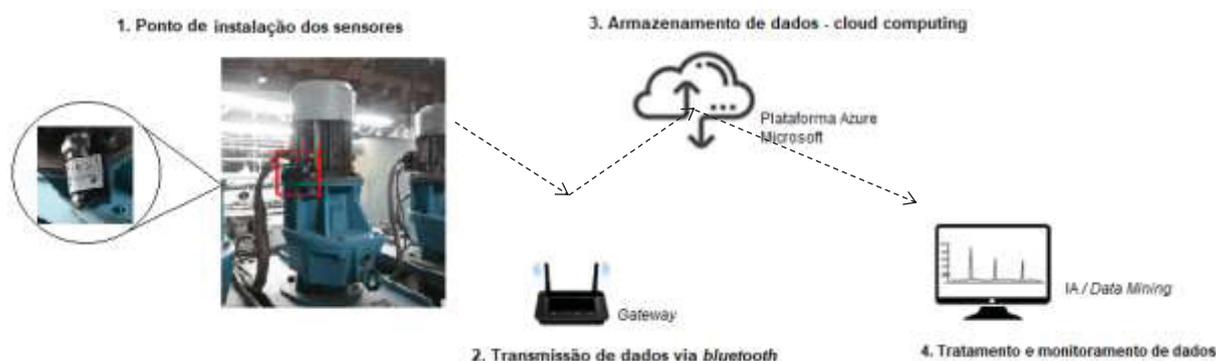
A demanda, neste caso, é atendida por meio de parcerias com empresas de menor porte. As soluções identificadas, que integram inteligência artificial e repositório de dados, possibilitaram a compreensão de como ocorre a incorporação das tecnologias no controle e monitoramento de processos. Como exemplo, é possível citar os Sistemas Avançados de Processos (SPC - *systems process control*, em inglês) que representam estratégias de controle multivariável para controladores autônomos. Estas estratégias são capazes de customizar as operações dos processos e garantir a eficiência para os principais pontos de operação na linha de produção (ZANOLI, *et al.*, 2018). Outra tecnologia verificada e que se encontra em fase de incorporação na firma é o modelo para manutenção, reparo e revisão (MRO - *maintenance, repair and overhaul*, em inglês) utilizado para avaliar o processo de qualidade na planta industrial por meio de data mining (KAMILI, *et al.*, 2020). Este modelo opera por meio de simulações pré-definidas em busca de informações mais acuradas para a tomada de decisão e desenvolvidas com uso de realidade mista.

As tecnologias identificadas são possibilidades que podem ser exploradas como forma de inserir a linha de produção no cenário da Indústria 4.0. No entanto, alguns pontos exigem ajustes e aprimoramento. A próxima seção trata destes pontos analisados como centrais para a melhoria das TICS no chão de fábrica da firma.

6.2.3 Possibilidades de melhorias identificadas na linha de produção

As principais demandas tecnológicas identificadas são voltadas para o controle e diagnósticos dos processos de produção. Para isso, os dados de produção são coletados de máquinas e equipamentos por meio de sensores e encaminhados por meio de espectros de radiocomunicação para uma base de dados remota. Na etapa seguinte, ocorre o tratamento desses dados para a emissão de indicadores (gráficos) sobre o desempenho dos referidos ativos e das rotinas de produção. A Figura 29 apresenta a sequência dos dados que têm origem na linha de produção, até a etapa de análise e monitoramento final.

FIGURA 29 – CAPTURA E TRANSMISSÃO DE DADOS NA LINHA DE PRODUÇÃO DA FIRMA BR



Fonte: Adaptado de Dynamox (2020)

Para a transmissão de dados na sequência descrita, o sinal usado é o *bluetooth*. Isso pode representar um problema e até mesmo o impedimento para futuras expansões tecnológicas.

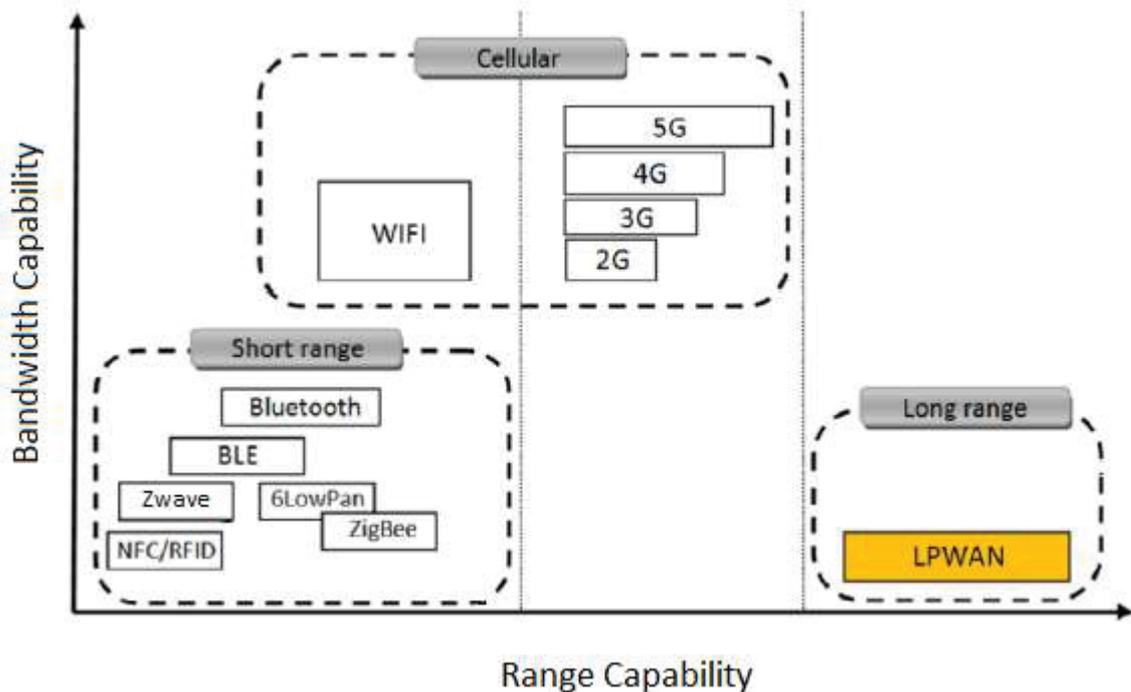
As aplicações direcionadas para conexão entre sensores e dispositivos (base da IoT) demandam requisitos específicos como longo alcance, baixa taxa de dados, baixo consumo de energia e custo-benefício. Para atender estas demandas, existe a necessidade de transmissão de dados por meio de redes específicas como a LPWAN (*Low Power Area Network*)³⁵, por exemplo (MEKKI et al., 2019). Algumas tecnologias de curto alcance, como *bluetooth*, podem apresentar limitações em sinais transmitidos, principalmente em ambientes que necessitem de protocolos de segurança e áreas maiores de cobertura de sinal. Segundo Rondón *et al.* (2020) e Vaidya e Vishwakarma (2018), a versão mais recente do *bluetooth* (BLE - *Bluetooth Low Energy*, em inglês) pode fornecer dados com taxas de transmissão de 24 Mbps e faixa de cobertura de 70-100 metros (ainda restrita em termos de amplitude). Em relação à eficiência energética, este *update* oferece avanços em relação às versões mais antigas. No entanto, a acurácia para localização é baixa e pode ocorrer, também, interferências em decorrências de ruídos nas transmissões.

Outras soluções criadas para comunicações por meio de celulares (por

³⁵ Rede de telecomunicação de longa amplitude e baixa taxa de bits para a conexão entre sensores e dispositivos eletrônicos (MEKKI, 2019).

exemplo, 2G, 3G e 4G) podem proporcionar uma maior cobertura, mas consomem energia excessiva de dispositivo. O Gráfico 27 apresenta a comparação entre tecnologias *wireless*.

GRÁFICO 27 – COMPARAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS WIRELESS



Fonte: MEKKI (2019).

Diante disso, observa-se que as soluções para tecnologias de IoT necessitam de maior grau de confiabilidade em relação a resistência, ausência de ruídos, e proteção a interferências na faixa de frequência (RONDÓN *et al.*, 2020; MEKKI *et al.*, 2019). Algumas considerações sobre as tecnologias de transmissão de dados podem ser apresentadas como:

- SigFox: é uma operadora de rede LPWAN que fornece uma solução de conectividade de ponta a ponta em IoT com base em suas tecnologias patenteadas. Com base nesta tecnologia, as estações para transmissão proprietárias com base em antenas de rádio são conectados a servidores de *backend* usando uma rede baseada em IP. As taxas de transmissão são baixas (aproximadamente 100 bits por segundo) e de longo alcance (até 13 km), com comunicação com baixa interferência de ruídos e baixo consumo de energia. Os dispositivos finais são conectados a estas estações

de rádio base, usando a modulação BPSK (*Binary Phase-shift Keying*)³⁶ em uma banda ultra-narrow (100 Hz) e banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*)³⁷, sem licença. Isto simplifica o projeto do dispositivo final e reduz seu custo (MEKKI *et al.*, 2019; MROUE *et al.*, 2018; VEJLGAARD *et al.*, 2017).

- LoraWan: é uma tecnologia de camada física que modula os sinais na banda ISM utilizando uma técnica proprietária de espectro espalhado. Como a Sigfox, a LoRa utiliza bandas ISM não licenciadas, ou seja, 868 MHz na Europa, 915 MHz nas Américas, e 433 MHz na Ásia. A comunicação bidirecional é fornecida pela modulação *Chirp Spread Spectrum (CSS)*,³⁸ que possibilita uma maior amplitude na cobertura de sinal. O sinal originado desta modulação apresenta baixos níveis de ruído, permitindo alta resistência a interferências. Outros aspectos importantes são a segurança, dificultando o rastreamento do sinal e com níveis de segurança que impedem o bloqueio do sinal e a combinação entre as faixas de comunicação de geoprocessamento e Lora, que permite alcançar a acurácia a localização de dispositivos, incluindo os que se encontram em movimento (MEKKI, 2019, VEJLGAARD *et al.*, 2017).

- NB-IoT: *Narrow Band - IoT* é um padrão de tecnologia de conectividade sem fio desenvolvido pelo 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*)³⁹, apresentada em junho de 2016. NB-IoT pode coexistir com bandas de frequência licenciadas para transmissão de celular. Assim, esta tecnologia permite a conexão entre diferentes dispositivos que operam em bandas com frequências distintas. No chão de fábrica, a exigência de monitoramento de máquinas em tempo real, bem como a necessidade de controle remoto para melhorar a eficiência demandam tecnologias com essas características de conectividade. A Tabela 1 apresenta um resumo das principais características das tecnologias para IoT (MEKKI, 2019).

³⁶ Técnica de modulação digital que oferece melhor desempenho em termos de taxa de erro de bits nos sistemas de potência limitada (VEJLGAARD *et al.*, 2017).

³⁷ As faixas de frequência ISM são bandas reservadas internacionalmente para o desenvolvimento Industrial, científico e médico (VEJLGAARD *et al.*, 2017).

³⁸ Tecnologias para a dispersão de espectro que usa pulsos de chirp modulados em frequência linear de banda de transmissão para codificar informações (MEKKI *et al.*, 2019).

³⁹ Associação que reúne diversos órgãos normativos de comunicações em nível global (MEKKI, 2019).

TABELA 1: VISÃO GERAL DAS TECNOLOGIAS LPWAN: SIGFOX, LORAWAN E NB-IOT

	Sigfox	LoRaWan	NB-IoT
Modulação	BPSK	CSS	QPSK
Largura de Banda	100 Hz	125 kHz a 250 kHz	200 kHz
Taxa de dados (transf)	100 bps	50 kbps	200 kbps
Bidirecional	Limitado	Sim	Sim
Cobertura	13 Km	11 Km	15 Km
Imunidade na interferência	Sim	Sim	Sim
Autenticação e criptografia	Não suportado	Sim (AES 128b)	Sim (criptografia LTE)
Permite rede privada	Não	Sim	Sim
Padronização	Sigfox network	Lora-Alliance	3GPP
Espectro/frequência	Não licenciado	Não licenciado	Licenciado
Topologia	Estrela	Estrela	Estrela

Fonte: MEKKI (2019) tradução própria.

Outro ponto que merece destaque está relacionado com as questões de segurança de dados e sistemas. Diante das vulnerabilidades que existem na transmissão de dados via *bluetooth*, em decorrência de que esta tecnologia foi desenvolvida para atender uma interface homem-máquina e não aplicações industriais. Isso exige ações que proporcionem o aumento de segurança digital. Nesse sentido, é possível afirmar que não há definição de políticas internas de segurança para a transmissão interna de dados na Firma BR. Alguns pontos de vulnerabilidade observados podem resultar em diagnósticos incorretos em relação à vida útil do equipamento ou mesmo na imprecisão em procedimentos automatizados e, como consequência, perdas na qualidade do produto final. Portanto, existe a necessidade de medidas que podem ser: i) Formação de uma equipe técnica especializada em cibersegurança; ii) Mudanças técnicas relacionadas ao espectro de transmissão de dados; iii) Transferência da base de dados da nuvem para um repositório interno. Neste cenário, é fundamental estabelecer uma política de segurança para o desenvolvimento de uma base de segurança. Isso implica diretamente em novas possibilidades de produção de tecnologias nacionais ou internas da Firma BR.

O monitoramento de ativos em tempo real, somado à segurança e confiabilidade na transmissão de dados, requer tecnologias como Sigfox, LoRa e NB-IoT em detrimento de conexões via *bluetooth* que possuem alcance limitado, taxa de transferência reduzida de dados (24 Mbits/s) e protocolos de emparelhamento

incompatíveis entre dispositivos. Nos processos de produção identificados, existem vários tipos de sensores e requisitos de comunicação. Além disso, existe a necessidade de comunicação em tempo real, garantia nos dados transmitidos para a base de dados e maior suporte para a solução de problemas. Neste caso, a NB-IoT pode significar a melhor solução entre as demais tecnologias (Sigfox e LoRa). Entretanto, as tecnologias Sigfox e LoRa podem representar custos mais baixos para instalação e manutenção. Espera-se que as tecnologias de 5G de comunicação móvel sem fio aumentem as possibilidades de sensoriamento remoto e comunicação entre dispositivos.

As características heterogêneas dos sistemas, máquinas e aplicações industriais, demandam a construção de uma robusta estrutura de armazenamento e tratamento dos dados na Firma BR. Conforme detalhado anteriormente, a possibilidade de implementação de um banco de dados interno pode facilitar o desenvolvimento de soluções para mineração de dados captados de máquinas e equipamentos. Isso pode facilitar a incorporação de diferentes soluções como *setups* automatizados e *business intelligence* (BI) e por meio do desenvolvimento de aplicações de inteligência artificial. No entanto, no que se refere à produção de conhecimento com base nos dados coletados, ainda existem lacunas que necessitam de investimentos e implementação tecnológica. Em outras palavras, existe um arcabouço de dados que são coletados de máquinas e equipamentos no chão de fábrica, mas que necessitam de tratamento e refino para maior acurácia. Isso é possível com uso de ferramentas de inteligência artificial e que podem ser desenvolvidas internamente. Diante disso, a ampliação da área de mineração de dados para maior cobertura e coleta desses dados possibilitará o melhor monitoramento dos ativos.

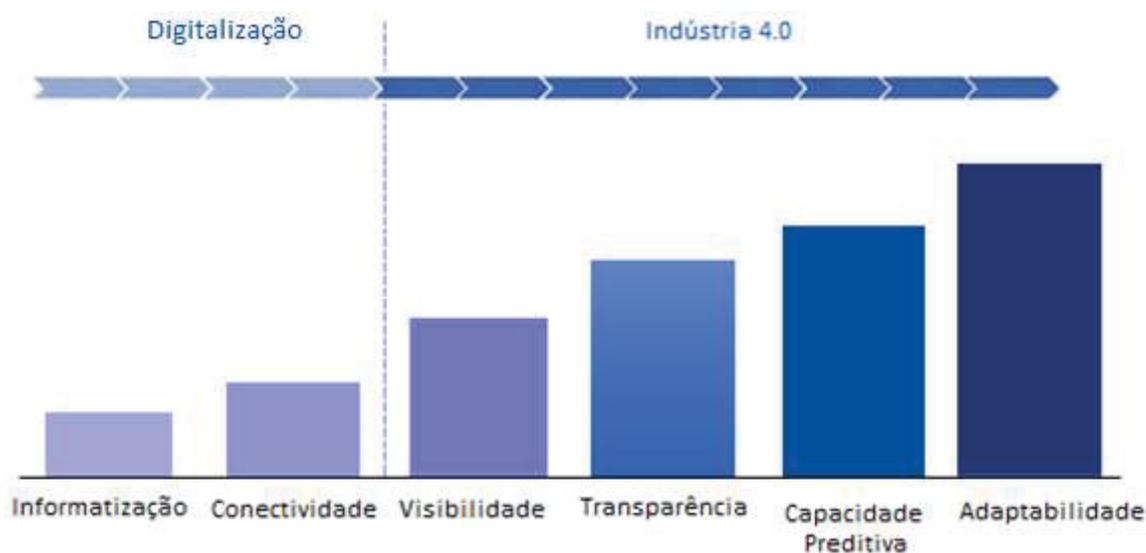
Em síntese, as tecnologias da Indústria 4.0 que são passíveis de incorporação na produção de papel-cartão da Firma BR, são associadas ao desenvolvimento de TICS centradas na criatividade e inteligência e não em grandes investimentos em P&D. O amplo espectro de possibilidades envolve soluções que também podem ser produzidas por fornecedores nacionais, pois muitas das soluções voltadas para softwares de IA e mesmo condições de cibersegurança. A partir dos principais pontos identificados no chão de fábrica para a incorporação de novas TICS, o foco da análise foi direcionado para o grau de maturidade da firma. Neste cenário, os diferentes níveis de desenvolvimento tecnológico foram analisados e organizados conforme as etapas

de implantação da Indústria 4.0. A análise e identificação dos níveis de maturidade da Firma BR são apresentados na próxima seção.

6.3 DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E O GRAU DE MATURIDADE DA FIRMA

A análise das estratégias e do grau de maturidade da firma foi realizada com base no modelo Acatech (SCHUH *et al.*, 2020), que apresenta diferentes níveis de desenvolvimento e organização das etapas para implantação de TICS da Indústria 4.0 (GRÁFICO 28). O modelo elaborado pela Academia Nacional de Ciências e Engenharia da Alemanha - Acatech é adotado para análise da maturidade da Indústria 4.0 em grandes *players* de manufatura no mundo e, além disso, é também o modelo de referência de *players* fornecedores de máquinas, equipamentos e TICS para a análise do nível de maturidade de clientes (WEG, 2022).

GRÁFICO 28 – NÍVEIS DE DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA 4.0



Fonte: Schuh *et al.* (2020).

A metodologia é estruturada em uma sucessão de níveis de desenvolvimento e organizada em etapas de transformação que iniciam com os requisitos para implantação tecnológica até níveis de automação e integração de sistemas (SCHUH *et al.*, 2020). A identificação de cada uma destas etapas auxilia na compreensão dos

estágios em relação aos avanços tecnológicos da firma e são apresentadas no Quadro 11.

QUADRO 11 – MODELO ACATECH PARA ANÁLISE DOS NÍVEIS DE MATUREZA DA FIRMA

Níveis	1 Informatização	2 Conectividade	3 Visibilidade	4 Transparência	5 Previsibilidade	6 Adaptabilidade
Objetivos	Automatizar tarefas manuais repetitivas	Integrar processos e sistemas de TI	Buscar recursos para a tomada de decisões com base em dados	Desenvolver mecanismos de interações complexas em dados obtidos dos processos de produção	Antecipar condições futuras	Desenvolver rotinas “inteligentes” para controle de processos com base em IA
Ações	Incorporação de processos de automação industrial na linha de produção	Conexão e integração de processos	Sensoriamento remoto e <i>Digital Twin</i>	Aprimoramento de análise de dados e processos de causa-efeito	Simulação e antecipação de cenários futuros para o aprimoramento da tomada de decisões	Sistemas são incorporados e adaptados em processos autônomos

Fonte: Schuh *et al.* (2020).

O modelo proposto apresenta a trajetória de desenvolvimento das novas tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 e inicia com a informatização e conectividade, que são requisitos básicos para a sua implementação. Essas duas etapas iniciais são seguidas por outras quatro fases, nas quais as capacidades necessárias para a Indústria 4.0 em nível incremental são implementadas. As subseções seguintes detalham a análise do nível de maturidade da Firma BR, de acordo com o modelo Acatech.

6.3.1 Os processos iniciais de digitalização: informatização e conectividade

Nesta etapa as diferentes tecnologias de informação são utilizadas de forma isolada. Para Schuh *et al.* (2020), as empresas nesta fase normalmente possuem uma

estrutura organizacional tradicional voltada para o funcionamento eficiente dos departamentos individuais. Neste contexto, a mudança e a inovação não são definidas como uma estratégia competitiva da firma. Algumas características desta primeira fase de desenvolvimento se referem a falta de interface homem–máquina, a repetição de rotinas semi-automatizadas na linha de produção e o uso de ferramentas “isoladas”, como planilhas de controle industrial sem a integração com o sistema de gestão (SCHUH *et al.*, 2020).

Em linhas gerais, quando relacionado com o modelo Acatech, observa-se que a trajetória de desenvolvimento na Firma BR já avançou nas etapas de digitalização e conectividade de processos e sistemas. A informatização encontra-se na fase intermediária para avançada em relação a otimização de tarefas repetitivas na linha de produção. Especificamente, é possível destacar um procedimento que ocorre na etapa final na seção de enrolamento em bobinas jumbo. No sistema de produção atual, o controle da quantidade de papéis produzidos é realizado por meio de um sistema de controle numérico computadorizado já implementado na máquina. No entanto, na etapa seguinte, onde ocorre o corte do papel para atender as diferentes demandas do cliente, o papel é transferido para a máquina de corte de forma manual.

Nesta etapa final de produção, onde o papel segue para a fase de acabamento e embalagem e, posteriormente, para a etapa de expedição, as máquinas são automatizadas. No entanto, existe a falta de integração de algumas aplicações que não estão conectadas com o sistema SAP⁴⁰ da empresa. Isto pode levar, por exemplo, a uma situação onde não há garantias reais na captura e registro de dados pelo fato de faltarem a integração total das etapas de produção. O resultado pode ser a dificuldade para identificação de problemas e falhas na linha de produção.

De forma mais específica, os benefícios alcançados com a incorporação da informatização de processos individuais (Nível 1), é possível aumentar o grau de precisão e qualidade de produtos finais e redução nos custos de produção. O aperfeiçoamento neste nível envolve o desenvolvimento de uma interface digital para controle da produção, principalmente em máquinas com ciclos longos que são programadas de forma manual. Nesses casos, as atualizações são incorporadas para agilizar a troca de configurações de grandes máquinas.

⁴⁰ Systemanalysis Programmentwicklung, que, em Português, significa Desenvolvimento de Programas para Análise de Sistemas. É um software fornecido pela empresa alemã de mesmo nome que gerencia e controla o fluxo de dados e informações da firma (SAP, 2022).

Na fase de conectividade (Nível 2), a implantação isolada de produtos automatizados pode ser substituída por componentes conectados. As etapas de produção conectadas entre si produzem dados mais abrangentes sobre a produção. Cabe destacar que nesta fase, os níveis de conexão nas etapas não são contemplados de forma total, porém, fornecem requisitos importantes para os níveis seguintes (SCHUH *et al.*, 2020).

Nesta etapa, a atualização de protocolos de comunicação (*Internet Protocol - IP*), somados a incorporação de sensoriamento remoto no chão de fábrica, apresentam um importante avanço para a implantação de IoT. Diante dos aspectos observados nas etapas de produção, onde existe a necessidade de aperfeiçoamento das tecnologias de comunicação, percebe-se que é possível aumentar o grau de eficiência no desenvolvimento de produtos voltados para IoT. Uma forma de melhoria e aperfeiçoamento dos níveis de conectividade pode ser descrita com a reformulação automática em *setups* inteligentes, onde uma vez concluída a etapa de fabricação, a confirmação pode ser fornecida automaticamente e em tempo real para um sistema de gerenciamento remoto, que prepara a máquina para a próxima demanda de produção.

Outros exemplos observados se referem aos avanços na integração entre os processos industriais e o sistema de gestão da informação. Neste contexto, há o direcionamento de recursos para projetos que buscam a total substituição dos métodos tradicionais de fabricação de papel por sistemas automatizados. O aperfeiçoamento deste nível está na visibilidade que representa o avanço no grau de maturidade da firma em relação à Indústria 4.0 e será apresentado na próxima subseção.

6.3.2 A visibilidade como etapa inicial de incorporação da Indústria 4.0

A instalação de sensores em máquinas e equipamentos para o envio de dados para um repositório possibilita o diagnóstico de ativos em tempo real. Além disso, permite uma visão geral de todos os processos atualizados do chão de fábrica. Essa tecnologia é apresentada como *digital shadow* (Schuh *et al.*, 2020) e também é conhecida como *digital twin* e pode ser descrita como uma versão digital de um produto real de uma empresa. Em outras palavras, ocorre o controle dos ativos por

meio de monitoramento digital e, quando somado a tecnologia de realidade mista, “substitui” os ativos físicos, replicando-os digitalmente com todos os seus atributos. Assim, o arcabouço de diferentes tecnologias (sensores, realidade mista, computação em nuvem e inteligência artificial) possibilita a realização de testes para controle de desempenho em tempo real, simulando diferentes cenários (TOTVS, 2021). Os maiores desafios estão voltados para a integração total de dados entre diferentes plantas industriais e na segurança das bases de dados. Isso demanda investimentos e mudanças nas estratégias de gestão de dados e informações.

No que diz respeito ao nível de visibilidade na Firma BR, as ações identificadas são direcionadas para aumentar a amplitude de sensoriamento remoto. No entanto, no que se refere à produção de conhecimento com base nos dados coletados, ainda existem lacunas que necessitam de investimentos. Como exemplo, é possível destacar que os dados capturados são disponibilizados para um número limitado de colaboradores que detêm acesso aos sistemas de monitoramento e gestão. Nesse sentido, os avanços do nível de visibilidade estão relacionados com a capacidade de compreensão e acesso aos dados de produção para toda a equipe de produção. Isso possibilita uma visão geral e ampla de todos os pontos monitorados na produção e do resultado do produto final, após o tratamento desses dados. O uso mais amplo desta tecnologia, com foco na performance produtiva, pode ser direcionado ao processo de integração tecnológica total da firma (SCHUH *et al.*, 2020).

No entanto, é importante destacar que para a implantação de TICS que possibilitem essas soluções, é necessário o uso de ferramentas de inteligência artificial para acesso e tratamento de dados, conforme observado anteriormente. Diante disso, a ampliação da área de mineração para maior cobertura e coleta de dados, possibilita o melhor monitoramento dos ativos. As tecnologias incorporadas nesta etapa permitem, também, que os fabricantes de máquinas e equipamentos realizem manutenção remota nos produtos que estão sendo utilizados por clientes.

A busca de tecnologias que permitam maior conectividade, acesso aos dados e escalabilidade representam uma estratégia em termos de competitividade para a Firma BR. Os avanços para as etapas seguintes de transparência, previsibilidade e adaptabilidade representam estratégias competitivas para capitalizar os benefícios da Indústria 4.0. As subseções seguintes apresentam a descrição mais detalhada destas etapas.

6.3.3 O aprimoramento da produção de conhecimento com base nos dados coletados

A integração do ambiente fabril e a agregação de dados para criar informações que facilitem a rápida tomada de decisões representam o ponto central desta etapa. Nesse sentido, se faz necessário a incorporação de novas tecnologias que suportam a análise de grandes volumes de dados. Para Schuh *et al.* (2020, p. 20), “grandes bases de dados fornecem uma plataforma comum que pode ser utilizada, por exemplo, para realizar uma extensa análise de dados estocásticos, a fim de revelar interações na *digital twin* da empresa”. Isso está diretamente relacionado com o desenvolvimento e uso de sistemas de inteligência artificial, como *machine learning* e em um estágio avançado *deep learning*.

A transparência em relação às interações relevantes pode, por exemplo, ser usada para aprimorar a avaliação das etapas de produção. Além disso, a agregação de dados para criar informações e a contextualização correspondente fornecem o conhecimento do processo necessário para apoiar a tomada de decisões complexas e rápidas (SCHUH, *et al.* 2020). Os resultados obtidos a partir destas tecnologias dependem da interdependência de níveis superiores na hierarquia da firma. No entanto, os funcionários do chão de fábrica são aqueles que iniciam as mudanças e inovações e estão envolvidos em sua implementação. Assim, ocorre um processo integrado entre diferentes departamentos e níveis de gestão.

No caso da Firma BR, apesar de ações iniciais para o desenvolvimento de soluções envolvendo IA, este estágio ainda exige investimentos em capacitação técnica e mesmo a composição de equipes de desenvolvimento. Um exemplo já implantado foi a tecnologia “*chatbot*”⁴¹, utilizada para aumentar os níveis de comunicação interna em tempo real e transparência sobre o desempenho de ativos e processos na produção. No entanto, existem procedimentos que ainda estão em fase de testes. Neste caso específico, a tecnologia foi contratada de uma empresa nacional e a base de implementação tecnológica é a mineração de dados. O principal objetivo é a integração do chão de fábrica em todas as etapas de produção e a gestão. Neste contexto, cabe ressaltar que há possibilidades de desenvolvimento e implementação de tecnologias fornecidas por desenvolvedores nacionais.

⁴¹ A tecnologia Chatbot integra um modelo de linguagem e algoritmos computacionais para emular a comunicação informal por bate-papo entre um usuário humano e um computador usando linguagem natural (SHAWAR e ATWELL, 2015).

6.3.4 A Capacidade Preditiva da Firma BR

A capacidade preditiva é relacionada a análise de possibilidades futuras a partir da análise de dados. O objetivo destas ações é reduzir o número de eventos inesperados causados por interrupções ou perdas nos processos de produção. No modelo proposto, a capacidade preditiva de uma firma depende do trabalho de base realizado. Nesse sentido, uma estrutura construída com base em dados relevantes pode ajudar na composição de estratégias e direcionamentos por parte da gestão.

A capacidade preditiva representou o aspecto mais relevante em relação aos avanços que a firma busca no atual momento. No modelo Acatech apresentado, esta etapa é o foco das ações incorporadas pela equipe técnica. Nesta fase, a redução do número de eventos inesperados causados, por exemplo, por interrupções ou desvios de planejamento, permite um controle mais amplo nas seções de produção. A capacidade preditiva de uma empresa depende muito do trabalho de base que ela realizou (SCHUH, 2020).

O fortalecimento deste nível tecnológico está relacionado com o fortalecimento da gestão do conhecimento, que também envolve o gerenciamento das bases e dados para a geração de sistemas “inteligentes”. Para avançar para uma fase prescritiva que possibilitará a combinação de análise, a firma iniciou atividades que envolvem a análise de requisitos para o desenvolvimento de simuladores visando aumentar a eficiência na tomada de decisões. Os exemplos de ações e tecnologias relacionados com o nível prescritivo foram demonstrados com projetos que envolvem o aperfeiçoamento no repositório de dados. No entanto, como o principal ativo da firma, isso demanda mais investimentos em redes de transmissão e segurança de dados, que hoje representam *gaps* da firma, conforme descrito na seção anterior.

6.3.5 Os níveis de Adaptabilidade da Firma

A busca por maiores níveis de adaptabilidade se refere à integração de toda a cadeia de valor com autonomia e com o mínimo de interferências do trabalho humano. Este modelo descreve que a adaptação contínua possibilita que uma gestão delegue certas decisões para sistemas de TI para que o processo de mudança percorra todo o ambiente de negócios de forma mais ágil. O grau de adaptabilidade

depende da complexidade das decisões e da relação custo-benefício. Muitas vezes é melhor apenas automatizar os processos individuais, pois demanda menor investimento em aquisição de produtos e serviços TICS, bem como capacitação e treinamento. Neste cenário, é importante avaliar os riscos de automatizações que envolvam aprovações e reconhecimentos para clientes e fornecedores. Os exemplos incluem alterar a sequência de pedidos planejados em decorrência de falhas esperadas nas máquinas ou para evitar atrasos na entrega (SCHUH *et al.*, 2020). A partir disso, estudos sobre impactos da substituição do trabalho humano por máquinas podem facilitar a compreensão destas estratégias e apresentar importantes elementos na composição de políticas públicas. Em síntese, a análise dos níveis de desenvolvimento da Indústria 4.0 permite identificar os pontos fortes e avaliar os *gaps* e, assim, definir ações para o aprimoramento de competências e capacidades digitais da firma (SCHUH *et al.*, 2020).

Na etapa de adaptabilidade da Firma BR, as ações são incipientes e dependem do fortalecimento das etapas anteriores. Os aspectos referentes à integração de toda a cadeia de valor, com níveis ampliados de controle logístico e de todas as unidades de produção da firma não foram identificados de forma significativa.

Em linhas gerais, é possível afirmar que a firma alcançou importantes níveis de competências e capacidades digitais em relação a inovação incremental. Isso é caracterizado por uma importante eficiência em termos de digitalização (informatização e conectividade) e que estão voltados à incorporação de processos de automação individuais. Importantes níveis de visibilidade tecnológica também foram identificados. Estas tecnologias são relacionadas com a coleta de dados para o controle e monitoramento de ativos. Já no que diz respeito à transparência e conhecimento adquiridos a partir do tratamento de dados, existem esforços para a incorporação de novas tecnologias, porém, constatou-se que existem pontos que necessitam de aprimoramento.

As estratégias atuais são voltadas para o aperfeiçoamento da capacidade prescritiva e representam o foco de atuação da equipe técnica. Nesse sentido, a busca por incorporação destas soluções merece destaque. Por outro lado, os níveis de adaptabilidade para a integração total da cadeia de valor ainda são iniciais e nesse sentido, questões relacionadas a integração de todas as unidades de produção da firma não são contempladas de forma significativa e exigem avanços e novas soluções.

Os aspectos analisados e que são construídos a partir de experiências da trajetória de desenvolvimento apresentam os principais resultados de inovação. Essa base de conhecimento tecnológico é constantemente aprimorada por meio de parcerias com fornecedores. No entanto, as parcerias com universidades e instituições de pesquisa encontram-se em fase de aperfeiçoamento e normatização. Com isso, o aprendizado da firma pode avançar por meio do aumento da eficiência das operações de produção (*learning-by-doing*), do aumento da eficiência do uso de sistemas complexos (*learning-by-using*) e do envolvimento entre usuários e produtores, resultando em inovações de produto (*learning-by-interacting*). Nota-se, assim, que a inovação representa uma estratégia de gestão que busca interações e são conduzidas por meio de redes de parcerias. Esse mecanismo identificado na firma pode ser replicado levando em consideração as possibilidades de desenvolvimento de novas tecnologias e da ampliação de parcerias entre universidade-empresa. As fontes de financiamento direcionadas para *startups* tecnológicas também podem representar um importante elemento em decorrência da necessidade de customização de produtos e da busca por pequenos desenvolvedores. A próxima seção trata do grau de maturidade da indústria nacional de celulose e papel.

6.3.6 Grau de Maturidade do Sistema Setorial de inovação da indústria do papel

A intensidade de políticas industriais nos últimos 50 anos evidenciou a presença do Estado para promover o desenvolvimento da indústria nacional de celulose e papel. Nesse sentido, os principais *players* nacionais avançaram na construção de trajetórias de desenvolvimento a partir, principalmente, de pesquisas voltadas para o uso de fibra curta à base de eucalipto como matéria-prima (FIGUEIREDO, 2016), conforme apresentado anteriormente. Outros elementos de inovação ao longo da trajetória de desenvolvimento foram direcionados ao branqueamento da poupa para ganhos na qualidade do papel (PIOTTO, 2003) e substituição dos processos químicos por processos termoquímicos, evitando perdas na produção (HIGACHI, 1993).

A aquisição de máquinas de grande porte fornecidas por *players* internacionais retratou o processo de inovação radical no setor de celulose e papel na década de 1970 (HORA, 2015; FIEP, 2016). Já na década de 1980, observa-se a

incorporação dos sistemas digitais e os processos para controle de automação às referidas máquinas. O objetivo destas ações foi o aumento da produtividade e controle da qualidade do produto final (FIEP, 2016; IBÁ, 2018). Essas práticas representam os principais avanços em inovação incremental nas últimas décadas.

A análise apresentada no Capítulo 4 sobre o setor de celulose e papel, demonstrou que as trajetórias de inovação das firmas nacionais, no que se refere ao controle e manutenção atividades no chão de fábrica, seguiram estratégias de aquisição de grandes máquinas fornecidas por *players* internacionais. Cabe ressaltar que para a manutenção e atualização destas máquinas, as firmas buscaram soluções nacionais e mesmo ações *in-house*. As fontes de investimentos no setor foram originadas a partir de políticas de Estado e avançaram na ampliação de infraestrutura que contaram, também, com tecnologias e fornecedores estrangeiros (FIEP, 2016; IBÁ, 2018; IEL/NC, 2018).

Neste cenário, a incorporação de TICS adaptativas pode representar um arcabouço de oportunidades no desenvolvimento de ações e fomento tecnológico para a indústria de celulose e papel. De forma mais específica, as atuais demandas incrementais são voltadas para a substituição de tecnologias que operam isoladamente para uma estrutura que permita a maior conexão entre plataformas (*software*) e dispositivos (*hardware*) e podem produzir um controle mais abrangente sobre a produção. Cabe destacar que nesta fase os níveis de conexão nas etapas não são contemplados de forma total, porém, fornecem requisitos importantes para os níveis seguintes (SCHUH *et al.*, 2020).

A partir da análise na Firma BR, em termos de aprendizado e demandas tecnológicas, foi possível identificar a presença de uma estrutura produtiva que permite e necessita de incorporação de novas soluções adaptativas. Isso pode representar um fio condutor dentro das possibilidades da Indústria 4.0. O direcionamento de estratégias para fortalecer as *startups* fornecedoras de TICS incluindo, também, capacitação tecnológica e estruturação de parcerias entre universidades e fornecedores, podem representar caminhos para o desenvolvimento tecnológico no setor. Estes elementos, quando somados as ações já existentes para ampliação estrutural do setor, podem impulsionar o crescimento da indústria nacional.

O acesso às fontes de investimentos, bem como às parcerias para o desenvolvimento de tecnologias adaptativas e a estrutura de negócios fortalecida pela crescente demanda, representam os diferenciais competitivos da firma. Por outro lado,

a dependência tecnológica por máquinas e equipamentos determina o ponto comum do setor nacional e um importante ponto identificado. Em relação às tecnologias adaptativas, a partir do estudo setorial apresentado no Capítulo 4, é possível afirmar que os *players* nacionais apresentam estratégias e investimentos que resultam na acumulação de capacidades tecnológicas (PINHEIRO, *et al.*, 2015). Em relação ao setor de forma mais ampla, destaca-se que os *players* que desenvolveram um padrão mais elevado de capacidades tecnológicas apresentaram mais do que o dobro da incidência de parcerias com universidades e institutos de pesquisa, fornecedores e consultores, em relação às firmas com menos recursos para inovação. O resultado é que as grandes firmas apresentaram capacidades de criar e desenvolver novas tecnologias e que as firmas de menor porte atuam por meio de imitação das recentes tecnologias existentes (FIEP, 2016; IBÁ 2020; IEL/NC, 2018).

Outro ponto identificado se refere à assimetria em relação aos países que dominam estas tecnologias e pode ser caracterizada por diferentes fatores, em especial, com relação às dificuldades de implementação e continuidade de políticas públicas de pesquisa, desenvolvimento e inovação. Nesse sentido, nos grandes centros tecnológicos mundiais houve o fortalecimento ao longo de décadas de uma estrutura produtiva organizada por meio de redes de inovação com importantes incentivos e fomentos públicos. Esses exemplos já foram citados anteriormente com destaque para a Europa, Estados Unidos e Ásia. No entanto, cabe citar o exemplo recente para o fortalecimento da produção industrial que está relacionado também ao setor de celulose e papel é a iniciativa elaborada pelo *The Nordic Council of Ministers* e o *Nordic Council*, com a criação de uma rede de cooperação entre a Dinamarca, Finlândia, Islândia, Noruega, Suécia, entre outros, com o objetivo de integração e desenvolvimento sustentável de novas tecnologias. Entre os programas elencados, é possível destacar os já mencionados *Smart Connectivity (2021-2024)* e *AI and Data (2021-2024)*, *Life Science and Health Tech*, *Sustainable Minerals*, *Sustainable Construction*, *Nordic Sustainable Business Transformation* e *Nordic Smart Government*, todos com data de implantação até 2024 (NORDIC INNOVATION, 2020). Nestes países, observa-se o direcionamento de estratégias de políticas públicas voltadas para P&D, principalmente no que se refere à produção de dispositivos e serviços de alta intensidade tecnológica e a formação de redes de inovação para o fortalecimento dos setores tecnológico e industrial. Além disso, as ações e investimentos públicos demonstram que o Estado exerce liderança com foco

nas políticas industriais (FIEP, 2016; IBÁ, 2018; IEL/NC, 2018).

Por fim, é importante ressaltar que a amplitude de possibilidades para este setor é abrangente e não limita às possibilidades da Indústria 4.0 às tecnologias de fronteira. Ao contrário, apresenta a perspectiva de inovação em relação à composição de redes de inovação com base no conhecimento e criatividade para soluções incrementais. Em linhas gerais, é possível afirmar que os níveis e padrões de acumulação de capacidades tecnológicas do setor de celulose e papel moldaram a trajetória desenvolvimento tecnológico e contribuíram para o crescimento da indústria em nível global. A próxima seção trará os determinantes para a inovação na firma em estudo.

6.4 OS DETERMINANTES DO PROCESSO DE GERAÇÃO, DIFUSÃO E RETARDAMENTO DA INOVAÇÃO

Esta seção apresenta os determinantes da inovação adotados pela firma, em relação aos regimes tecnológicos (MALERBA e ORSENIGO, 1993) e ao processo de colaboração (BRITTO, 2002; DUYSER e HAGEDOORN, 2005) para o desenvolvimento de novas TICS. Nesse sentido, busca-se compreender como a organização do sistema de inovação (FREEMAN, 1987; FREEMAN e LUNDVALL, 1988; LUNDVALL, 1992) em nível setorial (MALERBA E ORSENIGO, 1997) pode impactar o desenvolvimento e transferência de tecnologias entre os diversos atores no setor. Além disso, esta seção busca relacionar a relevância do Estado no direcionamento de políticas públicas para a composição de setores tecnológicos.

Os avanços recentes na Firma BR, em relação ao crescimento tecnológico, foram possíveis a partir de investimentos na incorporação de soluções adaptativas na cadeia de produção. O cenário analisado envolve a composição de uma dinâmica de colaboração entre a firma e instituições de pesquisa. O aumento na composição e abrangência desse formato de rede de inovação pode representar um caminho para o fortalecimento da indústria nacional. A análise da correlação entre os elementos que compõem os determinantes de inovação da firma em estudo e do setor de celulose e papel é apresentada no Gráfico 29.

GRÁFICO 29 – DETERMINANTES DO PROCESSO DE INOVAÇÃO



Fonte: O autor (2022).

Os determinantes do processo de inovação podem ser descritos como a soma de diferentes aspectos, como: i) A construção da base do conhecimento endógeno; ii) A incorporação das novas TICs relacionadas à Indústria 4.0 e em nível externo iii) As políticas industriais de incentivo e fomento à inovação. O desafio é detalhar como ocorrem as convergências para a acumulação tecnológica, bem como os impedimentos que atrasam o processo de inovação. Esse pode ser um caminho para direcionar estratégias e as relações para o desenvolvimento para novas tecnologias no setor de celulose de papel.

Os caminhos possíveis da inovação no setor de celulose e papel e dos impactos que a Firma BR gerados no desenvolvimento de novas TICS e serviços podem ser descritos por meio das relações entre o processo de aprendizagem da firma, o acúmulo das capacidades ao longo da trajetória de desenvolvimento tecnológico e a conformação das redes de inovação que ocorrem a partir das demandas tecnológicas. Diante disso, os elementos analisados se referem a: i) Oportunidade diante de recursos disponíveis; ii) Apropriabilidade, no sentido de proteger inovações de imitações; iii) Cumulatividade referente a geração de conhecimentos com base em experiências anteriores e as características para a construção da base do conhecimento (BRESCHI e MALERBA, 1997). Neste contexto, foi possível identificar características endógenas de competências técnicas, experiências bem-sucedidas, nível de organização e desempenho diferenciados.

As condições relevantes observadas na firma, em relação às oportunidades de inovação diante de recursos disponíveis, ocorrem a partir de investimentos em tecnologias para melhorias no desempenho de máquinas e equipamentos para a produção de papel-cartão. A estruturação de um plano diretor e a organização de grupos de trabalho para identificar as demandas no chão de fábrica, somados às parcerias com *startups* e universidades para o desenvolvimento de novas TICS, confirmam o alto grau de oportunidade em relação à inovação. Entretanto, no que se refere a aquisição e substituição de grandes máquinas, este processo é tratado como investimentos em infraestrutura e ocorrem com a ampliação de unidades. Estas medidas são pontuais devido ao alto volume de investimentos necessários e exigem fontes de financiamentos externas.

No que diz respeito às condições e possibilidades de geração de novos conhecimentos produzidos a partir de experiências existentes, ocorre um alto grau de cumulatividade na firma. A organização da estrutura para geração e acúmulo de conhecimento envolve: i) Análise e estudos permanentes das etapas de produção e dos ativos no chão de fábrica; ii) Diagnóstico e apresentação de possíveis soluções; iii) Busca por fornecedores para o desenvolvimento e manutenção das tecnologias incorporadas e iv) Transferência de conhecimento com esses fornecedores. Neste cenário, o aprendizado técnico alcançado ao longo do tempo representa um elemento que implica em certa medida no pioneirismo tecnológico para no desenvolvimento de soluções tecnológicas. O principal fator identificado foi o domínio da tecnologia de produção de papel a partir da celulose de fibra curta. Com base nesta matéria-prima,

tanto os processos, como os equipamentos foram adaptados e aprimorados para a produção em escala, a partir de máquinas fabricados para produção com celulose de fibra longa, que é a base de produção mundial. Diante disso, ocorre a produção e o domínio desta tecnologia por parte da firma e isso se reflete na flexibilidade para criar novos produtos e aumentar a amplitude de novos mercados.

Em relação às condições de apropriabilidade que estão associadas à proteção de produtos, serviços ou novas tecnologias, as inovações radicais que estão associadas à P&D são protegidas por meio de procedimentos que tratam de propriedade industrial e patentes para novas invenções. Por outro lado, no que diz respeito às inovações incrementais e que se inserem no objeto de pesquisa desta tese, não há estratégias definidas para proteção das soluções incorporadas no chão de fábrica. Os produtos que resultaram de parcerias estabelecidas foram destinados às *startups* que criaram o produto. Neste caso, a cessão da patente do produto foi destinada aos fornecedores. Isso ocorre por não haver interesse da firma em registrar produtos, pois as descobertas não estão relacionadas ao *core* da produção de papel. Estes exemplos de tecnologias desenvolvidas no chão de fábrica foram detalhados na seção sobre as etapas de produção do papel. Isso demonstra que existem baixas condições de apropriabilidade e que são causadas pelas externalidades na incorporação de novas tecnologias.

Além disso, as estratégias da firma para inovação abrangem alto grau de oportunidades tecnológicas e de cumulatividade do progresso técnico. Neste cenário, as estratégias são factíveis para os avanços em inovação, que podem ser expandidas em termos de novos produtos tecnológicos. Cabe ressaltar dois pontos importantes. O primeiro está relacionado com as especificidades das demandas tecnológicas observadas dentro da Indústria 4.0. Em relação às prioridades da Firma BR, cabe destacar, ainda, as soluções para IoT (em especial o sensoriamento remoto), as soluções proprietárias de computação em nuvem, os sistemas de inteligência artificial e *machine learning* dos produtos para a realidade mista, que compõem a base de tecnologias adaptativas inseridas no contexto da Indústria 4.0. Em segundo lugar, foi identificada a conformação de uma rede de parcerias com fornecedores nacionais para a implementação de novas TICS que proporcionaram a troca de conhecimentos e o desenvolvimento de solução para a linha de produção. De modo geral, é possível afirmar que a correlação destes elementos representa os determinantes para o processo de inovação, que pode ser aperfeiçoado a partir das políticas públicas. A

próxima subseção abordará o Estado como articulador de tecnologia, inovação e crescimento.

6.4.1 As políticas públicas como ferramentas de articulação e organização do desenvolvimento tecnológico e setorial

Conforme descrito anteriormente, o crescimento do setor de celulose e papel no Brasil ocorreu de forma intensiva a partir da década de 1950. Isso foi possível a partir de ações do governo brasileiro para o fomento do setor. Nos anos seguintes a relação entre a indústria nacional e as instituições foram fortalecidas e isso possibilitou a transferência e produção de conhecimento por meio de institutos de pesquisa e academia (BNDES, 1991; TOIVANEN e LIMA-TOIVANEN, 2011). Em paralelo, nos anos 1970/1980, quando se observou a evolução dos dispositivos de informática e de um novo paradigma tecnológico, o Estado também atuou no sentido de “conduzir ações de estímulo, desenvolvimento e articulação entre os capitais privados (nacionais e multinacionais)” (SHIMA *et al.* 2018, p. 2). Segundo os autores, o Estado brasileiro atuou para a criação e fortalecimento da indústria tecnológica nacional.

A organização e abrangência de caminhos para o desenvolvimento tecnológico podem ser relacionados com questões como competências técnicas, fortalecimento da indústria nacional de TICS e serviços para aumento da competitividade em nível global, domínio de soluções estrangeiras, transferência e difusão de tecnologias por meio de interação e cooperação, entre outros. De certo modo, algumas destas demandas tecnológicas foram contempladas por meio de políticas industriais nas décadas passadas. Porém, a falta de continuidade e correções das políticas de incentivo e fomento, somadas ao fato de que os investimentos objetivaram a ampliação de plantas industriais para a produção de commodities e não no desenvolvimento da indústria tecnológica de máquinas e equipamentos, colocou o país em uma dependência tecnológica de países que investiram no desenvolvimento de suas indústrias.

Neste cenário, existem outras estratégias que podem ser orientadas pelo Estado e se referem a investimentos originados de fontes públicas e a articulação das redes de inovação e aproximação de atores setoriais. No caso da Firma BR, os recursos provenientes de bancos públicos para a construção de novas plantas e

aquisição de grandes máquinas representam o maior impacto em termos de aquisição de inovações radicais. Outras estruturas públicas também evidenciam a relevância e uso destas redes por parte da firma. Os exemplos foram descritos em relação às parcerias com instituições de pesquisa, capacitação e treinamento e, também, para a aproximação de instituições de pesquisa tecnológica, como a EMBRAPA e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

No entanto, do lado das *startups* fornecedoras de TICS não se observa um impacto relevante das políticas públicas para o fomento de desenvolvedores nacionais de TICS. Pelo contrário, as empresas analisadas dependem de capital próprio para inserir produtos no mercado e, em casos específicos, transferem a sede da firma para outros países em decorrência de oportunidades e proximidade de fontes desenvolvimento de tecnologias disruptivas. Ou seja, firmas que foram desenvolvidas com competências e capital intelectual nacionais e que atuam no mercado nacional, mas que possuem sede em países europeus em decorrência de oportunidades globais. Estes elementos coletados representam um importante fator a ser considerado e que demandam ajustes para incentivos de fornecedores locais.

Diante disso, para estimular integração entre atores, instituições e mercados, o Estado pode e deve apresentar políticas de fomento que criem mecanismos de troca e mudanças entre os respectivos atores. Nesse sentido, garantir infraestrutura e ferramentas para proteção, geração e difusão de conhecimento que representam diferentes formas para a orientação dos sistemas e das estratégias de inovação. Além disso, observa-se a necessidade de implantar ações para coordenação de esforços destas redes de interessados e intermediar relações de confiança por meio de instrumentos políticos. O reconhecimento da importância da capacidade de ação do Estado não é restrito apenas à organização dos tecnocratas no interior do aparelho de Estado, mas também na organização de uma estrutura para a geração, troca e difusão do conhecimento (MAZZUCATO, PENNA, 2016), evitando assim o atraso e dependência tecnológica. Além disso, observa-se que a liderança do Estado em políticas industriais pode assegurar o desenvolvimento tecnológico nacional.

Por fim, é possível afirmar que a Indústria 4.0 representa uma nova corrida tecnológica que incorpora a criação de novos produtos, serviços e soluções integradas no ciclo de produção industrial e nas cadeias globais. Cabe ressaltar que, conforme pontuado anteriormente, as atividades que envolvem o desenvolvimento e incorporação de tecnologias não estão somente na fronteira tecnológica e que

dependem de complexo esforço científico em P&D. Ao contrário, a ideia de inovação pode ser relacionada com mudanças pontuais de dispositivos tecnológicos, o que demonstra as características incrementais das novas TICS. Destaca-se, ainda, que estas mudanças podem estar relacionadas muito mais com a criatividade e experiências acumuladas em fases anteriores de desenvolvimento tecnológico do que com alto grau de investimentos, como observado no trabalho de campo.

Assume-se, diante disso, que existem oportunidades que podem ser alavancadas por ações de incentivo e fomento para as novas TICS. Estas oportunidades representam um conjunto de relações técnicas e colaborativas que podem resultar em níveis de transformação industrial. Os desafios atuais em relação a falta de fontes de financiamento, falta de regulamentação, competitividade com *players* internacionais, acúmulo de capacidades e fortalecimento das redes de inovação e aprendizagem demonstram a necessidade de organização e apropriação de políticas de inovação em importantes setores da economia nacional.

Diante dos aspectos apresentados, observa-se a urgência da retomada de ações efetivas para o desenvolvimento de pesquisa e inovação e que o atraso na proposição destas ações impede o crescimento e a competitividade da indústria nacional. Isso se reflete no aumento da dependência por tecnologias estrangeiras e, como consequência, na redução do crescimento econômico.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese defende que o processo de inovação pode ser impulsionado por um *player* setorial dominante, no sentido de representar um elemento central para a composição de um SSI. O impacto ocorre, principalmente, por meio do desenvolvimento “*in-house*” de produtos e serviços especializados para atender as demandas por novas TICS. Para identificar os fatores que levam a isso, foram analisadas as características e necessidades específicas dos processos na produção de papel-cartão na Firma BR e as possibilidades de incorporação dessas novas tecnologias.

Os elementos centrais apresentados nos Capítulos 2, 3 e 4 foram elencados com base na teoria neoschumpeteriana e direcionados com foco na análise setorial da indústria de celulose e papel. Além disso, foram também analisados o ambiente tecnológico no nível da firma e o papel do Estado na conformação das políticas setoriais e industriais. No contexto que envolve o setor, alguns pontos merecem destaque. Em primeiro lugar, cabe ressaltar que o crescimento da indústria nacional ocorreu de forma intensiva nos últimos 50 anos. De modo geral, os investimentos se concentraram na expansão da capacidade produtiva com a construção de novas fábricas e na importação de grandes máquinas e equipamentos para a composição do ciclo produtivo. Além disso, é possível afirmar que a consolidação do setor de celulose e papel seguiu uma estratégia de Estado para o fortalecimento do referido setor. Algumas políticas públicas, como o Plano de Metas (1950-1956), o I PND (1972-1974) e II PND (1975-1979) e as mais recentes PDP (2008-2010) e PBM (2010-2014), impactaram positivamente os avanços desta indústria. Outro ponto que merece destaque se refere a projeção para os próximos três anos que, neste caso, estima investimentos em torno de R\$ 32,6 bilhões para o setor de base florestal.

A partir da relação entre os elementos teóricos e do ambiente tecnológico identificado na Firma BR, é possível afirmar que as oportunidades de inovação incremental diante de recursos disponíveis apresentam alto grau de desenvolvimento e incorporação. Isso ocorre devido à organização interna de diferentes ações, como grupos de trabalho, plano diretor e parcerias com *startups* e, em menor escala, universidades para o desenvolvimento de novas TICS. Outro aspecto identificado se refere às condições e possibilidades de geração de novos conhecimentos produzidos

a partir de experiências existentes. Nesse sentido, observou-se que existe, também, um alto grau de cumulatividade na firma. Ou seja, o aprendizado técnico alcançado ao longo do tempo representa um elemento que implica, em certa medida, no pioneirismo tecnológico para o desenvolvimento das soluções nas etapas de produção. Neste cenário, o principal fator identificado foi o domínio de tecnologias para a produção de papel a partir da pasta de alto rendimento de fibra curta e as adaptações necessárias em máquinas e equipamentos para atender esta demanda.

Em relação às condições de apropriabilidade que estão associadas à propriedade industrial, observou-se que há importantes níveis de proteção direcionados para inovações radicais. Essas inovações podem ser descritas como novos produtos finais que buscam substituir outros produtos como o plástico, por exemplo. Por outro lado, no que diz respeito às inovações incrementais e que se inserem no objeto de pesquisa desta tese, não há estratégias definidas para proteção das soluções incorporadas no chão de fábrica. Isso implica em baixo grau de apropriabilidade da firma em relação às tecnologias adaptativas.

A partir da análise da trajetória de desenvolvimento da firma e dos principais desafios tecnológicos, foram identificados elementos sobre as estratégias para inovação de processos, máquinas e equipamentos na produção de papel-cartão. De modo geral, essas demandas se referem à inovação incremental e acontecem em decorrência da Firma BR possuir um antigo parque de máquinas, com ativos que operam há mais de 50 anos, em alguns casos. O que se busca com as novas soluções adaptativas é a coleta do maior volume de dados do chão de fábrica. Isso possibilita o controle, monitoramento e integração dos dispositivos e componentes na linha de produção, com foco em ações prescritivas e antecipação às falhas.

As tecnologias da Indústria 4.0 apresentadas no Capítulo 5 foram relacionadas com as demandas da linha de produção na firma. Assim, foram identificadas as tecnologias necessárias para o preenchimento dos *gaps* tecnológicos. Estas tecnologias estão associadas ao sensoriamento remoto (IoT), que são transmitidos para uma base de dados na nuvem (*cloud computing*). Em seguida ocorre o tratamento destes dados (*data mining*) com uso de inteligência artificial (*machine learning*). Os produtos originados destas demandas representam o *core* de oportunidades que acoplam diferentes soluções da Indústria 4.0. Isso implica diretamente na necessidade de produtos e serviços, que possibilitam, em alguns casos, o desenvolvimento de tecnologias e fornecedores locais. Além disso, foram

identificadas algumas possibilidades de melhorias direcionadas a protocolos e tecnologias para segurança e transmissão de dados que, no momento, não representam o foco de desenvolvimento tecnológico da Firma BR.

As estratégias adotadas pela firma, para implementação de novas soluções tecnológicas no chão de fábrica, foram organizadas com base em ações como: i) A estruturação efetiva de ações para o desenvolvimento tecnológico; ii) Alocação de recursos com base no diagnóstico e determinação de níveis de prioridades e iii) A construção do conhecimento tecnológico para a identificação de possibilidades com base na inovação incremental. No entanto, a ausência de fornecedores nacionais de grandes máquinas e equipamentos representou um fator que evidencia a dependência do setor por tecnologias estrangeiras. Essa dependência está relacionada com ativos que compõem a infraestrutura produtiva e, também, podem ser associados à construção de novas plantas industriais. Nesse sentido, há o predomínio de *players* internacionais, que fornecem ativos ao longo da trajetória de desenvolvimento tecnológico da firma.

Os dados originados a partir das observações de campo e entrevistas foram aplicados no modelo Acatech, com o objetivo de identificar o nível de maturidade da firma. A análise demonstrou relevantes níveis de competências e capacidades digitais na Firma BR. Isso é caracterizado pela eficiência em termos de digitalização (informatização e conectividade) e que estão voltados à incorporação de processos de automação. Além disso, importantes níveis de visibilidade tecnológica também foram identificados. Estas tecnologias estão relacionadas com a coleta de dados para o controle e monitoramento de ativos. No entanto, em relação aos níveis de transparência e conhecimento adquiridos a partir do tratamento de dados, observou-se que existem pontos que necessitam de aprimoramento, apesar dos esforços para a incorporação de novas tecnologias.

A partir dos aspectos analisados na firma, foram elencados alguns elementos que podem impulsionar o sistema de inovação no setor de celulose e papel e são apresentados de forma sistematizada no Apêndice B. Estes elementos confirmam a hipótese inicial e são descritos como: i) A construção da base do conhecimento endógeno, que pode ser transferido para outras firmas a partir de parcerias com *startups* e universidades; ii) O desenvolvimento e incorporação das novas TICS incrementais relacionadas à Indústria 4.0 e iii) A integração de políticas industriais de incentivo e fomento à inovação em sua base produtiva. Assim, as convergências

destes elementos para a acumulação tecnológica podem incentivar as inovações que compõem a configuração de um Sistema Setorial de Inovação. No entanto, fatores como a falta de incentivos e fontes de financiamento para pequenos fornecedores de TICS podem atrasar o desenvolvimento da indústria tecnológica nacional.

As estratégias da Firma BR, que são orientadas a partir destes elementos, podem representar um fio condutor dentro das possibilidades da Indústria 4.0. No entanto, observa-se que existe a necessidade de organização e apropriação de políticas de inovação, para que exista acúmulo de capacidades e fortalecimento das redes de inovação e aprendizagem. Nesse sentido, o direcionamento de estratégias para fortalecer as *startups* fornecedoras de TICS, incluindo capacitação tecnológica, estruturação de parcerias entre universidades e fornecedores e fontes para oportunidades tecnológicas, podem representar elementos para as políticas públicas. Estes elementos, quando somados as ações já existentes para fomento estrutural do setor e ao aumento da demanda global por produtos, podem impulsionar ainda mais o crescimento da indústria nacional. Assim, é possível afirmar que a dinâmica de inovação da Firma BR, que foi originada a partir de políticas de Estado e incorporada por meio de estratégias internas e parcerias para o desenvolvimento tecnológico, impacta a composição do sistema setorial de inovação e pode ser expandida para outras firmas e setores. Em outras palavras, os avanços da trajetória de inovação “*in-house*” à luz dos Sistemas de Inovação, possibilita a organização de caminhos para o fortalecimento das redes de inovação em diferentes ambientes.

Por fim, em relação às limitações identificadas na pesquisa, cabe destacar que a coleta de dados poderia ter sido mais ampla em relação a amostra inicial. Nesse sentido, as entrevistas com operadores de máquinas no chão de fábrica poderiam auxiliar no detalhamento do caminho que a inovação percorre, partindo do diagnóstico de uma necessidade específica, até a implantação de uma nova tecnologia. Outros aspectos relacionados à curva de aprendizado em relação à operacionalidade dessas tecnologias também poderiam ser atendidos.

Outra dificuldade encontrada diz respeito às especificações técnicas relacionadas a aspectos de segurança dos sistemas computacionais. Neste contexto, não foi possível identificar respostas conclusivas sobre como é realizada a segurança em nível local (abstração de dados de máquinas e equipamentos) e quais as camadas de segurança que a plataforma contratada disponibiliza. Algumas entrevistas dirigidas à equipe técnica de informática evidenciariam maiores efeitos conclusivos. As

dificuldades de acesso ao chão de fábrica da Firma BR ocorreram devido às restrições da pandemia.

Entretanto, é importante ressaltar que as limitações possibilitam o advento de novas pesquisas. Nesse sentido, observa-se a importância de estudos que avaliem os impactos da substituição do trabalho humano por máquinas. Estes fatores também podem apresentar importantes elementos na composição de políticas públicas, no que se referem aos desdobramentos das novas tecnologias nas relações de trabalho e sociedade. Além disso, recomenda-se que os trabalhos futuros atendam outros setores onde o Brasil também exerce liderança global, como petróleo, mineração, agricultura e aeroespacial, sobretudo em relação ao papel do Estado na condução de políticas industriais.

Em síntese, a amplitude de possibilidades para a Indústria 4.0 não se limita somente às tecnologias de fronteira. Ao contrário, apresenta a perspectiva de inovação com base no conhecimento e criatividade para soluções adaptativas e incrementais.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABB. **ABB's control solution for paper machine drives**. Disponível em https://library.e.abb.com/public/8bdb5394c88ec3e4c12577d6003dabaa/Brochure_PMC800_ABBs_control_solution_for_paper_machine_drives_EN_FINAL_021110.pdf. Acesso em: 04 abr. 2022.

ABINEE. Associação Brasileira de Indústria Elétrica e Eletrônica. **Balança Comercial de Produtos do Setor Elétrico e Eletrônico 2019**. Disponível em <http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon10.htm>. Último acesso em: 19 mar. 2022.

ABECOM. **O que é um mancal?** 2020. Disponível em <https://www.abecom.com.br/o-que-e-um-mancal-quais-os-principais-tipos/>. Acesso em: 05 jan. 2022.

ABTCP. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. **Processo de fabricação de papel: uma visão geral**. CAMPOS, E. S. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/SD_Papel_Visao_geral.pdf. Acesso em: 04 jan. 2022.

ACS, Z. J., MOTHE, J. DE LA., PAQUET, G. **Local Systems of Innovation**. In: HOWITT, P. (ed.), *Implications of Knowledge-Based Growth for Micro-Economic Policies*, Calgary: University of Calgary Press, 1996.

AIF. Alliance Industrie du Futur. **Rapport Annuel 2019**. Disponível em <http://www.industrie-dufutur.org/content/uploads/2017/09/RapportAnnuelAIF2019-VWEB.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2022.

ALMEIDA, A. J. A. **Uma análise das propostas de políticas industriais brasileiras do início do séc. XXI sob a ótica de incentivo à inovação neo-schumpeteriana**. Dissertação de mestrado Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUC-SP, São Paulo, 2014.

AMORIM, R. M; LUFT, M. C. M. S; MATOS JÚNIOR, J. E; SILVA, M. R. S. **Agenda Brasileira para a Indústria 4.0: Avaliação do Estágio de Execução das Medidas Propostas**. Rev. FSA, Teresina, v.17, n. 8, art. 2, p. 20-47, ago. 2020.

ANALISTA-A. **Entrevista on-line realizada 21 de novembro de 2021**. Graduado em Sistemas de Informação. Atualmente é Analista de TI Corporativo na FIRMA BR.

ARBIX, G.; MIRANDA, Z.; TOLEDO, D.; ZANCUL, E. **Made in China 2025 and Industry 4.0: the difficult Chinese transition from catching up to an economy driven by innovation**. Tempo soc. vol.30 no.3 São Paulo Sept./Dec. 2018.

ARDUÍNO, 2019. Arduino Board. Disponível em <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 07 mar. 2022.

BAMBIRRA, V. **El capitalismo dependiente latinoamericano**. Cidade do México: Siglo XXI, 1974.

BATAGLIA, W.; MAIA, F. S.; MAIA, T. S. T.; KLEMENT, C. F. F. **Fatores do Regime Tecnológico Motivadores da Imitação: Um Estudo no Segmento de Tênis do Setor Calçadista Brasileiro**. XXXV Encontro ANPAD. Rio de Janeiro, 2011.

BELUSSI, F.; ARCANGELI, F. A typology of networks: flexible and evolutionary firms. *Research Policy* 27, pgs. 415–428, 1998.

BERG, P; LINGQVIST, O. **Pulp, paper, and packaging in the next decade: Transformational change**. McKinsey & Company: Paper and Forest Products, 2019. Disponível: <https://www.mckinsey.com/industries/paper-forest-products-and-packaging/our-insights/pulp-paper-and-packaging-in-the-next-decade-transformational-change>. Acesso em: 02 jul. 2021.

BERTINI, S. **Regional governance and innovation in Emilia-Romagna**, Anais de Seminário FAPESC/UFSC, Florianópolis, Set. 2012. Disponível em: <http://pro.poli.usp.br/wp-content/uploads/2015/10/Livro-III-SIIPME.pdf>

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Estudo “**Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil**”, 2018. Disponível em <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil!/ut/p/z1/>. Acesso em: 10 mar. 2020.

_____. **Chamada Pública BNDES/FEP Prospecção nº 01/2016 – Internet das Coisas (Internet-of-Things – IoT)**. Disponível em <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot>. Acesso em: 10 jan. 2020.

_____. A participação do Sistema BNDES na evolução do setor de celulose e papel no Brasil. Rio de Janeiro, 1994. Disponível em https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/13824/2/A%20participa%C3%A7%C3%A3o%20do%20sistema%20BNDES%20na%20evolu%C3%A7%C3%A3o%20do%20setor%20de%20papel%20e%20celulose%20no%20Brasil_P_BD.pdf. Acesso em: 09 jul. 2020.

_____. **Consulta financiamentos BNDES**. Acesso em: 01 fev. 2021. Disponível em <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/Busca/>

BODKHE, U.; TANWAR, S.; PAREKH, K.; KHANPARA, P.; TYAGI, S.; KUMAR, N.; ALAZAB, M. **Blockchain for industry 4.0: a comprehensive review**, IEEE Access, vol. 8, pp. 79764-79800, 2020.

BOZEMAN, B., SAREVITZ, D. **Public Value Mapping and Science Policy Evaluation**. MINERVA Volume 49 Edição 1 Página 1-23, 2011.

BRACELPA. Associação Brasileira de Celulose e Papel. Relatório Estatístico 2010/2011. Disponível em http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7742/Bracelpa-Relatorio_Estatistico-2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 07 fev 2021.

BRASIL. **Agenda Brasileira para a Indústria 4.0**. Brasília, 2018. Disponível em: http://https://www.gov.br/suframa/pt-br/assuntos/industria4-0_cits_ahk.pdf. Acesso em: 13 set. 2021.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 289, de 28 de fevereiro de 1967**. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). Ministério da Agricultura. **Diário Oficial da União**. República Federativa do Brasil, Brasília, 28/02/1967. Disponível em <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1960-1969/decreto-62018-29-dezembro-1967-403230-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 01 jul. 2020.

_____. **Decreto nº 73.030 de 30 de outubro de 1973**. Institui a Secretaria Especial de Meio Ambiente – SEMA. Ministério do Interior. **Diário Oficial da União**. República Federativa do Brasil, Brasília, 30/10/1973. Disponível em <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-73030-30-outubro-1973-421650-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 02 jul. 2020.

_____. **Decreto-Lei nº 1.134, de 16 de novembro de 1970**. Incentivos fiscais concedidos a empreendimentos florestais. **Diário Oficial da União**. República Federativa do Brasil, Brasília, 17/11/2000. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/1965-1988/Del1134.htm. Acesso em: 02 jul. 2020.

_____. **Decreto nº 3.420, de 20 de abril de 2000**. Institui o Programa Nacional de Florestas – PNF. Ministério do Interior. **Diário Oficial da União**. República Federativa do Brasil, Brasília, 22/04/2000. Disponível em <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2000/decreto-3420-20-abril-2000-373797-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 02 jul. 2020.

_____. **Decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019**. Plano Nacional de Internet das Coisas. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Diário Oficial da União**. República Federativa do Brasil, Brasília, 26/06/2019. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto

/D9854.html. Acesso em: 20 mar. 2020.

_____. **Decreto nº. 10.578 de 15 de dezembro de 2020.** Dissolução do Centro Nacional de Tecnologia Eletrônica Avançada S.A. Diário Oficial da União. República Federativa do Brasil, Brasília. 15/12/2020/ Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.578-de-15-de-dezembro-de-2020-294297981>. Acesso em: 14 set. 2021.

_____. **Decreto nº 10.534 de 28 de outubro de 2020.** Política Nacional de Inovação. Secretaria Geral da Presidência da República. República Federativa do Brasil, Brasília 28/10/2020. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10534.htm. Acesso em: 14 jan. 2021.

BRASIL. **Lei nº 5.727 de 4 de novembro de 1971.** I Plano de Desenvolvimento Nacional. Gabinete da Presidência. http://www.biblioteca.presidencia.gov.br/publicacoes-oficiais/catalogo/medici/i-pnd-72_74

_____. **Lei nº 7.232, de 29 de fevereiro de 1984. Lei de Política Nacional de Informática.** Congresso Nacional. Diário Oficial da União - Seção 1 - 30/10/1984, Página 15841. Disponível em <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-7232-29-outubro-1984-356182-norma-pl.html>

_____. **Lei nº. 4.771 de 15 de setembro de 1965. Presidência da República. Casa Civil. Novo Código Florestal.** República Federativa do Brasil, Brasília, 15/09/1965. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm. Acesso em: 02 jul. 2020.

_____. Lei nº 5.106, de 2 de setembro de 1966. **Presidência da República. Casa Civil. Novo Código Florestal.** República Federativa do Brasil, Brasília, 02/09/1966. Acesso em: 25 nov. 2019.

_____. **Lei 10.973 de 02 de dezembro de 2004 - Lei de Inovação.** Diário Oficial da União. República Federativa do Brasil, Brasília, 03/12/2004. Acesso em: 25 nov. 2019.

_____. **Lei 11.196 de 21 de novembro 2005 - Lei do Bem.** Diário Oficial da União. República Federativa do Brasil, Brasília, 22/11/2005. Acesso em: 20 nov. 2019.

_____. **Lei 12.965, de 23 de abril de 2014. Marco Legal da Internet.** Presidência da República Secretaria-Geral - Subchefia para Assuntos Jurídicos. Portal da Legislação. Brasília, DF, abril 2014. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l12965.htm. Acesso em: 30 mar 2020.

_____. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD).** Presidência da República Secretaria-Geral - Subchefia para

Assuntos Jurídicos. **Portal da Legislação**. Brasília, DF, abril 2014. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13709.htm. Acesso em 29 mar. 2020.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Integração Produtiva e Competitividade Internacional**. Disponível em <http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/acoes-e-programas-11/conceituacao>. Acesso em: 10 jun. 2020.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Integração Produtiva e Competitividade Internacional**. Disponível em <http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/comex-vis/frame-ppe?ppe=1084>. Acesso em: 10 jun. 2020.

_____. O Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. MDIC e ABDI - Agenda Brasileira para a Indústria 4.0. Disponível em: <http://www.investexportbrasil.gov.br/mdic-e-abdi-lancam-agenda-brasileira-para-industria-40-no-forum-economico-mundial>. Acesso em: 14 set. 2021.

_____. Medida Provisória no. 869 de 27 de dezembro de 2018. Dispõe sobre a proteção de dados pessoais e para criar a Autoridade Nacional de Proteção de Dados. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/57220361/do1-2018-12-28-medida-provisoria-n-869-de-27-de-dezembro-de-2018-57219992. Acesso em: 14 set. 2021.

_____. **Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP): inovar e investir para sustentar o crescimento**. Brasília, 2008.

_____. **Portaria nº. 939 de 27 de fevereiro de 2018**. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Diário Oficial da União**. República Federativa do Brasil, Brasília, 27/02/2018. Disponível em http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/4523201/do1-2018-02-27-portaria-n-939-de-22-de-fevereiro-de-2018-4523197. Acesso em 20 mar. 2020.

_____. **Relatório de Macrometas – Política de Desenvolvimento Produtivo (Maio/2008 – Junho/2009)**. Brasília, 2009.

BRESCHI, S.; MALERBA, F. **Sectoral Innovation Systems: Technological Regimes. Schumpeterian Dynamics and Spatial Boundaries**, 1997. In: EDQUIST, C. *Systems of innovation: technologies. institutions. and organizations*. Routledge, Abingdon, Oxfordshire. 2ª ed., 1997: pgs 130-152.

BRITTO, J. N. P. **Características estruturais e modus operandi das redes de firma em condições de diversidade tecnológica** - Tese de Doutorado IE/UFRJ, 1999.

BRITTO, J. N. P. **Redes de cooperação entre empresas**. In: KUPFER, D. Economia Industrial: Fundamentos teóricos e práticos no Brasil. Rio de Janeiro Editora Campus, 2002.

BRYNJOLFSSON, E., MCAFEE, A. **The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies**. First Edition. New York: W. W. Norton & Company, 2014.

CAMAGNI, R. **Local milieu, uncertainly and innovation networks: towards a new dynamic theory of economic space**. In: CAMAGNI, R. (Ed.). Innovation networks: spatial perspectives, 1991. London: Belhaven Press.

CAMPOS, E. S. **Curso de fabricação de papéis “tissue”**. Eucalyptus Online Book, 2012. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2012_Curso_Fabricacao_papel_tissue.pdf. Acesso em: 05 jan. 2022.

CANEDO, E. D.; CALANZAS, A. T. S.; MASSON, E. T. S.; COSTA, P. H. T.; LIMA, F. **Perceptions of ICT practitioners regarding software privacy**. Entropy 2020, 22, 429; doi:10.3390/e22040429

CASSIOLATO, J. E. **Sistemas de inovação e cooperação: uma contribuição ao debate**. RedeSist – Economics Institute. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. Disponível em https://www.academia.edu/31122467/Sistemas_de_inova%C3%A7%C3%A3o_e_coopera%C3%A7%C3%A3o_uma_contribui%C3%A7%C3%A3o_a_o_debate . Acesso em: 13 mar. 2021.

CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M. **Sistemas de inovação e desenvolvimento: as implicações de política**. Revista São Paulo em Perspectiva, 19 (1): 34-45, 2005.

CASTILHO, R.; FREDERICO, S. **Espaço geográfico, produção e movimento: uma reflexão sobre o conceito de circuito espacial produtivo**. Sociedade & Natureza. Soc. nat. (On-line), v. 22, n. 3, Uberlândia, dez. 2010.

CATAPULT NETWORK. **Case studies from across the catapults**. Disponível em <https://catapult.org.uk/our-work/case-studies/>. Acesso em: 28 fev. 2022.

CATENAZZO, D.; O'FLYNN, B. WALSH, M. **On the use of Wireless Sensor Networks in Preventative Maintenance for Industry 4.0**. Twelfth International Conference on Sensing Technology (ICST), 2018.

CBM CONNECT. **HD Technologies: press roll bearing damage detection**, 2019. Disponível em: <https://www.cbmconnect.com/hd-technologies-press-roll-bearing-damage-detection/>. Acesso em: 04 jan. 2022.

CHANG, HÁ J.. **Chutando a escada - A estratégia do desenvolvimento em perspectiva histórica**. Cap. 2 - Políticas de desenvolvimento econômico: perspectiva histórica das políticas industrial, comercial e tecnológica. São Paulo: Editora UNESP, 2002.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. **Indústria 2027: Riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas. Confederação Nacional da Indústria**. – Brasília: CNI, 2018. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/35/da/35da9963-ef7b-4503-bf1c-28b9cb3b0530/industria_2027_-_capa_02_-_alastair_nolan.pdf. Acesso em: 20 dez. 2021.

_____. Confederação Nacional da Indústria. **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil**. Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2016.

_____. Confederação Nacional da Indústria. **A política de desenvolvimento produtivo: avaliação e perspectivas: versão para discussão no Fórum Nacional da Indústria** / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília, 2009. Disponível em https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/4e/fd/4efd2a19-a343-4540-a489-55d88df4f818/20121126143920881669u.pdf. Acesso em: 19 mai. 2021.

COELHO, P. M. N. **Rumo à Indústria 4.0**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra. Departamento de Engenharia Mecânica, 2016.

COOKE, P. **Regional innovation systems, clusters, and the knowledge economy. Industrial and corporate change**, v. 10, n. 4, p. 945-974, 2001.

COOKE, P.; MORGAN, K. **The creative milieu: a regional perspective on innovation**. In: DODGSON, M. & ROTHWELL, R. Cap. 3 - Handbook of industrial innovation, 1994.

COOKE, P.; URANGA, M. G.; ETXEBARRIA, G. **Regional systems of innovation: an evolutionary perspective**. Reino Unido: Environment and Planning, 1998. v. 30, p.1563-1584.

COORDENADOR-A. **Entrevista presencial realizada 19 de outubro de 2021**. Graduado em Administração de Empresas pela Universidade de Telêmaco Borba (PR). Atualmente é Coordenador de Manutenção na FIRMA BR.

COORDENADORA-B. **Entrevista on-line realizada 21 de dezembro de 2021.** Graduada em Análise e Desenvolvimento de Sisemas. Atualmente é coordenadora corporativa em desenvolvimento e inovação na FIRMA BR.

CORDEIRO, J.; NEVES, M. **Efeitos da pandemia por covid-19 no setor de celulose e papel.** Panorama setorial de mercado/PÖYRY. Revista O Papel, jun, 2020. Disponível em: http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1592859303_12119169b2cc2b67f58fb24cec7b6402_2002105451.pdf.

CORONEL, D. A.; CAMPOS, A. C.; AZEVEDO, A. F. Z.; CARVALHO, F. M. A. **Impactos da política de desenvolvimento produtivo na economia brasileira: uma análise de equilíbrio geral computável.** Revista Pesquisa e Planejamento [Econômico – PPE. v. 41, n. 2. 2011.

COSTA, H. N. **Troca rápida de ferramentas: um processo que pede padronização,** 2019. Disponível em: <http://moldesinjecaoplasticos.com.br/troca-rapida-de-ferramentas>. Acesso em: 19 mar. 2022.

DALENOGARE, L. S.; BENITEZ, G. B.; AYALA, N. F. **The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance.** International Journal of Production Economics 204. P. 383–394, 2018.

DAWSON, M. **Cyber security in industry 4.0: the pitfalls of having hyperconnected systems.** Journal of Strategic Management Studies. Vol. 10, No. 1, 19–28, 2018. Doi: 10.24760/iasme.10.1_19.

DIEGUES, A. C.; ROSELINO, J. E. **Indústria 4.0 e as redes globais de produção e inovação em serviços intensivos em tecnologia: uma tipologia e apontamentos de política industrial e tecnológica.** Instituto de Economia. Unicamp, 2019.

DOSI, G. **Techonological paradigms and techonological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change.** In: Reserch Policy, 1982.

_____, G. **The nature of the innovative process.** In: DOSI, G.; FREEMAN, C.; NELSON, R.; SILVERBERG, G.; SOETE, L. (Ed.). Technical change and economic theory. London: Pinter Publishers, 1988.

DOSI, G.; GIANNETTI, R.; TONINELLI, P. A. **Theory and history os technology and business firms: the microeconomics of industrial development.** In: DOSI, G.; GIANNETTI, R.; TONINELLI, P. A (editors). Technology and enterprise in a historical perspective, Oxford: Clarendon Press, 1992.

DROUIN, J. C. **Os grandes economistas,** 1ªedição. São Paulo: Martins, 2008.

DUYSTERS, G. & HAGEDOORN, J.. **A colaboração tecnológica internacional: suas consequências para as economias de industrialização recente**. In: KIM, L. & NELSON, R.. Tecnologia, aprendizado e inovação – As experiências das economias de industrialização recente. Ed. UNICAMP. 2005.

DYNAMOX. **Detecção de Falha de Rolamento**. 2020. Disponível em <https://dynamox.net/blog/detec%C3%A7%C3%A3o-de-falha-de-rolamento-com-nosso-medidor-de-vibra%C3%A7%C3%A3o-empresa-t%C3%AAxtil-de-s%C3%A3o-paulo/>. Acesso em: 05 jan. 2022.

EDQUIST, C. **Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations**, Pinter Publishers/Cassell Academic, London, 1996.

_____, C. **Systems of Innovation: perspectives and challenges**. In: FAGERBERG, J.; MOWERY, D.; NELSON, R. (Ed.) The Oxford handbook of innovation. Oxford: Oxford University Press, 2004.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **História da Embrapa**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/memoria-embrapa/a-embrapa>

ENDEAVOR INSIGHT. **How did Silicon Valley become Silicon Valley**. Disponível em: <https://endeavor.org/insight/new-endeavor-insight-report-analyzes-the-source-of-silicon-valleys-development>. Acesso em: 05 mai. 2020.

ENGENHARIAE. Produção de papel com palha da cana-de-açúcar, 2017. Disponível em: <https://engenhariae.com.br/meio-ambiente/brasil-comeca-a-produzir-papel-feito-de-palha-de-cana-de-acucar>. Acessi em 05/01/2022.

ENGENHEIRO-A. **Entrevista presencial realizada 19 de outubro de 2021**. Graduado em Engenharia de Automação na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Atualmente é engenheiro de manutenção na FIRMA BR.

ENGENHEIRO-B. **Entrevista on-line realizada 14 de dezembro de 2021**. Graduado em Engenharia de Automação na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Atualmente é engenheiro de manutenção na FIRMA BR.

EVANS, P. B. **Autonomia e Parceria: Estados e transformação industrial**. Rio de Janeiro: Ufrj, 2004.

EVANS, P. B.; TIGRE, P B. **Estratégias de desenvolvimento de indústrias de alta tecnologia: análise comparativa da indústria no Brasil e na Coreia do Sul**. Revista Brasileira de Economia. Rio de Janeiro, v. 43, n. 4. Pg. 549-573. Out/dez. 1989.

ETZKOWITZ, H. **MIT and the rise of entrepreneurial science**. London: Routledge, 2002.

European Commission. **Digital Innovation Hubs 2020**. Disponível em: <https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/digital-innovation-hubs>. Acesso em: 07/05/2022.

FAJNZYLBBER, P. **A capacitação tecnológica da indústria brasileira de computadores e periféricos: do suporte governamental à dinâmica do mercado**. Dissertação de Mestrado. Unicamp: Campinas, 1993. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/286491/1/Fajnzylber_Pablo_M.pdf. Acesso em: 03 abr. 2020.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations - **Global Forest Resources Assessments**, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/forest-resources-assessment/current-assessment/en/>. Acesso em: 01 jun. 2020.

_____. FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT. 2019**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#al/GF>. Acesso em: 15 jun. 2020.

_____. FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Forest product statistics**. Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/statistics/80938@180724/en/>. Acesso em: 20 out. 2020.

FDT GROUP. FDT Group AISBL. **Paper mil production**. Disponível em: <https://www.fdtgroup.org/case-study/dalum/>. Acesso em: 03 jan. 2021.

FIEP. Federação das Indústrias do Estado do Paraná. **Panorama setorial: indústria de celulose, papel, embalagens e artefatos de papel**. Curitiba, 2016. Disponível em www.fiepr.org.br/para-sindicatos/estudos-economicos/uploadAddress/papel_digital%5b75083%5d.pdf. Acesso em: 01 jun. 2020.

_____. **Representação Baden-Württemberg no Brasil**. Curitiba, 2021. Disponível em: <http://www.fiepr.org.br/cinpr/servicoscin/promocao-comercialcin/representacao-baden-wuerttemberg-no-brasil-1-24577-381817.shtml>. Acesso em: 13 mai. 2021.

FIESP. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Avaliação da Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP)**. São Paulo, 2011. Disponível em <http://az545403.vo.msecnd.net/uploads/2012/05/avalia%C3%A7%C3%A3o-da-pol%C3%ADtica-de-desenvolvimento-produtivo-final.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2021.

FIGUEIREDO, P. N.; PINHEIRO, M.C.; QUEIROZ, F.; WAGNER, R.; CABRAL, B.; PERIN, F. **Acumulação de Capacidades Tecnológicas e Fortalecimento da**

Competitividade Industrial no Brasil: Breve Análise Empírica da Indústria de Celulose e Papel. Programa de Pesquisa em Gestão da Aprendizagem Tecnológica e Inovação Industrial no Brasil. EBAPE/FGV, 2016.

FOCUS METROLOGIA. **Características do Micrômetro**, 2020. Disponível em <https://focusmetrologia.com/2020/04/27/micrometro/>. Acesso: 05 jan. 2022.

FORNECEDOR-A. **Entrevista on-line realizada em 06 de dezembro de 2021.** Graduado em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Atualmente é desenvolvedor de sistema.

FORNECEDOR-B. **Entrevista on-line realizada em 30 de novembro de 2021.** Graduado em Engenharia de Processos. Atualmente é proprietário de uma startup e projetista de novas tecnologias de realidade mista.

FORNECEDOR-C. **Entrevista on-line realizada em 25 de novembro de 2021.** Graduado em Engenharia de Automação. Atualmente é engenheiro e representante no Brasil do principal *player* fornecedor de máquinas e equipamentos para a indústria de celulose e papel.

FORNECEDOR-D. **Entrevista on-line realizada em 28 de julho de 2021.** Graduado em Engenharia Industrial Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2003).

FREEMAN, C. **The Economics of Industrial Innovation.** London: Frances Pinter, 1982.

_____, C. **Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan.** London, Frances Printer, 1987.

_____, C. **Japan: A new National Innovation Systems?**, in Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R.R., Silverberg, G. and Soete, L.,(eds.), *Technology and economic theory*, London, Pinter Publishers, 1988.

_____, C. **The National System of Innovation in historical perspective.** Cambridge Journal of Economics, Volume 19, Issue 1, February 1995, Pages 5–24, 1995.

_____, C. **Network of innovators: a synthesis of research issues.** Research Policy, pgs. 499-514, 1991.

_____, C. **A hard landing for the 'new economy'? Information technology and the United States national system of innovation.** In: FREEMAN, C. *Systems of innovation: selected essays in evolutionary economics.* Cheltenham, UK; Northampton, MA: Edward Elgar, 2008.

FREEMAN, C.; LUNDEVALL, B.-Å. **Small Countries Facing the Technological Revolution,** London: Pinter Publishers, 1988.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. **Structural crises of adjustment business, cycles and investment behavior.** IN: DOSI, G. *et al.* *Technical Change and Economic Theory.* London: Pinter Publishers, 1988.

FREEMAN, C.; SOETE, L. **Os sistemas nacionais de inovação.** In: FREEMAN, C. e SOETE, L. *A Economia da inovação industrial.* Campinas: SP. Editora da Unicamp, 2008.

FREITAS, M. C. P. **Estratégias nacionais para a indústria 4.0.** In: IEDI. Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. *Indústria e o Brasil do futuro.* Setembro, 2018. Disponível em https://iedi.org.br/media/site/artigos/20180918_industria_e_o_brasil_do_futuro.pdf. Acesso em: 15 mai. 2020.

FRM. Fábrica de Rolamentos e Mancais. **Características do conjunto FRM, 2021.** Disponível em https://www.frm.ind.br/dados_tecnicos.html. Acesso em: 05 jan. 2022.

FURTADO, M. B. **Síntese da economia brasileira.** 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

GAFFETY. **Como funcionam as leis de proteção de dados nos Estados Unidos,** 2021. Disponível em https://gatefy.com/pt-br/blog/como-funcionam-leis-protecao-dados-estados-unidos/#elementor-toc__heading-anchor-12. Acesso em: 10 set. 2021.

GDPR. **General Data Protection Regulation.** Disponível em: <https://gdpr-info.eu/>. Acesso em: 10 set. 2021.

GDPEU. **Regulation Data Protection Rules.** Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/priorities/justice-and-fundamental-rights/data-protection/2018-reform-eu-data-protection-rules_en. Acesso em: 10 set. 2021.

GERENTE-A. **Entrevista on-line realizada em 19 de julho de 2021.** Formação em Engenharia de Processo (1990) e experiência de 37 anos no setor de celulose e papel. Atualmente gerente de manutenção da FIRMA-BR.

GONDIN, P. R. **O processo interativo no setor de tecnologia da informação e comunicação (TIC) em busca da inovação: uma comparação entre os polos de**

Coimbra e de Curitiba. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Políticas Públicas. Curitiba, 2017.

GÖTZ, M., & JANKOWSKA, B. **Clusters and Industry 4.0 – do they fit together?** *European Planning Studies*, 25(9), 1633–1653, 2017. doi:10.1080/09654313.2017.13270

GUOQUANG GROUP. **Calandra para papel**, 2022. Disponível em: <http://www.calenderingmachine.com.pt/2-1-soft-calendering-machine.html>. Acesso em 05 jan. 2022.

HAGEDOORN, J. **Undderstanding the rationale of strategic techonology partening: interorganizational modes of cooperation and sectoral diferences.** *Strategic Management Journal*, vol. 14, 371-385, 1993.

HAGEDOORN, J. **Internationalization of companies: the evolution of organizational complexity, flexibility and networks of innovation.** MERIT Research Memorandum 2/94-008, feb., 1994.

HAGEDOORN, J.; SCHAKENRAAD, J. **Leading companies and networks of strategic aliances in information techologies.** Elsevier Science Publishers v. 21 163-190, 1992.

HIGACHI, H. Y. **Estratégias tecnológicas das empresas líderes na indústria brasileira do papel.** Dissertação de Mestrado – Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas, 1993. Disponível em http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/285479/1/Higashi_HermesYukio_M.pdf. Acesso em: 10 mai 2021.

HORA, A. B. **Análise da formação da base florestal plantada para fins industriais no Brasil sob uma perspectiva histórica.** In **BNDES Setorial**, v. 42, p. 383-426, 2015. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9615>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

_____, A. B. **Panoramas setoriais 2030: papel e celulose.** In: **Panoramas setoriais 2030: desafios e oportunidades para o Brasil.** Rio de Janeiro : Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2017. Sem volume, p. 79-91.

HULSINK, W.; MANUEL, D.; BOUWMAN, H. **Clustering in ICT: From Route 128 to Silicon Valley, from DEC to Google, from Hardware to Content.** ERIM Report Series Research in Management ERS-2007-064-ORG, Erasmus Research Institute of Management (ERIM), ERIM is the joint research institute of the Rotterdam School of Management, Erasmus University and the Erasmus School of Economics (ESE) at Erasmus University Rotterdam, 2007.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBA 2019**. São Paulo. 2019.

_____. IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Investimentos setor florestal até 2023**. 2-2019. Acesso em 01 fev. 2021. Disponível em <https://www.iba.org/setor-florestal-investe-r-32-6-bilhoes-ate-2023>.

IBGE. **Comissão Nacional de Classificação: C Indústrias de Transformação**. Disponível em: < <https://cnae.ibge.gov.br/?view=divisao&tipo=cnae&versao=10&divisao=17>>. Acesso em: 09 abr. 2020.

IEDI. Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. **Indústria e o Brasil do futuro**. Disponível em: https://iedi.org.br/media/site/artigos/20190311_industria_do_futuro_no_brasil_e_no_mundo.pdf. Acesso em: 20 dez. 2021.

_____. Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. **Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades para o Brasil. Edição 797, 2017**. Disponível em: https://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_797.html. Acesso em 10 mai. 2020.

_____. Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. **Indústria 4.0: o programa Make in India e outras iniciativas do governo indiano. Edição 849, 2019**. Disponível em: https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_849.html. Acesso em: 10 mai. 2020.

_____. Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. **Indústria 4.0: A Coreia do Sul e a Indústria do Futuro**. Edição 831, 2018 Disponível em: https://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_831.html. Acesso em: 22 mai. 2020.

_____. Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. **A Política de Desenvolvimento Produtivo**. Maio de 2008. Disponível em https://iedi.org.br/admin_ori/pdf/20080529_pdp.pdf. Acesso em: 19 mai. 2021.

IEL/NC. INSTITUTO EUVALDO LODI. NÚCLEO CENTRAL. **Síntese dos resultados. Volume 1 – Tecnologias disruptivas e indústria: Situação atual e avaliação prospectiva**. Luciano Coutinho, João Carlos Ferraz, David Kupfer, Mariano Laplane, Caetano Penna, Fernanda Ultremare, Giovanna Gielfi, Luiz Antonio Elias, Carolina Dias, Jorge Nogueira de Paiva Britto, Julia Ferreira Torracca - Brasília: IEL/NC, 2018. Disponível em <<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/industria-2027/publicacoes/>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

IMF. International Monetary Fund. **World Economic Outlook**. IMF Research Perspectives Report. Disponível em

<https://www.imf.org/external/pubs/ft/irb/archive.htm>. Acesso em: 28 fev. 2022.

IMOBILIS. Laboratório de computação móvel. **Acelerômetros: uso em celulares e detecção de velocidade. Parte 1**, 2013. Disponível em <http://www2.decom.ufop.br/imobilis/acelerometros-uso-em-celulares-e-deteccao-de-velocidade-parte-1/>. Acesso em: 05 jan. 2022.

INDIAMART. **Paper Machine Press Section**, 2022. Disponível em: <https://www.indiamart.com/proddetail/paper-machine-press-section-16535010762.html>. Acesso em: 03 jan. 2022.

INDIAMART. **Paper Machine Dryer Section**, 2022. Disponível em: <https://www.indiamart.com/proddetail/paper-machine-dryer-section-16535147773.html>. Acesso em: 05 jan. 2022.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Brasil em desenvolvimento: Estado, planejamento e políticas públicas/Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. – Brasília: IPEA, 2009.

ISO. IEC 29100, 2011. ISO/IEC 29100: Tecnologia da informação - Técnicas de segurança – Framework de privacidade. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/45123.html>. Acesso em: 10 set. 2021.

_____. ISO 55000:2014 Asset management — Overview, principles and terminology. Disponível em <https://www.iso.org/search.html?q=55000>. Acesso em: 21 dez. 2021.

JAYASRI, S. P.; VYSHNAVI, N. MOORTHI, S. **Wireless Monitoring, Control and Automation in Pulp and Paper Industry**. 14th IEEE India Council International Conference (INDICON), 2017.

JOERGES, B. **Large Technical Systems: Concepts and Issues**. In: MAYNTZ, R. & HUGHES, T. P. (eds.). *The Development of Large Technical Systems*, Frankfurt: Campus/Westview 1988, cap. 1.

KAIVO-OJA, J.; KNUDSEN, M. K.; LAURÁEUS, T. **Reimagining finland as a manufacturing base: the nearshoring potential of finland in an industry 4.0 perspective**. *Business, Management and Education*, 2018, 16(1): 65–80.

KAMILI, U. A.; NURCAHYO, R.; FARIZAL, A. **Supply Chain Effect to Environment of Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) Industry**. 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), 2020, pp. 469-473, doi: 10.1109/ICIEA49774.2020.9102079.

KANG, M. H. **The Korean Business Conglomerate: Chaebol then and now.** Berkeley: University of California, 1996.

KAPLAN, A. D.; CRUIT, J.; ENDSLEY, M. BEERS, S. M.; SAWYER, B. D.; HANCOCK, P. A. **The Effects of Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality as Training Enhancement Methods: A Meta-Analysis.** *Factors and Ergonomic Society*. Volume: 63 issue: 4, page(s): 706-726

KIM, L. **Da imitação à inovação: a dinâmica do aprendizado tecnológico da Coréia do Sul.** Cap. 4 – Estruturas analíticas. Editora Unicamp, 2005.

KLABIN. Projeto Puma: etapas 1 e 2. Disponível em <https://projetopuma.klabin.com.br/>. Acesso em: 06 mai. 2021.

KLINE, J.; ROSENBERG, N. **An overview of innovation.** In: LANDAU, R.; ROSENBERG, N. (Ed.). **The positive Sum Strategies: harnessing Technology for Economic Growth.** Washington DC: National Academic Press. 1986.

KONG, L. W.; MORENO, O. **Characterization and Prediction of Performance Loss and MTTR During Fault Recovery on Scale-Out Storage Using DOE & RSM: A Case Study with Ceph.** *IEEE Transactions on Cloud Computing*, Vol. 9, n. 2, April-June 2021. DOI 10.1109/TCC.2018.2874054.

KÜHN, A.; KLIEWE, D.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J. **Strategy-controlling of cluster-initiatives - the example of "it's OWL".** *ISPIM Conference Proceedings; Manchester* : 1-13. Manchester: The International Society for Professional Innovation Management (ISPIM), 2014.

LAMPE, D. R. **The Massachusetts miracle: high technology and economic revitalization.** Cambridge MA: MIT Press, 1988.

LASTRES, H. M. M.; CASSIOLATO, J. E.; LEMOS. C.; MALSONADO, J.; VARGAS, M. A. **Globalização e inovação localizada: experiências de sistemas locais no Mercosul.** In: J. E. Cassiolato, H.M. M Lastres. Editora do IBICT, 1999.

LEE, K.; MALERBA, F. **The fourth industrial revolution, changing global value chains and industrial upgrading in emerging economies.** *Journal of Economic Policy Reform* · May 2020. DOI: 10.1080/17487870.2020.1735386

_____, K.; MALERBA, F. **Catch-up cycles and changes in industry leadership: windows of opportunity and the responses by actors in sectoral systems.** *Research Policy*, 2017, 46 (2): 338-351.

LESLIE, S. W. **The biggest 'angel' of them all: the military and the making of Silicon Valley.** In: KENNEY, M. (Org.). *Understanding Silicon Valley: The Anatomy*

of an Entrepreneurial Region . Stanford, CA: Stanford University Press, 2000, pp. 44-67.

LI, F. **China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of Made-in-China 2025 and Industry 4.0.** Technological Forecasting and Social Change. Volume 135, pp. 66-74, October 2018.

LLK. Engenharia de Produção. Disponível em: <https://llk.com.br/conheca-as-vantagens-da-manutencao-preditiva-no-monitoramento-e-inspecao-de-equipamentos-instrumentos-e-processos/>. Acesso em: 20 dez. 2021.

LIMA, L. A. **O impacto da abertura comercial sobre o setor de celulose e papel.** Dissertação de Mestrado no curso de Pós-graduação da FGV/EAESP, 1993. Disponível em <http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/5398/1199400292.pdf;jsessionid=C5199336F7E72B4DFCA5B141A90FC17E?sequence=1>. Acesso em: 10 mai. 2021.

LIU, H.; Meng, S.; Zhang, J. S. G., Chen, L. **Reflections and suggestions on the development and engineering management of shale gas fracturing technology in China.** Natural Gas Industry B, 2019 – Elsevier.

LEMOS, M. B.; CAMPOS, B.; BIAZI, E.; SANTOS, F. **Capacitação tecnológica e *Catching Up*: o caso das regiões metropolitanas emergentes brasileiras.** Revista Economia Política. vol.26 no.1 São Paulo Jan./Mar. 2006

LUNDEVALL, B. A. **Innovation as an interactive process: from user-production interaction to the national system of innovation.** In DOSI *et al.*, "Technical Change and Economic Theory", Pinter Publishers, London, 1988.

LUNDEVALL, B. A. **National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning**, London: Pinter Publishers, 1992.

LUNDEVALL, B. A.; VANG, J.; JOSEPH, K.J.; CHAMINADE, C. **Innovation system research and developing countries.** In: LUNDEVALL, B.-A. (ORG.). Handbook of innovation systems and developing countries: building domestic capabilities in a global setting. Cheltenham, Glos, UK ; Northampton, MA, USA: Edward Elgar, 2009.

MAGRANI, E. **A internet das coisas.** Rio de Janeiro: FGV Editora, 2018.

MALERBA, F.; ORSENIGO, L. **Technological regimes and patterns of innovation: a theoretical and empirical investigation of the italian case.** in Heertje, A.; Petlman, M. (eds), *Evolving Industries and Market Structure*, University of Michigan Press: Ann Arbor, 1990.

MALERBA, F.; ORSENIGO, L. **Technological regimes and firm behaviour**. *Industrial and Corporate Change*, vol. 2, issue 1: 45-71, 1993.

MALERBA, F., ORSENIGO, L. **Schumpeterian patterns of innovation**. *Cambridge Journal of Economics*, vol. 19 issue 1: 47-66, 1994.

MALERBA, F.; ORSENIGO, L. **Technological Regimes and Sectoral Patterns of Innovative Activities**. University of Brescia and CESPRI, Bocconi University and Bocconi University, Via Sarfatti 25,1-20136 Milan, Italy, 1997.

MALERBA, F. **Sectoral systems of innovation: basic concepts**. In: MALERBA, F. *Sectoral Systems of Innovation: concepts, issues and analyses of six major sectors in Europe*. Cambridge University Press Cambridge University Press, 2004.

MALERBA, F. McKELVEY, M. Knowledge-intensive innovative entrepreneurship integrating Schumpeter, evolutionary economics, and innovation systems. *Small Bus Econ* 54, 503–522, 2020.

MARQUES, I. C. **Minicomputadores brasileiros nos anos 1970: uma reserva de mercado democrática em meio ao autoritarismo**. *História, Ciências e Saúde - Manguinhos* vol.10 n.2 Rio de Janeiro May/Aug. 2003.

MARTIN, C. **Indústria 4.0 aponta caminhos para chegar à fábrica do futuro**. *Revista O Papel*. Abril, 2017. Disponível em: http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1493172703_1848a7a04c4c05f94d4a08ec1b79f410_1124911907.pdf. Acesso em: 13 nov. 2020.

MARTIN, C. **Indústria do futuro sob o olhar dos fornecedores**. *Revista O Papel*. Dezembro, 2017a. http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1513229529_9eee9868e07ee1329f03dacc714bed20_626467865.pdf Acesso em: 13 out. 2020.

MATTOS, C. **Análise do Plano Brasil Maior**. Nota técnica da Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. Brasília, 2013.

MASKELL, P.; MALMBERG, A. **Towards an explanation of regional specialization and industry agglomeration**. *European Planning Studies*, 5: 1 pp. 25-41, 1997.

MAZZUCATO, M. **O estado empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. setor privado**. Ed. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.

_____, M. **Mission-Oriented innovation policy: challenges and opportunities**. IIPP Working Paper, UCL: Londres, 2017.

MAZZUCATO, M.; PENNA, C. **The Brazilian Innovation System: a Mission-Oriented polycy Proposal**. Temas Estratégicos para o Desenvolvimento do Brasil, Brasília, 2016.

MDIC. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. SALERNO, M. S.; DAHER, T. **Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior do Governo Federal (PITCE): Balanço e Perspectivas**. Brasília, 2006. Disponível em http://www.mdic.gov.br/sistemas_web/renai/public/arquivo/arq1272980896.pdf. Acesso em: 17 mai. 2021.

_____. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Comex Stat - sistema para consultas e extração de dados do comércio exterior brasileiro**. Disponível em <http://comexstat.mdic.gov.br>. Acesso em: 17 mai. 2021.

MEITY. Ministry of Electronics & Information Technology, Government of India. Annual Report. 2021. Disponível em <https://www.meity.gov.in/>. Acesso em: 27 fev. 2022.

MEKKI, K.; BAJIC, E.; CHAXEL, F.; MEYER, F. **A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment**. ICT Express, Volume 5, Issue 1, 2019.

MELLO, D. **Análise das condições competitivas da indústria de papel de embalagens do estado de Santa Catarina**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Sócio-Econômico. Programa de Pós-Graduação em Economia, 2002. Acesso em: 01 fev. 2021. Disponível em <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82498?show=full>.

METI. Ministry of Economy, Trade and Industry. **Policy Concept Titled “Connected Industries” as a Goal that Japanese Industries Should Aim for**. Disponível em https://www.meti.go.jp/english/policy/mono_info_service/connected_industries/index.html. Acesso em: 27 fev. 2022.

MICROSOFT. **Azure – Plataforma de cooptação em nuvem**. Disponível em: <https://azure.microsoft.com/pt-br/>. Acesso em: 29 dez. 2021.

_____. **HoloLens 2 Device – Realidade mista**. Disponível em: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>. Acesso em: 29 dez. 2021.

MMTEC. Inspeções industriais: técnicas de manutenção preditiva, 2020. Disponível em: <https://www.mmtec.com.br/conheca-as-principais-tecnicas-de-manutencao-preditiva/>. Acesso em: 05 jan. 2022.

MOORE, G. E. **Cramming More Components onto Integrated Circuits,”**

Electronics, vol. 38, no. 8, 1965, pp. 1–14. Disponível em <https://newsroom.intel.com/wp-content/uploads/sites/11/2018/05/moores-law-electronics.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2020.

MORRIS, R. **The First Trillion-Dollar Startup**, 2014. Disponível em <https://techcrunch.com/2014/07/26/the-first-trillion-dollar-startup>. Acesso em: 02 mai. 2020.

MOWERY, D. **Industrial Research and Firm Size, Survival and Growth in American Manufacturing, 1921-1946: An Assessment**, *Journal of Economic History*, Vol. 43, pp. 953-80. Myers, S., 1983.

MROUE, H.; NASSER, A.; HAMRIOUI S.; PARREIN, B.; MOTTA-CRUZ, E.; ROUYER, G. **MAC layer-based evaluation of IoT technologies: LoRa, SigFox and NB-IoT**. 2018 IEEE Middle East and North Africa Communications Conference (MENACOMM), 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/MENACOMM.2018.8371016.

MTPS, Ministério do Trabalho e Previdência Social. RAIS: **Relação Anual de Informações Sociais**. <https://bi.mte.gov.br/bgcaged/login.php>. Acesso em: 07 jul. 2021.

MÜLLER, J.M., VOIGT, K. **Sustainable Industrial Value Creation in SMEs: A Comparison between Industry 4.0 and Made in China 2025**. *Int. J. of Precis. Eng. and Manuf.-Green Tech.* 5, 659–670, 2018.

NASSCOM. National Association of Software and Services Companies. **Indian Tech Start-up Ecosystem 2018: Approaching Escape velocity Ecosystem**, 2018. Disponível em <https://www.nasscom.in/knowledge-center/publications/indian-tech-start-ecosystem-2018-approaching-escape-velocity>. Acesso em 27 fev. 2022.

NELSON, R. **National Innovation Systems: A Comparative Analysis**, Oxford, Oxford University Press, 1993.

_____, R. **As fontes do crescimento econômico**. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2005.

NELSON, R.; WINTER, S. G. **Search of useful theory of Innovation**. *Research Policy*, 1982.

NEMOTO, M. C. M. O.; SANTOS, G. Z. V.; PINOCHET, L. H. C. **Adoção de inovação: internet das coisas para melhoria de desempenho de sustentabilidade na Klabin**. *Revista Gestão & Tecnologia*, Pedro Leopoldo, v. 18, n. 1, p. 197-224, jan./abr. 2018.

NIST. National Institute of Standards and Technology. **SP 800-53 - Control Baselines for Information Systems and Organizations, 2020**. Disponível em: <https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-53b/final>. Acesso em: 10 set. 2021.

NORDAL, H.; EL-THALJI, I. **Lifetime benefit analysis of intelligent maintenance: simulation modeling approach and industrial case study**. Appl. Sci. 2021, 11, 3487. <https://doi.org/10.3390/app11083487>

NORDIC INNOVATION. **Annual Report 2020**. 2021. Disponível em: <https://pub.nordicinnovation.org/Annual-Report-2020/#74796>. Acesso em: 26 dez. 2021.

OLIVEIRA, A. B., PEREIRA, J. M.; NASCIMENTO, A. A. **Cadeia produtiva de papel e celulose e transformações recentes no sudoeste maranhense**. InterEspaço. Revista de Geografia e Intersisciplinaridade. Grajaú/Maranhão. V. 4, n. 12. P. 134-154. Jan. 2017.

OCDE. **Science, Technology and Industry Scoreboard**. Paris: OCDE, 2003.

ORGLMEISTER, C. **Suzano adota inteligência artificial para monitoramento de fábrica**. <https://computerworld.com.br/inovacao/suzano-adota-inteligencia-artificial-para-monitoramento-de-fabrica/>

PAVITT, K. **Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory**. Research Policy, Volume 13, Issue 6, pg. 343-373, 1984.,

PAVITT, K. **Key characteristics of large innovating firms**. In: DODGSON, M. & ROTHWELL, R. The handbook of industrial innovation. Edward Elgar, 1994.

PELAEZ, V.; SZMRECSÁNYI, T. (Org.). **Economia da inovação tecnológica**. São Paulo: Hucitec – Ordem dos economistas do Brasil, 2006.

PENG, H. **Piv measurements of flow through forming fabrics**. Thesis in Master of Applied Science. B.Eng., Shanghai Jiao Tong University, P.R.China, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/286055124_PIV_measurements_of_flow_through_forming_fabrics. Acesso em: 04 jan. 2022.

PINHEIRO, M. C.; FIGUEIREDO, P. N.; CABRAL, B.; QUEIROZ, F. WEGNER, R.; TAVARES, S. **A Urgente Necessidade do Fortalecimento da Competitividade Industrial Brasileira: Reflexão Inicial sobre o Papel da Produtividade e da Acumulação de Capacidades Tecnológicas Inovadoras**. Technological Learning and Industrial Innovation Working Paper Series, Rio de Janeiro, n. 1, dec. 2015. ISSN 2316-7726. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/tlii-wps/article/view/57779>. Acesso em: 12 nov. 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.12660/tlii-wps.57779>.

PIOTTO, Z. C. **Eco-eficiência na indústria de celulose e papel – estudo de caso.** Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2003. 379 p.

PERSSON, B. **Contextualizing industry 4.0 in the pulp and paper industry: A case study at Stora Enso.** Master of Science in Industrial Engineering and Management. Health, Science and Technology Program – Karlstads Universitet, 2018.

PETRILIN, A. **Sem setup, sem tempo de parada para fábricas inteligentes.** Disponível em <https://www.industria40.ind.br/artigo/19300-sem-setup-sem-tempo-de-parada-para-fabricas-inteligentes>. 2020. Acesso em: 26 dez. 2021.

PwC. PricewaterhouseCoopers. **Pesquisa Global indústria 4.0: Relatório Brasil.** <https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/servicos/assets/consultoria-negocios/2016/pwc-industry-4-survey-16.pdf>. Último acesso em: 19 mar. 2020.

_____. Price waterhouse Coopers. **Global annual review 2019.** Disponível em: <https://www.pwc.com/gx/en/about/global-annual-review-2019.html#1>. Acesso em: 19 mar. 2020.

RADAELLI, A. B.; KLOC, A. E.; BRUNALDI, K. R.; VARGAS, M. **Políticas públicas de inovação e empreendedorismo o programa Start-up Brasil.** Revista de Empreendedorismo e Inovação Sustentáveis. Volume 5 – Número 1 – jan – abr/2020.

REISCHAUER, G. **Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize innovation systems in manufacturing.** Technological Forecasting & Social Change, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.02.012>

RNP. Rede Nacional de Ensino e Pesquisa. **O que são testbeds?** 2021. Disponível em: <https://www.rnp.br/servicos/testbeds>. Acesso em: 13 set. 2021.

RONDÓN, R.; MAHMOOD, A.; GRIMALDI, S.; GIDLUND, M. **Understanding the performance of bluetooth mesh: reliability, delay, and scalability analysis.** IEEE Internet of Things Journal, Vol. 7, No. 3, 2020.

ROSEMBERG, N. **Por dentro da caixa preta: tecnologia e economia.** Campinas: Ed. UNICAMP, 2006.

ROTHWELL, R. **The difficulties of national innovation policies.** In: MACDONALD, S.; LAMBERTON, D.; MANDEVILLE, T. The trouble with technology: explorations in the process of technological change. Londres: Frances Pinter, 1983.

ROTHWELL R., FREEMAN C., HORLSEY A., JERVIS V.T.P., ROBERTSON A.B., TOWNSEND, J., **SAPPHO updated: Project SAPPHO Phase II.** *Research Policy* 3: 258-291, 1974.

RUPPERT, L.; BERTELLA, M. A. **A internacionalização das empresas sul-coreanas e o papel do estado, 2018.** Revista de Economia Contemporânea, 2018: p. 1-24. Campinas: Journal of Contemporary Economics.

SABEL, C., F., HERRIGEL, G., B., DEEQ, R., KAZIS, R. **Regional prosperities compared: Massachusetts and Baden-Württemberg in the 1980s.** Economy and Society Volume 18 Number 4, 1984.

SANTANA, L. V. **Avaliação de políticas públicas setoriais: o fator retroalimentados da demanda de políticas econômicas pelo setor florestal no Brasil. O complexo papel-celulose.** Tese de Doutorado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias. UFPR, 1999. Acesso em: 02 mar. 2021. Disponível em <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/28896>

SANTOS, L. M. **Relação universidade empresa no Brasil: o papel dos Institutos SENAI de Inovação como indutor da aproximação.** Tese (doutorado). Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Sociais Aplicadas. Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas. Curitiba, 2016.

SÁTYRO, W. C.; SACOMANO, J. B.; GONÇASLVES, R. F.; BONILLA, S. H.; SILVA, M. T. **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos.** São Paulo: Blucher, 2018.

SCHROEDER, W. **Germany's Industry 4.0 strategy: Rhine capitalism in the age of digitalisation.** Friedrich-Ebert-Stiftung London, 2016.

SCHUMPETER J. A. **Business Cycles: a theoretical, historial and statistical analysis of the capitalist process.** New York, NY: McGraw-Hill, 1939.

_____. **Capitalismo, Socialismo e Democracia.** Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura, 1961.

_____. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico** (1 ed., 1934). Tradução de Maria Sílvia Possas. Coleção Os Economistas. São Paulo: Nova Cultural, 1982.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution.** Crown Publishing Group, New York, 2016.

SERV-END. **Máquinas detectoras de trincas por partículas magnéticas, 2022.** Disponível em <http://www.servend.com.br/categoria-69>. Acesso em: 06 jan. 2022.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. DataSebrae

– Base de dados sobre empresas brasileiras. Disponível em: <https://datasebrae.com.br/totaldeempresas/>. Acesso em: 25 nov. 2020.

SCHMITZ, H. **Collective Efficiency: growth path for small-scale industry**. *Journal of Development Studies*, v. 31, n. 4, pp. 529-566 (1995).

SCHUH, G.; ANDERL, R.; DUMITRESCU, R.; KRÜGER, A.; ten HOMPEL, M. (Eds.): **Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies**, 2020. Acatech STUDY, Munich 2020.

SHAWAR, B. A.; ATWELL, E. S. **Using corpora in machine-learning chatbot systems**. *International Journal of Corpus Linguistics*, 10(4), 489–516, 2005.

SHEN, X. LIN, B. **Policy incentives, R&D investment, and the energy intensity of China's manufacturing sector**. *Journal of Cleaner Production*, 2020.

SHIMA, W. T.; GONDIN, P. R.; LOPES, M. C.; VARGAS, M. **Lições da política nacional de informática para uma nova política industrial de Internet das Coisas (Internet-of-Things – IoT)**. III ENEI – Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação. Uberlândia, Minas Gerais, 2018.

SILVA, G. S. **Controle de pH em máquina de produção de cartão multicamada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2010. Disponível em <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/26244/Dissertacao%20Geraldo%20Sales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 jan. 2022.

SILVA, I. B.; GODINHO FILHO, M. **Single-minute exchange of die (SMED): a state-of-the-art literature review**. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2019. doi:10.1007/s00170-019-03484-w

SOARES, N. S.; SILVA, M. L.; V. S. R.; LIMA, J. E.; ADAME, K. H. **Um estudo econométrico do mercado brasileiro de celulose, 1969 -2005**. XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2005.

STATISTA. Paper Industry – StatISTICS. Disponível em <https://www.statista.com/topics/1701/paper-industry>. Acesso em: 15 jun. 2020.

STURGEON, T. **Understanding Silicon Valley: Anatomy of an Entrepreneurial Region**. Martin Kenney, ed. Stanford University Press, 2000.

SUHERMAN, A. G.; SIMATUPANG, T. M. **The network business model of cloud computing for end-to-end supply chain visibility**. *Int. J. Value Chain Management*,

Vol. 8, No. 1, 2017.

SZMRECSÁNYI, T. J. M. K. **A Herança Schumpeteriana**. In: in Victor Pelaez e Tamás Szmrecsányi. *Economia da Inovação Tecnológica*. São Paulo: HUCITEC e Ordem dos Economistas do Brasil, (112-134), 2006.

TEECE, D. **As aptidões das empresas e o desenvolvimento econômico: implicações para as economias de industrialização recente**. In: Linsu Kim & Richard R. Nelson (org). *Tecnologia, aprendizado e inovação: as experiências das economias de industrialização recente*. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2005.

TEECE, D.; PISANO, G.; SHUEN, A. **Dynamic capabilities and strategic management**. *Strategic Management Journal*, Vol. 18:7, 509–533, 1997.

TEIXEIRA, J. E.; TAVARES-LEHMANN, A. T. C. P. **Industry 4.0 in the European union: Policies and national strategies**. *Technological Forecasting & Social Change* – 180, 2022.

The World Count. **Paper accounts for around 26% of total waste at landfills, 2021**. Disponível em: <https://www.theworldcounts.com/stories/Paper-Waste-Facts>

TIGRE, P. B. **Ciência e Tecnologia no Brasil: Uma Nova Política para um Mundo Global - Liberalização e capacitação tecnológica: o caso da informática pós-reserva de mercado no Brasil**. Instituto de Economia Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1993.

_____, P. B. **Gestão da inovação: a economia da tecnologia no Brasil**. Rio de Janeiro: Campus, 2006. 282p. ISBN: 85-352-1785-8.

TOGNETTI, E. S. **Controle de processos industriais**. Controle e Automação - LARA Engenharia de Controle e Automação (Mecatrônica). Universidade de Brasília – UnB, 2016. Disponível em: http://www.ene.unb.br/adolfo/Lectures/IEM/IEM_2016_Mecatronica_Eng_Quimica.pdf. Acesso em: 04 jan. 2022.

TOIVANEN, H., LIMA-TOIVANEN, M. B. **Inovação e a emergência do setor de celulose e papel brasileiro**. *O Papel* vol. 72, num. 4, p. 65 - 71 Abril, 2011.

TOMASEVICIUS FILHO, E. **Marco Civil da Internet: uma lei sem conteúdo normativo**. *Estudos avançados* 10 (86), USP: São Paulo, 2016.

TOPPINEN, A.; PÄTARI, S.; TUPPURA, A.; JANTUNEN, A. **The European pulp and paper industry in transition to a bio-economy: a Delphi study**. *Futures* 88. P. 1-14, 2017.

TOTVS. **Digital Twin: aplicabilidade e benefícios.** Disponível em <https://www.totvs.com/blog/inovacoes/digital-twin/>. Acesso em: 11 jan. 2021.

TRACTIAN. **Guia completo da manutenção preditiva, 2021.** Disponível em: <https://tractian.com/blog/manutencao-preditiva>. Acesso em: 05 jan. 2022.

UTMAXX. **Ultrassonografia industrial.** Disponível em: <https://www.utmaax.com.br/ultrassonografia-industrial>. Acesso em: 06 jan. 2022.

VAIDYA, V. D.; VISHWAKARMA, **A comparative analysis on smart home system to control, monitor and secure home, based on technologies like GSM, IOT, Bluetooth and mIC Microcontroller with ZigBee modulation**, 2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET), 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICSCET.2018.8537381.

VALMET. **Soluções inovadoras de calandra para todos os tipos de papel e cartão**, 2019. Disponível em: <https://www.valmet.com/pt/cartao-e-papel/maquinas-de-cartao-e-papel/calandra/>. Acesso em: 05 jan. 2022.

_____. **Secagem: Máxima eficiência com mínimo consumo de energia**, 2020. Disponível em: <https://www.valmet.com/pt/cartao-e-papel/maquinas-de-cartao-e-papel/secagem/>. Acesso em: 05 jan. 2022.

_____. **Máquinas de cartão e papel: enroladeira**, 2022. Disponível em: <https://www.valmet.com/pt/cartao-e-papel/maquinas-de-cartao-e-papel/enroladeira>. Acesso em: 05 jan. 2022.

VARONIS. **How to use wireshark: comprehensive tutorial + tips**, 2020. Disponível em: <https://blogvaronis2.wpengine.com/how-to-use-wireshark/>. Acesso em: 04 out. 2021.

VEILE, J. W.; KIEL, D.; MÜLLER, J. M.; VOIGT, K.-I. **Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry.** Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 31 No. 5, pp. 977-997, 2020. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0270>.

VEJLGAARD, B.; LAURIDSEN, M.; NGUYEN, H., KOVACS, Z. MOGENSEN. P; SORENSEN, M. **Coverage and capacity analysis of Sigfox, LoRa, GPRS, and NB-IoT.** 2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/VTCSpring.2017.8108666.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A, B. **A indústria de papel e celulose.** In: SOUSA. F. I. BNDES 60 anos: perspectivas setoriais. Rio de Janeiro: BNDES, 2012.

VIEIRA, J. A. **As tramas da política industrial nos governos FHC e LULA: um olhar a partir do IEDI e da CUT**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2017.

WEBSTER, A.J.; ETZKOWITZ, H. **Academic-industry relations: the second academic revolution?** London: Science Policy Support Group, 1991.

WEGNER, A.; GRAHAM, J.; RIBBLE, E. **A New Approach to Cyberphysical Security in Industry 4.0**. In *Cybersecurity for Industry 4.0*, edited by L. Thames and D. Schaefer, 59–72. New York: Springer, 2017.

ZANOLI, S. M.; COCCHINI, F.; PEPE, C. **Model Predictive Control with horizons online adaptation: a steel industry case study**. 2018 European Control Conference (ECC). June 12-15, 2018. Limassol, Cyprus.

ZENGLEIN, M. J.; HOLZMANN, A. **Evolving Made inChina 2025: China's industrial policy in the quest for global tech leadership**. Mercator Institute of China Studies – MERICS, nº 8, July, 2019.

APÊNDICE A – ROTEIRO DAS ENTREVISTAS

ROTEIRO PARA ENTREVISTAS: Apresentar de forma breve os objetivos da pesquisa;
Data:
Local:
Nome(s) do(s) entrevistado(s):
Cargo:
Tempo na empresa:

CATEGORIA 1 - PRINCIPAIS GARGALOS OU DESAFIOS TECNOLÓGICOS DO SETOR DE PAPEL

1. Como ocorrem as mudanças tecnológicas no chão de fábrica (com a detecção de falhas nos processos, sugestões ou iniciativas da equipe técnica, demanda apresentada por gerentes e supervisores)? *O objetivo aqui é compreender como ocorre o processo de decisão em relação à inovação, é centralizada na alta administração ou é realizada de forma participativa? Nesse sentido, busca-se é identificar quais os principais agentes responsáveis por direcionar o processo inovativo na empresa.*

2. Em relação a Unidade Monte Alegre, qual o grau de inovação que a firma busca? *(Inovação incremental, radical, P&D, imitação)*
 - 2.1 Quais são as ações adotadas em relação às novas tecnologias? Ser pioneiro (para isso precisa investir em P&D) ou esperar uma nova tecnologia chegar ao mercado? *O objetivo é identificar se a empresa aguarda por uma nova tecnologia já validada pelo mercado, ou inova antes dos concorrentes?*

 - 2.2 Como a empresa se diferencia em relação a outras organizações no que diz respeito à inovação? *A ideia é entender em que medida o setor de celulose e papel compete, ou busca associação com empresas do setor para inovar. A outra possibilidade é desenvolver internamente ações de (P&D).*

3. Quais os principais desafios (gargalos) para essa planta específica? Esse desafio pode ser considerado também um desafio para o setor de celulose e papel de forma geral. *Aqui é importante compreender: i) o que a indústria quer (e por isso é importante compreender a trajetória; ii) o que é necessário para se inovar diante das necessidades (o que precisa/necessita); iii) como isso pode influenciar todo um sistema de inovação). Outro item importante aqui é a especificidade do objeto de estudo (qual o tipo de papel que será analisado)*

- () Papel kraft produzido a partir da fibra de eucalipto
- () Celulose produzida a partir da fibra de eucalipto (Eucafluff)
- () Papel-cartão, tissue, outros
- () Desenvolver novas tecnologias relacionadas com processos químico-mecânicos

Outro: _____

3.1 Em que medida as novas TICS da Indústria 4.0 podem auxiliar nos desafios e gargalos? *Busca-se aqui abordar a relação entre a inovação (em termos de produtos) – desafios (gargalos) – e o impactos das novas TICS.*

Algumas sugestões/possibilidades de respostas:

- () Integração e agilidade nos processos
- () Tomada de decisões
- () Evitar perdas na produção, etc

Outro: _____

4. Em relação à inovação, quais os principais desafios?

- () Recursos para aquisição de novas tecnologias (máquinas e equipamentos)
- () Adaptações/implantação dos ativos e/ou infraestrutura já existentes
- () Confiabilidade, qualidade e segurança das novas tecnologias
- () Fornecedores prontos para entregar novas soluções com agilidade
- () Tempo destinado para testes de viabilidade e funcionalidade
- () Capacitação/treinamento de colaboradores
- () Políticas de incentivo por parte do governo
- () Parcerias para desenvolvimento de novas tecnologias (centros de pesquisa, universidades, empresas parceiras)
- () Manutenção das novas tecnologias implantadas
- () Integração de processos entre a base florestal e a produção final

Outro: _____

CATEGORIA 2 - TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA LINHA DE PRODUÇÃO

5. Quantos ativos (máquinas) a firma possui na Unidade em estudo (a maioria é para a produção de papel)? Quantos pontos identificados que existem adaptações ou incorporação de novas TICS?
- 5.1. Qual o tempo de utilização/uso das máquinas? As máquinas são antigas?
6. Qual dos dois segmentos (celulose e papel) demandam mais TICS da Ind. 4.0? *Em termos de pesquisa de base e novas tecnologias, qual o segmento que recebe mais investimentos: floresta (celulose) ou produção industrial (papel)?*
7. Em que medida as soluções tecnológicas adotadas no passado contribuem para a implantação/desenvolvimento de novas TICS?
8. Uma máquina somente pode produzir diferentes papéis? O que muda para diferenciar o papel (máquinas, setup da máquina, procedimentos químicos)?
9. Qual é o produto, processo e máquina demandam mais ações de adaptações/incorporações? Essas tecnologias são aplicadas para a produção de qual tipo de papel e/ou celulose?
10. Diante das tecnologias abaixo, qual é a mais importante ou tem maior impacto na empresa? *Além disso, é importante observar também a adoção de tecnologias de baixo custo como microcontroladores (e outros) a partir de plataformas para prototipagem eletrônica de hardware livre. Estas plataformas seguem padrões de licença de software GNU Lesser General Public License - LGPL e General Public License GPL e hardware em Creative Commons.*
- () IoT/Produção inteligente e conectada
 - () Big Data/AnalyTICS
 - () IA/Algoritmos Inteligentes
 - () Interação Homem-Máquina
 - () Computação em nuvem
 - () Realidade Aumentada
 - () Produção e armazenamento de energia
 - () 3D Print/Manufatura Aditiva
 - () Non Destructive Testing (NDT) Simulation

- Robótica
- Tecnologias de redes
- Tecnologias Móveis
- Biotecnologia e bioprocessos, Nanotecnologia
- Criptografia
- Outro? Qual _____

11.1 Quanto as TICS *open source*, existem estudos para adoção de soluções desta natureza?

11.2 As novas tecnologias podem facilitar a adoção de práticas e políticas sustentáveis na empresa? É possível citar algum exemplo?

12 Dentre as tecnologias de conectividade que estão sendo implementadas para a massificação do IoT, qual você considera que terá mais sucesso no Brasil?

- LoRaWAN
- NB-IoT
- LTE-M
- CAT-M
- Sigfox
- Wi-Fi HaLow
- Outro: _____

13 Em termos de protocolos para IoT, qual é utilizado?

- 6LoWPAN
- CoAP
- RLP
- Outro: _____

14 Como as tecnologias descritas podem impactar a indústria de celulose e papel? Por que essas tecnologias impactam a indústria? O que se mais espera (resultados) a partir da implantação da Indústria 4.0?

- Aumento de produtividade e competitividade (o que implica em mais investimentos)
- Redução nos custos de produção
- Melhorias na qualidade dos produtos
- Sustentabilidade (redução de resíduos de produção e inserção de poluentes na atmosfera, redução de excedentes de produção)
- Manutenção preditiva

- Integração da cadeia de valor
- Rapidez na entrega
- Controle de produção de forma móvel
- Produtos e serviços diferenciados (e customizados)
- Desenvolver novos modelos de negócios (ex. digitais e acesso aos clientes)
- Monitoramento retomo da produção e florestas
- Tomada de decisão
- Virtualização e descentralização
- Mudança no perfil dos colaboradores
- Otimização de processos e uso de ativos
- Antecipar e reduzir falhas (manutenção preventiva)
- Melhorar a segurança das informações
- Pesquisa de base
- Exigência por parte dos clientes (customização);
- Concorrência exige isso;
- Pioneirismo na adoção;
- Cultura inovadora;
- Outro? Qual _____

15 Em que medida, as soluções são desenvolvidas dentro da empresa? Na sua opinião isso é um ponto positivo ou negativo? Por quê?

- Novos equipamentos: *(Andritz, WEG, Valmet, Voigth, etc)*?
- Adaptações em máquinas e equipamentos antigos? *Essas adaptações ocorrem por meio de contratação de empresas fornecedoras (pequenas, médias ou players)*

15.1 Em caso de desenvolvimento/criação de novas TICS internas? Quem desenvolve estes produtos?

15.2 Em caso de contratação de fornecedores, como ocorre o processo de cooperação com outras empresas?

15.3 Em que medida é mais vantajoso incorporar novas TICS em relação à compra de novas máquinas.

15.4 Existe algum tipo de estudo da viabilidade técnica?

- 15.5 Como ocorrem a manutenção e atualização das tecnologias após as garantias de fabricação? É realizada internamente, por empresas terceiras ou pelos próprios fabricantes?
- 16 Quanto à contratação de novos profissionais para o desenvolvimento de IoT (ou outras tecnologias), há necessidade de contratação de profissionais com este perfil? Isso é objetivando o desenvolvimento interno de tecnologias, ou não?
- 17 Existem um Centro de Pesquisa interno? É para desenvolver novas TICS, ou está voltado somente para as questões de P&D (como pesquisas na área de biogenética, por exemplo)?

CATEGORIA 3 - GRAU DE MATURIDADE DO SISTEMA SETORIAL DE INOVAÇÃO DA INDÚSTRIA DO PAPEL

- 18 Em relação as novas tecnologias (Indústria 4.0), qual o percentual de tecnologias estrangeiras e das TICS nacionais adotadas pela empresa? Ocorre transferência de tecnologias?
- 19 Quais os fatores que levam a firma a comprar tecnologias estrangeiras: disponibilidade, confiabilidade, custo x benefício, etc?
- 20 Caso existisse no Brasil tecnologias e serviços para atender a demanda da indústria, como custos e qualidade semelhantes às tecnologias internacionais, qual seria a escolha da firma? Por grandes *players*, em decorrência de confiabilidade ou por novas empresas, como foco na redução de custos?
- 21 Verificar se as tecnologias testadas e aprovadas no chão de fábrica, podem ser (ou já foram) adotadas por outras empresas do setor e verificar se isso é possível e viável sob a ótica da indústria e dos fornecedores também.
- 22 Como a empresa se diferencia em relação a outras organizações no que diz respeito à inovação? *A ideia é entender em que medida o setor de celulose e papel compete, ou busca associação com empresas do setor para inovar. A outra possibilidade é desenvolver internamente ações de (P&D). A empresa se compara aos produtores globais de celulose e papel internacionais – China (papel), EUA (celulose)?*

CATEGORIA 4 - DETERMINANTES DO PROCESSO DE GERAÇÃO E DIFUSÃO/ RETARDAMENTO DE TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

- 23 A empresa participa de redes de inovação para o desenvolvimento de novas tecnologias?
- 23.1 Quais são as principais fontes de assimetrias competitivas que devem ser buscadas pelas empresas que constituem estas redes?
 - 23.2 Quais são os determinantes de competitividade dos atores destas redes?
 - 23.3 Como é a estratégia de distribuição de valor gerado pela rede entre os agentes que compõem as redes?
- 24 Como a indústria analisa a importância de parcerias com universidades e centros de pesquisa? *Já existem parcerias nesse sentido? Busca-se compreender como são produzidas as novas soluções (internamente ou em parceria com fornecedores e/ou outras instituições).*
- 24.1 Investimentos em treinamento, capacitação, novas tecnologias, novos modelos construtivos serão ações estratégicas para a competitividade das empresas.
- 25 Os clientes e/ou fornecedores influenciam na adoção de inovações? Ocorre customização de TICS, adaptações de produtos e novas soluções em decorrência das novas exigências de mercado?
- 26 Quais são as fontes de recursos para investimentos em novas TICS e/ou P&D (financiamentos via BNDEs, investimentos internos para P&D, parcerias, etc)?
- 27 Qual a estimativa de prazo para o retorno dos investimentos em Indústria 4.0? (Anos, meses)?

ROTEIRO PARA ENTREVISTAS – FORNECEDORES: O objetivo é analisar o perfil dos fornecedores de TICS em relação ao às formas de parcerias para o desenvolvimento de tecnologias. Busca-se, também, dados sobre os principais obstáculos encontrados pelos fornecedores.

Data:

Local:

Nome(s) do(s) entrevistado(s):

Nome da empresa:

Cargo:

Tempo na empresa:

1. **Qual é o tempo de experiência de sua empresa no setor econômico em que atua?**

2. Quanto ao porte, sua empresa é:
 MEI Pequeno porte Médio porte Grande porte *Startup*

3. **A empresa desenvolve e fornece de soluções voltadas à Indústria 4.0?**
 Sim Não

4. Em caso de resposta afirmativa, quais tecnologias abaixo a sua empresa desenvolve?
 IoT/Produção inteligente e conectada
 Big Data/AnalyTICS
 IA/Algoritmos Inteligentes
 Interação Homem-Máquina
 Computação em nuvem
 Realidade Aumentada
 3D Print/Manufatura Aditiva
 Criptografia
 Robótica
 Non Destructive Testing (NDT) Simulation
 Tecnologias Móveis
 Tecnologias de redes
 Produção e armazenamento de energia
 Biotecnologia e bioprocessos, Nanotecnologia
 Outro _____

5. Como fornecedor de TICS, qual a sua análise referente ao crescimento das novas tecnologias no Brasil? Ou seja, como você analisa a inserção/adesão das tecnologias voltadas à Indústria 4.0 no contexto nacional? As empresas nacionais (possíveis clientes) estão dispostas a investir nessas tecnologias nos próximos 5 anos?
6. Para o desenvolvimento das tecnologias você busca parcerias com outras instituições?
() Não () Sim

Em caso positivo, quais são os parceiros?

- () Fornecedores parceiros
() Indústrias para a testagem das soluções
() Universidades
() Centros de pesquisas
() Outro _____
7. Como fornecedor destas tecnologias, quais os principais obstáculos observados para a inserção de seus produtos no mercado? *Levantar os principais gargalos tecnológicos efetivos e potenciais da indústria de papel (ou segmento) que a tecnologia da indústria 4.0, pode resolver.*
- () Linhas de créditos/financiamentos
() Parcerias com universidades centros de pesquisas
() Adesão das indústrias (clientes) nacionais em relação as novas TICS nacionais
() Profissionais capacitados
() Concorrência com fornecedores estrangeiros
() Concorrência com fornecedores nacionais
() Pesquisa e Desenvolvimento
() Outros? Quais _____
8. Quando uma nova tecnologia estrangeira é incorporada no mercado, quais são os caminhos para adequar ou criar novas tecnologias para fornecer soluções compatíveis? (Ex. buscar novos desenvolvimentos, buscar financiamento para o desenvolvimento das tecnologias, buscar parcerias, etc.)
As TICS estrangeiras representam forte competidores no para os fornecedores nacionais, no que diz respeito à I4.0?

APÊNDICE B – FLUXOGRAMA COM AS PRINCIPAIS ETAPAS DA PESQUISA

