



Universidade Federal do Paraná

Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Industrial 4.0



Cristhiano Lopes
Guilherme Lamaur
Luiz Bento
Rafael Melo

HARMONIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO – DO CHÃO DE FABRICA À NUVEM

**CURITIBA
2020**

Cristhiano Lopes
Guilherme Lamaur
Luiz Bento
Rafael Melo

HARMONIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO – DO CHÃO DE FABRICA À NUVEM

Relatório apresentado como resultado parcial à obtenção do grau de especialista em Engenharia Industrial. Curso de pós graduação em Engenharia Industrial 4.0, departamento de Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Deivid Valle

**CURITIBA
2020**

HARMONIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO – DO CHÃO DE FÁBRICA À NUVEM

Cristhiano Lopes
Guilherme Lamaur
Luiz Bento
Rafael Melo

Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas, Curitiba - PR
cwlopes@gmail.com, guilherme.lamaur@volvo.com, luizjbento@hotmail.com, rafa.fausto@gmail.com

Resumo. *Em uma época em que toda informação deixa de ser física e passa a ser digital, os dados deixam de ser locais e passam a estar disponíveis em todo lugar. Como pode-se harmonizar os dados que são gerados no chão de fábrica e levar as informações à nuvem? Como pode-se trazer uma linha de produção para dentro da geração 4.0? Este trabalho propõe um sistema que elimina o apontamento manual das falhas e crie uma base de dados com informações valiosas num contexto de cultura lean manufacturing. As informações obtidas no chão de fábrica são apresentadas em forma de relatórios e gráficos em tempo real para todos os níveis envolvidos nos processos decisórios de uma organização.*

Palavras chave: *IoT, produtividade, monitoramento, perdas, Big Data, Lean Manufacturing, OEE.*

1. INTRODUÇÃO

O forte crescimento do mercado automobilístico, iniciado na virada do século XX fomentou fortes investimentos para a modernização tanto dos produtos quanto do parque industrial brasileiro deste segmento. Um dos resultados foi a incorporação de avanços tecnológicos ao chão de fábrica nivelando-os aos mais avançados do mundo (DE NEGRI, 2010). Os ganhos de produtividade e qualidade conquistados permitiram que a indústria local ganhasse peso significativo no cenário global da manufatura automobilística (ANFAVEA, 2019). A consolidação deste ciclo de investimentos e expansão industrial coincidiu tanto com o avanço como com a popularização de recursos digitais de hardware e software ao mundo consumidor que começava a ter contato, em meados da década de 1990, com a internet num período hoje designado como final da terceira revolução industrial (SHWAB, 2016). Portanto a indústria automobilística nacional atingiu a sua maturidade às vésperas da quarta revolução industrial (SHWAB, 2016). Em 2011, na Alemanha, o termo “Indústria 4.0” (tradução de Industrie 4.0) foi apresentado, referindo-se ao que seria a Quarta Revolução Industrial (DRATH; HORCH, 2014).

O estágio tecnológico em que se encontra grande parte do parque industrial que incorpora a cadeia produtiva de grandes montadoras de veículos nacionais, apesar de ser relativamente novo e contar com o uso massivo de automação ainda não apresenta os habilitadores tecnológicos que direcionam os modelos de negócios para a quarta revolução industrial. Diante deste cenário, a oportunidade exposta neste relatório é a tentativa de preparar uma planta em plena operação, estabelecida com base nos conceitos de automação tradicionais (sistemas digitais programados em controladores lógicos programáveis), numa planta que possa, gradativamente, fundir o mundo físico e virtual num sistema ciber físico.

Está-se propondo, portanto, através de um projeto de aplicação, estabelecer alguns passos para o início da transformação tecnológica da indústria 3.0 para a indústria 4.0.

O problema prático em questão é propor uma alternativa, utilizando-se tecnologias da indústria 4.0, para substituir um sistema de medição manual de desempenho operacional de uma linha de produção. O cenário escolhido é uma planta automatizada e robotizada de produção de cabines de veículos através da união soldada de chapas de aço. O problema é preparar o conjunto de estações automatizadas para que possam, em tempo real, fornecer informações visando a gestão da produção de acordo com os princípios e conceitos do Lean Manufacturing através do monitoramento de perdas. Esta linha é responsável pela produção, de maneira integrada, tanto os componentes como do produto final e assim é constituída por dezenas de estações compostas por centenas de equipamentos. Diante disso o método atual de medição de desempenho, que é manual, torna-se bastante superficial porque é capaz de registrar apenas os principais distúrbios no processo produtivo. Estima-se que neste universo de máquinas ocorram diariamente dezenas de milhares de ocorrências que levam a perdas visíveis e invisíveis.

Portanto o objetivo deste projeto é apresentar uma solução que permita a trazer à tona, em tempo real, informações de uma planta oculta cujo potencial máximo de desempenho poderá ser buscado através de ações de melhoria contínua focadas nas perdas que serão constantemente identificadas e estratificadas (MONTENEGRO, 2016).

O produto final da implantação deste trabalho será fornecer a toda a organização de produção, por meio da medição e cálculo do OEE, informações confiáveis e em tempo real que ajudem a responder a uma questão básica no chão de fábrica: eficiência, por que não 100%?

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

A filosofia da manufatura enxuta visa a eliminação de todas as atividades que não agregam valor ao produto final, mas consomem, em algum grau, tempo e recursos (WOMACK, 2004). Segundo Ohno (1998) há tradicionalmente sete perdas ou desperdícios, que são atividades que não agregam valor ao produto final. São elas: produção em excesso, transporte, movimentos, espera, estoque, processamento desnecessário e defeitos. Há muitas ferramentas e técnicas lean que podem ser utilizadas para a eliminação destes desperdícios. São exemplos destas ferramentas e técnicas: TPM, redução de set up, redução da quantidade de peças em produção e redução de estoques dentre outras. Portanto é primordial o estabelecimento de ferramentas capazes de quantificar as perdas do chão de fábrica. Um caminho seguro na busca de desempenho classe mundial é feito através de medição de desempenho global dos equipamentos do fluxo produtivo.

O OEE (Overall Equipment Effectiveness) é um indicador que traduz o desempenho global de um ativo amplamente disseminado pelo TPM (Total Productive Maintenance). Esta ferramenta simples e prática evidencia os problemas críticos, auxilia no estabelecimento de prioridades, identifica o tipo de perda e também cria uma referência consistente para estimar o benefício de possíveis ações de melhoria. Para Mirshawka e Olmedo (1993), uma falha é o término da capacidade de um equipamento em efetuar uma função exigida ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho definido. Falha pode então representar ou ser representada pela interrupção da produção, operação em regime instável, queda da quantidade produzida e perda da qualidade do produto.

O OEE é composto por três fatores que medem às principais perdas na operação de um ativo relacionadas a fraquezas em disponibilidade, desempenho e qualidade (OEE FOUNDATION, 2020). Na Figura 1 abaixo pode-se visualizar as perdas traduzidas em tempo. Nesta figura a barra preta superior representa o tempo total do dia, ou seja, 24 horas. A barra cinza (A) representa o tempo planejado para produção, ou seja, o tempo total dos turnos menos o tempo de refeição, reuniões e demais paradas planejadas. A barra vermelha (B) representa o tempo que a estação ficou efetivamente produzindo, ficou disponível e não para por alguma falha de equipamento ou parada para ajustes. A barra azul (C) mostra o tempo líquido produzido. Para isso reduz-se da barra vermelha os atrasos no ciclo de produção, pequenas paradas e reduções de velocidade. Finalmente a última barra (D) representa o tempo gasto agregando valor ao produto. Para isso reduz-se da barra azul o tempo gasto produzindo peças não conformes.

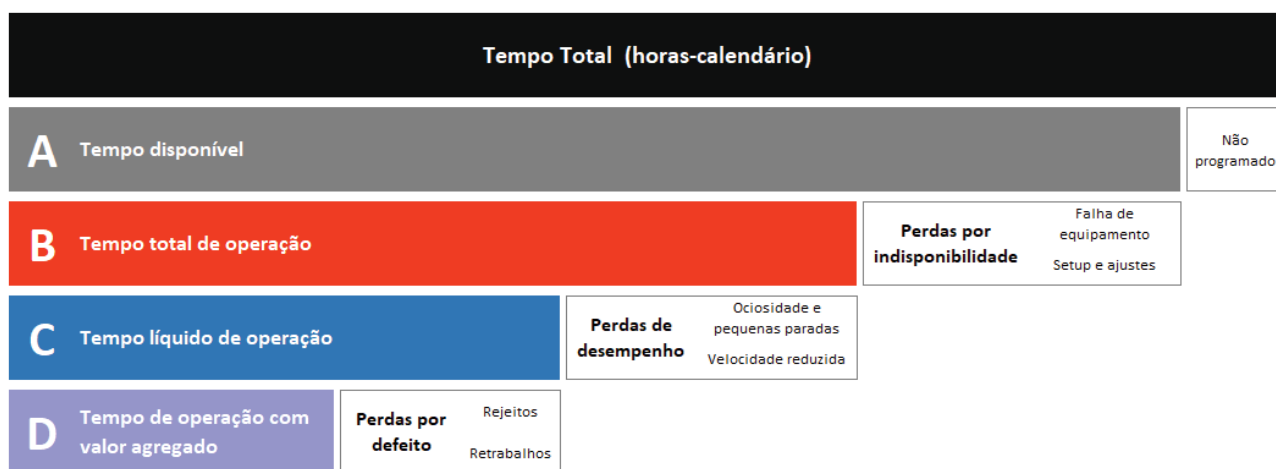


Figura 1. Formação do OEE de acordo com Europe JMAC (elaboração dos autores)

O índice OEE pode ser definido pelas Equações 1 a 4 abaixo, como pode ser visto no portal do OEE Foundation:

$$OEE = Disponibilidade * Performance * Qualidade \quad (1)$$

$$Disponibilidade = \frac{\text{tempo produzido}}{\text{tempo planejado}} * 100\% \quad (2)$$

$$Performance = \frac{\text{quantidade produzida}}{\text{quantidade esperada}} * 100\% \quad (3)$$

$$Qualidade = \frac{\text{peças boas}}{\text{total produzido}} * 100\% \quad (4)$$

A utilização de todo o potencial da medição de desempenho dos equipamentos automatizados do chão de fábrica está limitada pela troca destas informações com os níveis superiores (decisórios) da organização. Os níveis, ou camadas, em que a informação percorre dentro da organização pode ser representada pelo modelo da pirâmide da informação da automação em que somente há troca entre os membros justapostos, (SCHLECHTENDAHL, Jan et al., 2014). Na base da pirâmide está frequentemente envolvido o controlador programável atuando via inversores conversores ou sistemas de partida suave sobre máquinas e motores e outros processos produtivos. No topo da pirâmide a característica marcante é a informatização ligada ao setor corporativo da empresa (MORAES e CASTRUCCI, 2010). Cada camada ou nível é caracterizado por tecnologias e possuem finalidades bem específicas e segregadas conforme representado na Figura 2.

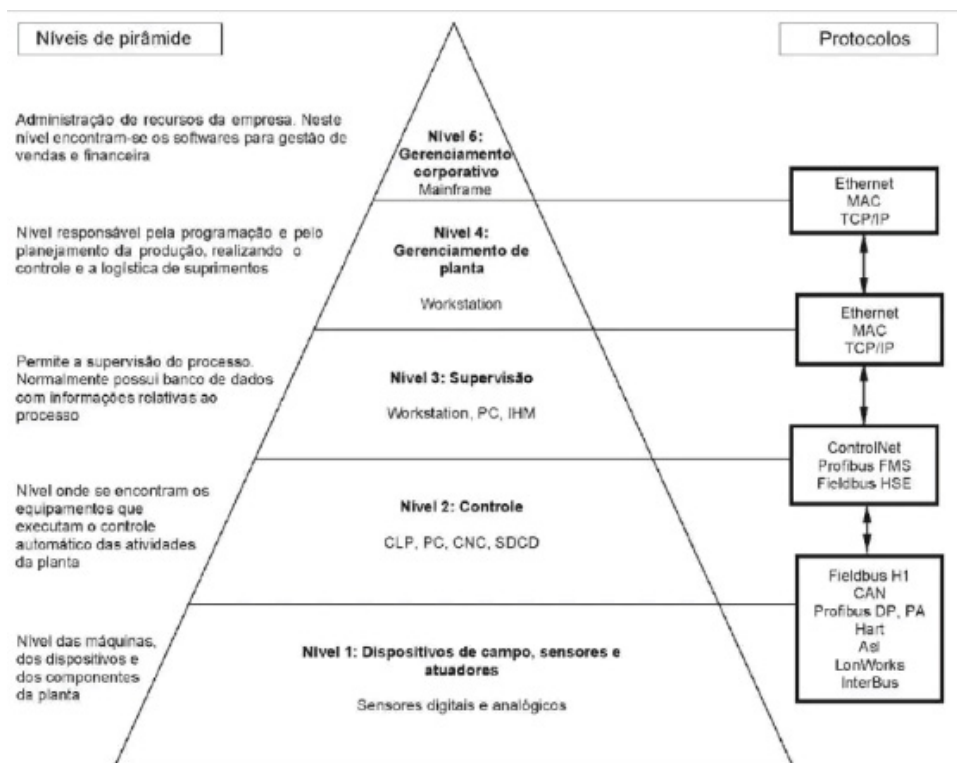


Figura 2. Pirâmide da informação da automação (MORAES e CASTRUCCI, 2010).

Segundo SCHLECHTENDAHL et al (2014) a pirâmide da informação da automação será transformada nos próximos anos fazendo com que uma estrutura hierárquica de pirâmide se transforme num modelo de malha. Assim clientes e servidores de informação representam nós para a troca de dados baseados num modelo de informação comum. A integração em tempo real das informações em todas as camadas da pirâmide é um passo preliminar para uma planta já instalada caminhar em direção ao conceito de fábrica inteligente.

Fábrica inteligente é uma solução que fornece processos de produção flexíveis e adaptáveis que pode resolver os problemas que surgem em uma instalação de produção com condições de contorno dinâmicas e que mudam rapidamente em um mundo de complexidade crescente. Esta solução especial pode, por um lado, estar relacionada à automação, entendida como combinação de software, hardware e /ou mecânica, o que deve levar à otimização da fabricação resultante na redução de trabalho desnecessário e desperdício de recursos. Por outro lado, poderia ser visto em uma perspectiva de colaboração entre diferentes parceiros industriais e não industriais, onde a inteligência surge da formação de organização dinâmica, (RADZIWON, Agnieszka et al, 2013). Ou seja, a solução que contempla o detalhe da informação do chão de fábrica se prepara para extrapolar as fronteiras da organização.

3. ESTUDO DE CASO

No caso de estudo deste trabalho, foi usada uma fábrica veículos de Curitiba. O estudo foi feito de forma focada na linha de solda das cabines do veículo e o projeto piloto foi aplicado a uma das estações dessa linha. Desta forma foi possível partir do estado atual, onde os dados são apontados manualmente, e apresentar uma proposta de resultado final para o sistema dentro do prazo proposto para o trabalho.

A estação escolhida faz a solda completa das partes da lateral da cabine, partes que foram previamente soldadas individualmente em processos manuais. Esta estação é composta de forma geral pelos seguintes equipamentos: um dispositivo de solda que une as partes da lateral e mantém elas dentro da posição de geometria chamado WR1, dois robôs de solda e manipulação de grande porte (AR41e AR42), pinças de solda ponto e demais ferramentas e

dispositivos. Esta estação pode ser vista nas Figuras 3 e 4 abaixo. A Figura 3 traz o layout da estação, nesta é possível visualizar os equipamentos mencionados anteriormente onde cada bloco ilustra um equipamento com seu código. A Figura 4 traz uma imagem real da estação. Nesta imagem os dois robôs efetuam a solda ponto na lateral da cabine do veículo sobre o dispositivo de geometria.

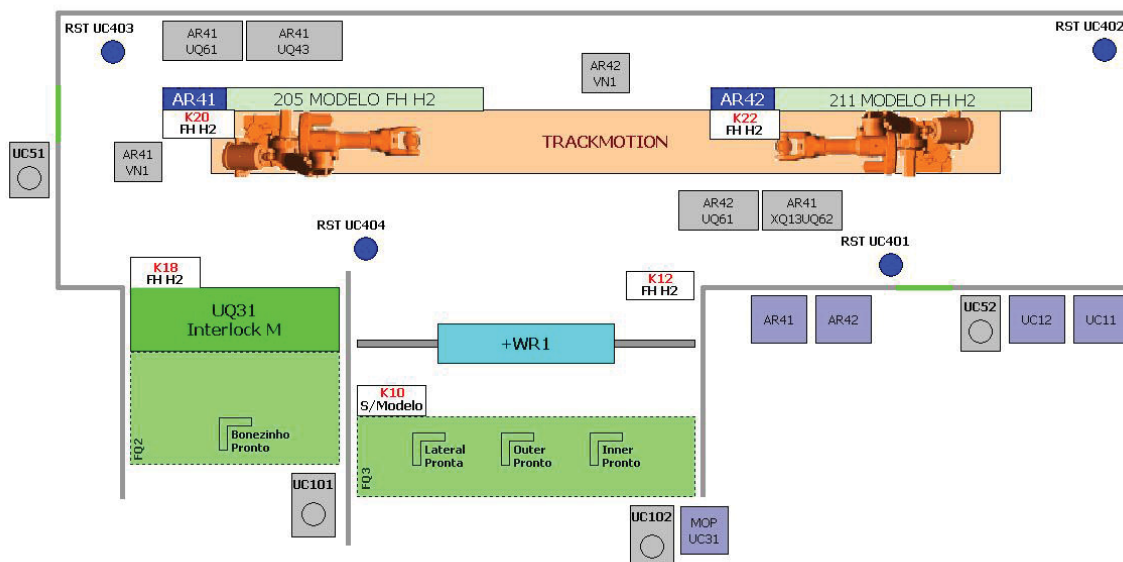


Figura 3. Layout da estação de solda

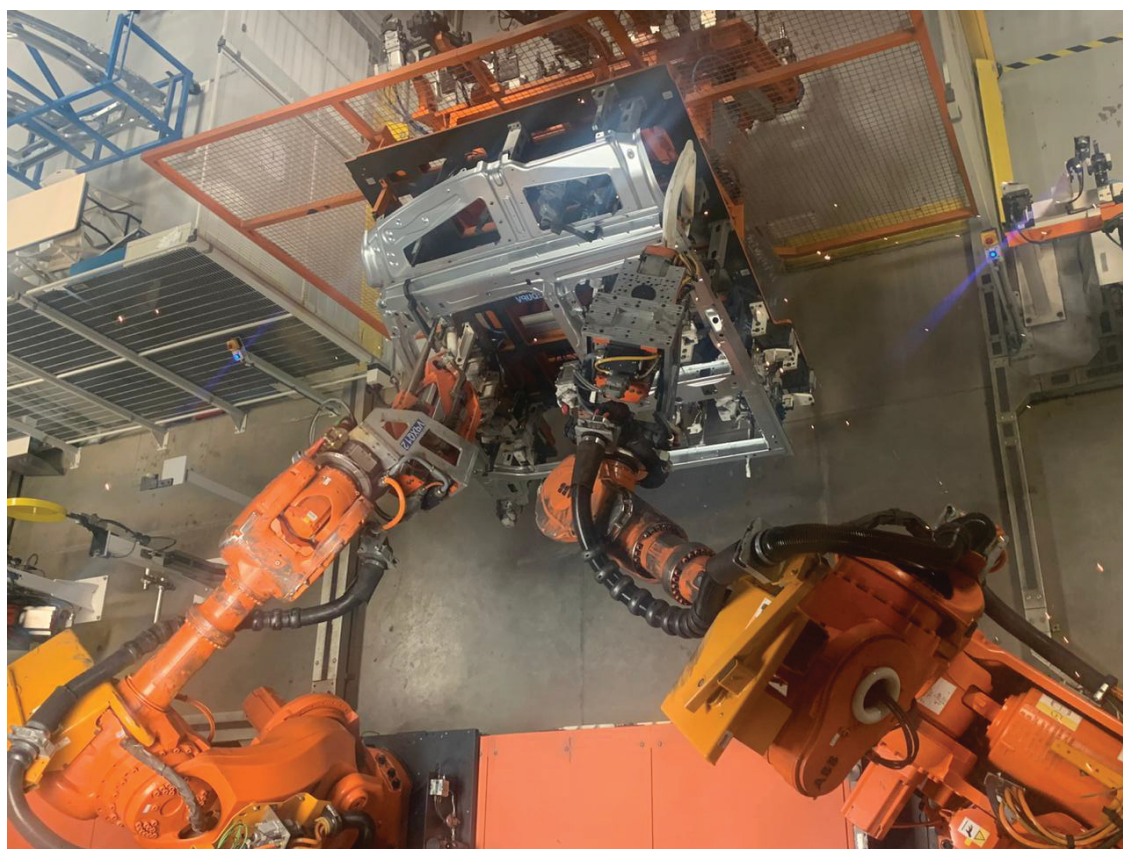


Figura 4. Imagem real da estação de solda

4. HIPOTESE DE SOLUÇÃO

A estação usada no projeto já possui todos os dados necessários, mas eles permanecem existindo apenas dentro do controlador. Ou seja, não foi preciso trabalhar em instalar sensores ou manipular estes sinais de forma a retratarem a situação da estação, mas apenas fazer com que esta informação que já existe possa ser vista de forma útil por outros sistemas e assim ser disponível para formação de relatórios.

4.1. Captura dos dados

Ao invés de simplesmente repassar todos os sinais da estação para nosso sistema, que seria algo muito extenso e pouco proveitoso, foi decidido por simplificar a condição da estação em estados de máquina. Estes estados iriam retratar a forma com que a estação esta rodando e também permitir a geração de relatórios úteis para os setores de manutenção, produção, planejamento de produção, etc. Na Figura 5 pode ser visualizado o sistema de captura de dados com os sinais sendo enviados pelo controlador lógico programável (CLP). Cada linha colorida nesta imagem significa um sinal proveniente do CLP no decorrer do tempo. Quando a linha está alta, significa que o sinal está ativado, quando a linha está baixa, significa que o sinal está desativado. Na imagem podem ser vistos os seguintes sinais da estação:

- Estação em automático (mAuto).
- Estação produzindo (mActive).
- Estação transferindo uma peça (mLoad).
- Estação aguardando um peça (mWait).
- Estação com falha (mError).
- Estação com alerta (mWarning).
- Estação recebendo uma peça da estação anterior (mPartIn).
- Estação enviando uma peça para a próxima estação (mPartOut).
- Estação aguardando disponibilidade da próxima estação em receber uma peça (mWaitOut).
- Estação aguardando uma peça da estação anterior (mWaitIn).
- Estação com erro não reconhecido (mErrNotAck).
- Estação com alerta não reconhecido (mWarnNotAck).

Por último a barra chamada de DUGA State representa o estado atual da estação onde cada cor significa um estado. Este estado final é a compilação de todos os sinais recebidos do CLP.



Figura 5. Visualização do sistema de captura dos estados da estação de solda

4.2 Testes de visualização

Após os dados terem sido disponibilizados para o sistema, iniciou-se a geração de telas de visualização e relatórios que retratassem a situação da estação mesmo para quem desconhecesse o processo. Em um primeiro momento foi usado o software Microsoft Power BI como forma de teste. Ele foi usado por ser uma ferramenta de fácil manuseio e de resultado rápido. Na Figura 6 pode ser visto o relatório gerado pelo teste com a ferramenta. Neste relatório, à esquerda, está um gráfico que mostra todos os ciclos da estação, onde cada barra é um ciclo. Estas barras são constituídas pela soma do tempo dos estados, onde cada cor na barra representa um estado. Na direita da figura estão os componentes do índice OEE, disponibilidade, performance e qualidade junto com o tempo de ciclo médio da estação.

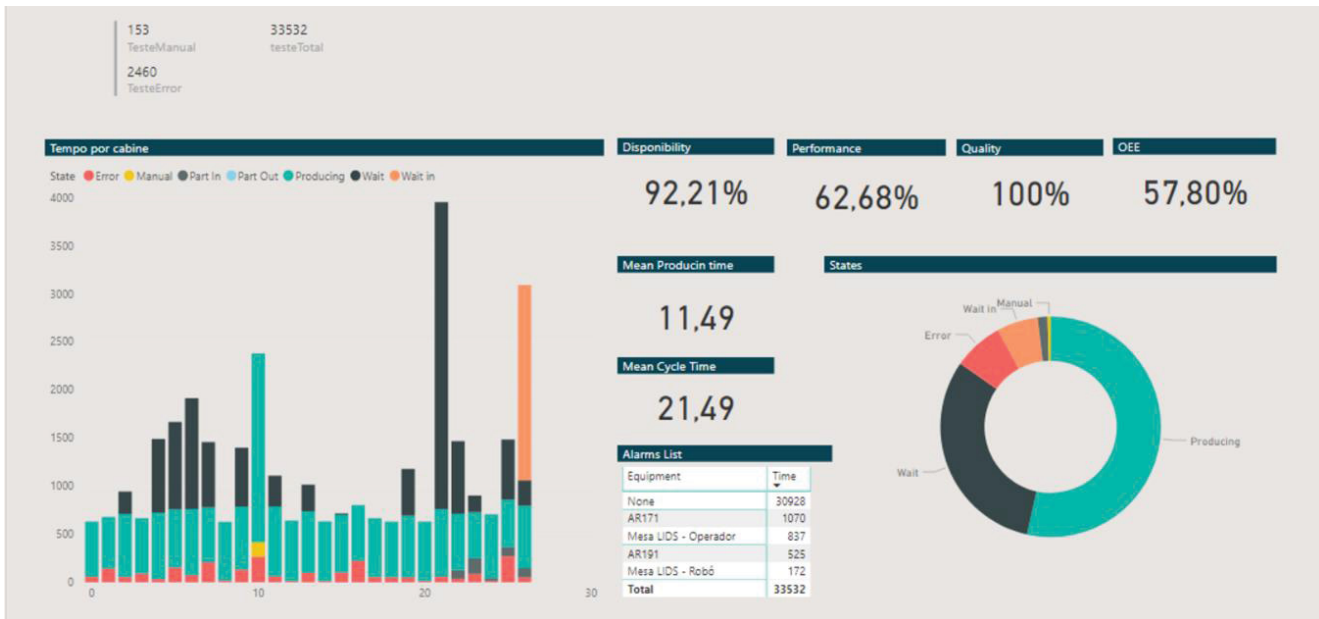


Figura 6. Visualização dos resultados através da ferramenta Power BI

Com os testes retratados acima foi entendido que os dados passaram de algo manual e abrangência limitada para algo conciso e de fácil compreensão. Mas este teste ainda foi feito apenas por um computador único, não estava disponível em rede para que qualquer pessoa pudesse utilizar.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Para a visualização dos dados de forma integrada à rede da empresa foi utilizado nosso sistema proposto. Este sistema roda em conjunto com o servidor alocado na Suécia e permite a visualização dos dados de qualquer lugar do mundo a partir de qualquer computador conectado à rede da empresa. Na Figura 7 abaixo pode ser vista uma das telas criadas para mostrar a eficiência da estação. Observa-se na figura que o tempo de indisponibilidade da linha foi de quase 4 minutos. A barra horizontal permite visualizar os eventos que ocorreram ao decorrer do turno. Cada uma das cores nesta barra significa um estado diferente. Cada um destes estados está diretamente relacionado aos estados vistos na Figura 5. Na figura ainda é possível visualizar um gráfico que mostra o crescimento da produção do dia. Cada degrau na curva representa uma peça produzida que saiu da estação.

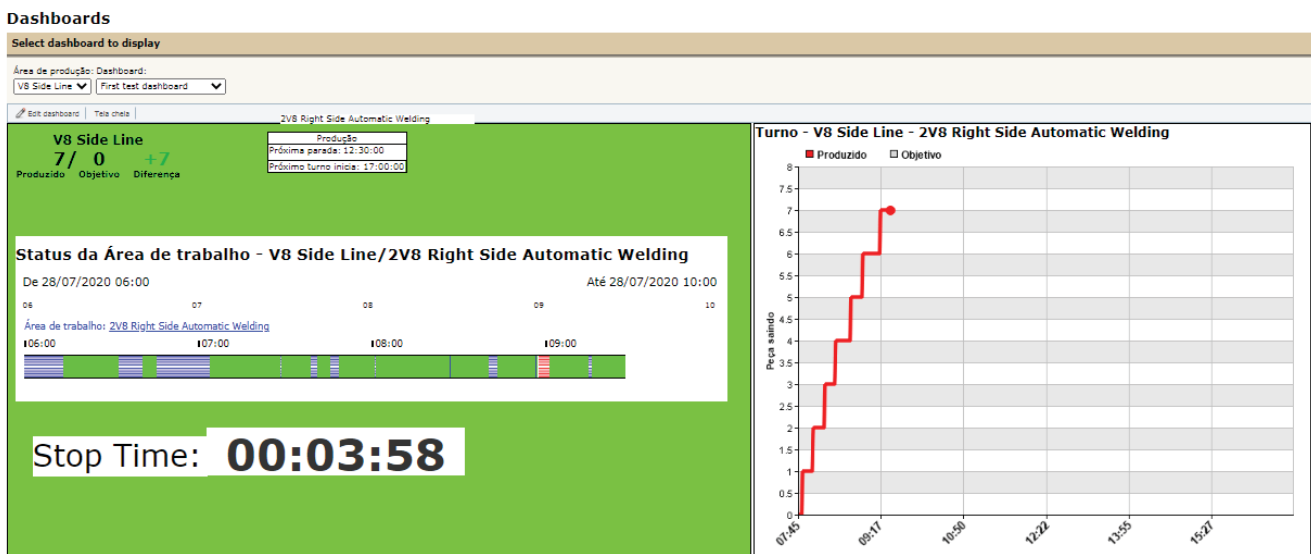


Figura 7. Visualização da tela do sistema proposto

Na Figura 8, abaixo, apresenta-se a tela desenvolvida que disponibiliza os dados obtidos no formato já conhecido do OEE semelhante ao que foi visto na Figura 1. Foi utilizada a forma gráfica semelhante à vista na teoria para tornar mais rápida a compreensão dos dados. Ao lado direito ainda é possível visualizar os componentes do índice OEE.

2020-07-27 Visão geral 2V8 Right Side Automatic Welding

Filtro capacidade: Todos

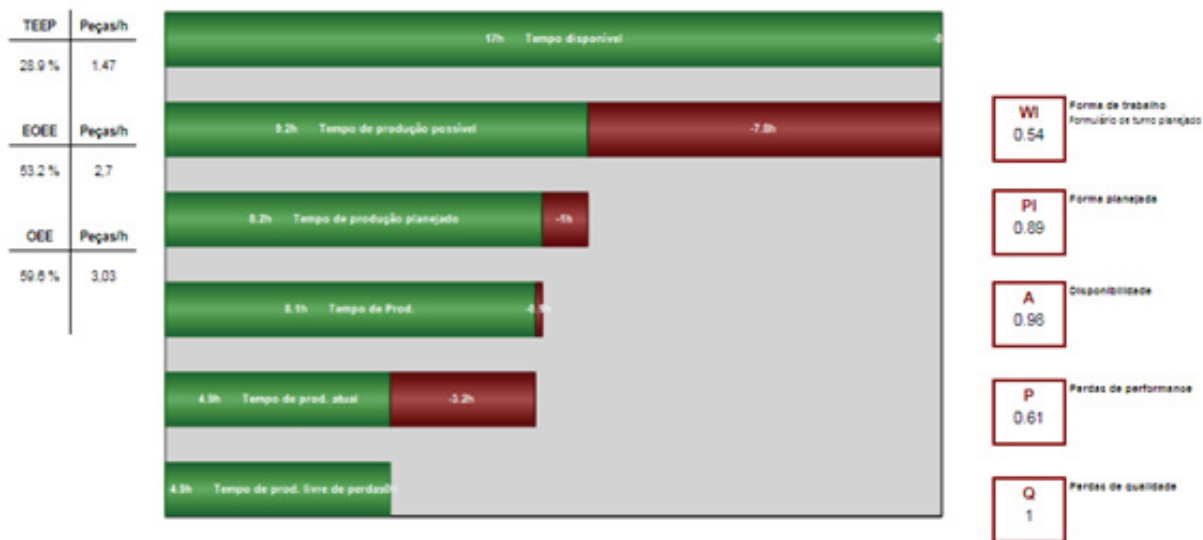


Figura 8. Representação do OEE da estação de solda no sistema proposto

6. CONCLUSÃO

Este trabalho permite concluir que os dados que não forem capazes de serem traduzidos, não forem capazes de passar uma mensagem, são apenas dados. Quando os dados são capazes de comunicar um resultado eles passam a ser uma informação, passam a ter utilidade.

Através deste trabalho, foi possível utilizar um banco de dados e sinais de máquina sem significado aparente e transformá-los em informação capaz de gerar conhecimento. Este conhecimento viabiliza o entendimento da máquina e assim auxilia no embasamento de decisões assertiva pois permite tornar clara a chamada planta oculta com suas perdas até então invisíveis.

Entende-se que o trabalho foi proveitoso em sua aplicação piloto na estação de solda. Portanto recomenda-se a expansão deste trabalho às demais estações, linhas e mesmo em outras plantas.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente à Universidade Federal do Paraná e todo seu corpo docente pelo seu comprometimento em nos trazer a luz do conhecimento de novas oportunidades e novas tecnologias. Agradecemos também à nossa empresa por nos apoiar durante o curso, nos incentivar a propor algo novo e permitir o estudo deste trabalho. Também agradecemos ao nosso colega Guilherme Silva por nos suportar com o sistema de coleta de dados e a conexão do sistema com o servidor da Suécia.

8. REFERÊNCIAS

OEE Foundation, 2011. "The OEE Calculation". 2011 < <https://www.oeeindustrystandard.org/v2011/oee-calculation/>>

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira. [2020]**. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/anuarios.html>. Acesso em: 30 de julho de 2020.

SCHWAB, Klaus. (2016). **A quarta revolução industrial** (1 ed.). (J. L. Vieira, & M. L. Micales, Eds.) São Paulo: Edipro. Shelby, Z., & Bormann, C. (2009).

DRATH, R.; HORCH, A. **Industrie 4.0: Hit or hype?** IEEE industrial electronics magazine, v. 8, n. 2, p. 56–58, 2014.

DE NEGRI, J. A. **A Cadeia de valor global da indústria automobilística no Brasil**. In: PROCHNIK, V. (Org.). La inserción de América Latina en las cadenas globales de valor. Serie Red Mercosur; Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá, 2010. Página 273, v. 8, n. 2, p. 56–58, 2014.

MIRSHAWKA V. e OLMEDO, N. L., **Manutenção Combate aos Custos da Não Eficácia: A vez do Brasil**, São Paulo, Makron Books, p.46, 1993

MONTENEGRO, Ivan. **Excelência operacional, o desafio da melhoria contínua** (2ª edição), Editora Sobratema, p37-40, 2016.

MORAES, Cícero C., CASTRUCCI, Plínio de L., **Engenharia de Automação Industrial**, 2ª edição, LTC, 2010, p13.

OEE Foundation: <https://www.oefoundation.org/>. Acesso em: 30 de julho de 2020.

OHNO, Taishi, **O SISTEMA DE PRODUÇÃO TOYOTA Além da Produção em Larga Escala**, 1998.

JMAC Europe, 2014. **OEE and structure of losses – Measure to Improve**. JMA Consultants S.p.A. (2014).

RADZIOW, Agnieszka et al. **The Smart Factory: exploring adaptive and flexible manufacturing solutions**. 2013. Desenvolvida por Elsevier. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Marcel_Bogers/publication/275540142_The_Smart_Factory_Exploring_Adaptive_and_Flexible_Manufacturing_Solutions/links/556d84d308aefcb861d80d7f.pdf. Acesso em: 30 de outubro de 2020.

SCHLECHTENDAHL, Jan et al. **Making existing production systems Industry 4.0-ready**. In: Production Engineering, 17 out. 2014. Springer Nature. <https://www.researchgate.net/publication/267271828>. Acessado em: 30 de julho de 2020.

USTUNDAG Alp e CEVIKCAN Emre. **Industry 4.0: Managing The Digital Transformation**, Springer International Publishing Switzerland, 2018.

WOMACK, James; DANIEL, Jones e ROSS, Daniel, **A Máquina que Mudou o Mundo**, Elsevier, 2004.

9. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.