

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDO MACIEL HAITZMANN DOS SANTOS

NOÛSCIBER: SISTEMA PARA O RECONHECIMENTO DE PADRÕES
NEUROBIOLÓGICOS DE PLANTAS E SUAS RELAÇÕES COM O AMBIENTE

CURITIBA

2021

EDUARDO MACIEL HAITZMANN DOS SANTOS

NOÛSCIBER: SISTEMA PARA O RECONHECIMENTO DE PADRÕES
NEUROBIOLÓGICOS DE PLANTAS E SUAS RELAÇÕES COM O AMBIENTE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Eduardo Rozane

CURITIBA

2021

Santos, Eduardo Maciel Haitzmann dos
Noûsciber: sistema para o reconhecimento de padrões
neurobiológicos de plantas e suas relações com o ambiente. / Eduardo
Maciel Haitzmann dos Santos. - Curitiba, 2021.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.
Orientador: Danilo Eduardo Rozane

1. Eletrofisiologia. 2. Plantas - nutrição. 3. Parâmetros cinéticos. I.
Rozane, Danilo Eduardo. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -
40001016014P4

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **EDUARDO MACIEL HAITZMANN DOS SANTOS** intitulada: **NOÛSCIBER: SISTEMA PARA O RECONHECIMENTO DE PADRÕES NEUROBIOLÓGICOS DE PLANTAS E SUAS RELAÇÕES COM O AMBIENTE**, sob orientação do Prof. Dr. **DANILO EDUARDO ROZANE**, 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, 18 de Fevereiro de 2021.

Assinatura Eletrônica

18/02/2021 17:58:57.0

DANILO EDUARDO ROZANE

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

18/02/2021 18:05:52.0

WILLIAM NATALE

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ)

Assinatura Eletrônica

19/02/2021 09:29:01.0

GUSTAVO BRUNETTO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA)

Assinatura Eletrônica

18/02/2021 18:01:33.0

FABIANE MACHADO VEZZANI

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

18/02/2021 18:03:25.0

JULIANA DOMINGUES LIMA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO/REGIS)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5648 - E-mail: pgcisolo@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 74970

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>
e insira o código 74970

Para todos que acreditaram em mim, especialmente para meu pai Ricardo, minha mãe Suzete e meus irmãos Leonardo e Vinícius.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai Ricardo, à minha mãe Suzete e aos meus irmãos Leonardo e Vinícius, pelo apoio, carinho, conselhos e crença nas minhas escolhas;

À Janaina Ramos de Oliveira, pela atenção, carinho e companheirismo;

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realizar o curso de doutorado;

Aos professores Dr. Danilo Eduardo Rozane (Unesp), Dr. William Natale (UFC), Dra. Juliana Domingues Lima (Unesp), Dr. Gustavo Brunetto (UFSM), Dra. Fabiane Machado Vezzani (UFPR) e Dr. Volnei Pauletti (UFPR), por todo auxílio teórico-científico;

À Betania Vahl de Paula, Amanda Krug e João Paulo Kruger Reznick, pela parceria e importantes contribuições para o desenvolvimento dos trabalhos;

À secretária Denise De Conti, por todo o suporte acadêmico e palavras de motivação;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), às Universidades Unesp e UFSM, e ao grupo GEPACES, pela ajuda nas atividades de pesquisa.

REFLEXÃO SOBRE “A INTELIGÊNCIA DAS PLANTAS”

A título de reflexão, que é o que se pretende em boa parte de sua tese, gostaria de fazer algum comentário, ainda que eu não seja nem filósofo, nem pensador com capacidade para tanto, mas, arrisco, com o objetivo de contribuir com seu trabalho.

Em muitos momentos do texto, que reflete também o que pensa a comunidade científica atualmente, busca-se uma maneira de “provar” que as plantas possuem “cérebro ou sistema nervoso” que justifique responder à questão “se as plantas têm inteligência”.

Acredito que deve haver uma mudança de rumo no que é proposto. Os vegetais se estabeleceram no Planeta há muito, muito mais tempo que o ser humano. Nesse período, as plantas colonizaram todos os ambientes possíveis e, onde havia dificuldades, o modificaram para permitir sua ocupação. Durante todo esse período, mesmo modificando consideravelmente o ambiente, as alterações não impuseram riscos à vida delas mesmas, pelo contrário, visto que há muito tempo os sistemas estão em equilíbrio ou “clímax”, como muitas florestas tropicais.

O homem, por outro lado, desde seu aparecimento, consome os recursos do Planeta e os produtos das plantas, de forma direta ou indireta. Suas ações no ambiente, na maioria das vezes, são danosas, mesmo quando ele busca praticá-las da melhor forma técnica, como ocorre na agricultura em alguns casos. O ser humano, por sua vez, possui cérebro, mas não tem usado esse sistema nervoso para preservar “sua casa”, a Terra. Então, por que se deve achar que possuir cérebro é importante e nos torna superiores? Acredito que a resposta seja buscar nas plantas “algo” que reflita essa capacidade que elas têm de preservar o ambiente ou à ele se adaptar da melhor forma possível. Procurar nos vegetais similaridade ao cérebro humano, para justificar sua inteligência é, no mínimo, egocentrista.

Um dia destes, assistindo a um programa de TV que pretendia discutir a possibilidade de existência de vida em outros planetas do Cosmos, os pesquisadores buscavam evidências de vapor d’água, oxigênio, entre outros compostos, o que indicaria a possibilidade de vida. É estranho pensar que se existe vida fora da Terra ela deva ter as mesmas características que aqui, onde a água e o oxigênio são fundamentais. É reduzir o Universo a nós mesmos, o que é narcisista. Assim também, deve-se avaliar outras possibilidades de “inteligência” nos vegetais e não buscar apenas semelhanças com a nossa função nervosa.

Segundo Aristóteles, filósofo e naturalista, apesar de não possuírem alma, as plantas são consideradas vivas porque possuem poder de se nutrir, de crescer e de se desenvolver (passar da fase inicial à fase madura e à velhice). Essas seriam as características mínimas de um ser vivo, segundo ele.

Mais recentemente, o Professor Malavolta ensinava em suas aulas “que as plantas não têm alma para pensar”, isto é, absorvem do meio em que vivem, elementos que podem eventualmente envenená-las. Deve-se ter em mente que qualquer macro ou micronutriente pode tornar-se tóxico, quando em quantidade excessiva no tecido: “a dose faz o veneno”.

Bem, é apenas uma opinião...

— **Prof. Dr. WILLIAM NATALE**
Universidade Federal do Ceará

"Nunca ande por trilhas, pois assim só irá até onde outros já foram."

— **ALEXANDER GRAHAM BELL**

"No Universo, há coisas que são conhecidas e coisas que são desconhecidas e, entre elas, há portas."

— **WILLIAM BLAKE**

RESUMO GERAL

Os vegetais são organismos complexos capazes de gerenciar uma infinidade de fatores ambientais para o seu desenvolvimento. As plantas respondem prontamente às variáveis locais, como as mudanças na intensidade luminosa, a temperatura, a disponibilidade de água, os elementos químicos do solo, a ocorrência de ataque de pragas e patógenos, entre outros. Segmentos específicos das ciências biológicas, como a neurobiologia vegetal, têm chamado atenção e gerado muita discussão entre cientistas. Muitos trabalhos científicos indicam que as plantas apresentam um sistema inteligente, bastante sofisticado, equivalente às redes de comunicação celular dos animais (sistema nervoso), com a capacidade de perceber o ambiente e a controlar atividades biológicas por comandos bioelétricos. Partindo da premissa de que plantas possuem estruturas similares ao sistema nervoso, com o Projeto Noûsciber buscou-se compreender desde os processos relacionados à absorção de nutrientes até a forma como as plantas respondem aos estímulos externos. Os estudos abordaram três esferas de análise, definidas por entradas sistemáticas, caixa-preta (ou unidade lógica) e saídas do sistema. A esfera correspondente as entradas englobou as características morfológicas das plantas com os parâmetros cinéticos e os processos de influxo, sendo apresentados métodos para a análise dos dados e o registro do comportamento da planta na absorção de nutrientes durante dias seguidos. Na esfera das saídas, avaliou-se os teores de nutrientes no tecido foliar utilizando o método da Diagnose da Composição Nutricional (CND), para a determinação do equilíbrio dos elementos, projetado em 52 cenários parametrizados contendo arranjos com combinações e tamanhos variados. Para a esfera da caixa-preta, foram registradas as atividades de assimilação de nutrientes na forma de sinais ou pulsos mecânicos, apontando possíveis relações com os potenciais de ação, as condições ambientais e as participações de estruturas vegetais como as membranas e os vacúolos. Independente de tratamento, os resultados dos estudos revelaram que plantas fenotipicamente semelhantes apresentaram incompatibilidade na administração dos elementos das soluções nutritivas, divergindo no ritmo, na frequência, no período (atividade diurna e noturna) e na intensidade de absorção. Com a produção de um sistema procedimental constituído de modelos matemáticos robustos, foi possível identificar o momento em que os sinais mecânicos apresentaram maior intensidade, permitindo determinar os horários mais apropriados para a tipificação do comportamento fisiológico das plantas. A análise da dinâmica dos elementos no tecido vegetal, evidenciou a importância de uma base de dados coesa, sendo a delimitação da amostragem e a relação entre os parâmetros avaliados condições essencialmente relevantes para a determinação das demandas nutricionais das plantas. A aplicação de processo de aprendizado de máquina para a validação dos resultados obtidos em todas as variantes da norma CND mostrou que base de dados com menor variabilidade foram mais eficientes para a caracterização da qualidade produtiva das plantas. A compreensão dos processos fisiológicos responsáveis pela nutrição mineral das plantas exige uma investigação aprofundada, devendo considerar não apenas as atribuições dos mecanismos associados, como também a participação dos componentes de cada processo em subsistemas integrados ou distribuídos.

Palavras-chave: Solo-planta-atmosfera; eletrofisiologia; parâmetros cinéticos; influxo de nutrientes; nutrição de plantas.

GENERAL ABSTRACT

Vegetables are complex organisms capable of managing a multitude of environmental factors for their development. Plants readily respond to local variables such as changes in light intensity and temperature, water availability, the presence and attack of pests and pathogens, and chemical elements in the soil. Specific segments of biological sciences, such as plant neurobiology, have drawn attention and generated much discussion among scientists. Many scientific works indicate that plants have a very sophisticated intelligent system, equivalent to the cellular communication networks of animals (nervous system), with the ability to perceive the environment and control biological activities by bioelectrical commands. Starting from the premise that plants have structures similar to the nervous system, the Noûsciber Project sought to understand the processes related to the absorption of nutrients to how plants respond to external stimuli. The studies addressed three spheres of analysis, defined as systematic inputs, black box (or logical unit), and system outputs. The sphere corresponding to the inputs encompassed the morphological characteristics of the plants with the kinetic parameters and the influx processes, with methods for data analysis and the record of the plant's behavior in the absorption of nutrients during consecutive days. The sphere of the outputs consisted of evaluating the nutrient content in the leaf tissue by the Compositional Nutrient Diagnosis method (CND) to determine the balance of the elements, projected in 52 parameterized scenarios containing arrangements with different combinations and sizes. For the black box sphere, nutrient assimilation activities were recorded in the form of mechanical signals or pulses, pointing out possible relationships with action potentials, environmental conditions, and the participation of plant structures such as membranes and vacuoles. Regardless of treatment, the results of the studies revealed that phenotypically similar plants showed incompatibility in the administration of the elements of the nutrient solutions, diverging in rhythm, frequency, period (daytime and nighttime activity), and intensity of absorption. With the production of a procedural system consisting of robust mathematical models, it was possible to identify the moment when the mechanical signals showed greater intensity, allowing to determine the most appropriate times for typifying the physiological behavior of the plants. The analysis of the dynamics of the elements in the plant tissue showed the importance of a cohesive database, with the delimitation of the sampling form and the relationship between the evaluated parameters being essentially relevant conditions for determining the nutritional demands of plants. The application of the machine learning process to validate the results obtained in all variants of the CND norms showed that databases with less variability were more efficient for characterizing the productive quality of plants. Understanding the physiological processes responsible for the mineral nutrition of plants requires in-depth investigation, considering not only the attributions of the associated mechanisms but also the participation of the components of each process in integrated or distributed subsystems.

Keywords: Soil-plant-atmosphere; electrophysiology; kinetic parameters; influx of nutrients; plant nutrition.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	ESQUEMA DA MÁQUINA DE ANTICÍTERA.....	32
FIGURA 2 -	ROBÔ SONNY SENDO INTERROGADO PELO DETETIVE DEL SPOONER, E RECEBENDO INSTRUÇÕES DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL V.I.K.I.....	34
FIGURA 3 -	FORMAS DE ROBÔS APRESENTADAS EM JOGOS ELETRÔNICOS.....	35
FIGURA 4 -	COMO NA HISTÓRIA DE PINÓQUIO, O MENINO-ROBÔ DAVID PEDE PARA A FADA AZUL TRANSFORMÁ-LO EM UM MENINO DE VERDADE.....	38
FIGURA 5 -	MORPHEUS OFERECE À NEO A POSSIBILIDADE DE ESCAPAR DA PRISÃO DA SUA MENTE E DE PODER DESCOBRIR A VERDADE SOBRE O MUNDO.....	39
FIGURA 6 -	NEO SUPERA A BARREIRA DO MUNDO IRREAL.....	41
FIGURA 7 -	EVE E WALL-E COM O SÍMBOLO DE ESPERANÇA PARA OS HUMANOS.....	42
FIGURA 8 -	CENAS DO FILME INTERESTELAR: DE UMA PLANTAÇÃO DOENTE AO ESPAÇO EM UM BURACO-DE-MINHOCA PRÓXIMO DE JÚPITER.....	43
FIGURA 9 -	TRANSCRIÇÃO DA CONVERSA DO FILME OBLIVION (DUBLADO), DO MOMENTO EM QUE JACK HARPER ENTREGA PARA VICTÓRIA (VIKA) UMA PLANTA COMO PRESENTE.....	44
FIGURA 10 -	CONTRASTE ENTRE O CULTIVO E A TECNOLOGIA EM OBLIVION.....	45
FIGURA 11 -	PESSOAS EM PÂNICO FUGINDO DE UMA AMEAÇA INVISÍVEL.....	46
FIGURA 12 -	REPRESENTAÇÕES DA YGGDRASIL NOS JOGOS ELETRÔNICOS.....	48
FIGURA 13 -	CONTATO DO SISTEMA RADICULAR DAS PLANTAS COM OS NUTRIENTES DO SOLO, PELOS PROCESSOS DE INTERCEPTAÇÃO RADICULAR, FLUXO DE MASSA E DIFUSÃO.....	62
FIGURA 14 -	ESTRUTURAS VEGETAIS DO XILEMA E FLOEMA, ROTAS DE ABSORÇÃO, TRANSPORTE, TRANSLOCAÇÃO E REDISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES PELA PLANTA.....	63
FIGURA 15 -	TIPOS DE TRANSPORTE E ATIVIDADE DE CARREADORES, CANAIS E BOMBAS. O FLOEMA, AS CÉLULAS DAS RAÍZES E OS CLOROPLASTOS APRESENTAM BOMBAS E CANAIS IÔNICOS RESPONSÁVEIS PELA PRODUÇÃO DE SINAIS ELÉTRICOS.....	65
FIGURA 16 -	DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO (ESPINHA DE PEIXE) SOBRE PROBLEMAS RELACIONADO À DÚVIDAS SOBRE A INTELIGÊNCIA NAS PLANTAS.....	70
FIGURA 17 -	GRAFO SIMPLIFICADO DA ABORDAGEM DO PROJETO NOÛSCIBER.....	71
FIGURA 18 -	EXPERIMENTO DE INFLUXO EM CITRUS, PARA PORTA ENXERTO CITRUMELO..	84

FIGURA 19 - DETALHES DOS PORTAS-ENXERTOS CITRUMELO COM COPA VALÊNCIA.....	85
FIGURA 20 - VETOR RESULTANTE REFERENTE A CONCENTRAÇÃO INICIAL E FINAL DO ELEMENTO AVALIADO.....	86
FIGURA 21 - DETERMINAÇÃO DO PONTO DE DESACELERAÇÃO DA VELOCIDADE DE ABSORÇÃO DO NUTRIENTE.....	87
FIGURA 22 - PARTICIONAMENTO DO ARRANJO DA CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES DA SOLUÇÃO EM RELAÇÃO AO TEMPO DE AMOSTRAGEM E A DETERMINAÇÃO DO PLC.....	90
FIGURA 23 - ESQUEMAS DAS ETAPAS EXECUTADAS ATÉ A OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS CINÉTICOS E INFLUXO PELO SOFTWARE INFLUX.....	95
FIGURA 24 - TELA INICIAL DO INFLUX NA ANÁLISE DE CITRUMELO SOB VALÊNCIA.....	96
FIGURA 25 - CONCENTRAÇÕES DE NITRATO E POTÁSSIO EM SOLUÇÃO E PONTO DE MUDANÇA DE COMPORTAMENTO, OBSERVADOS EM MUDAS DE CITRUMELO.....	101
FIGURA 26 - SINAIS PRODUZIDOS EM MUDAS DE CITRUMELO, DURANTE O PROCESSO DE ABSORÇÃO DE AMÔNIO.....	104
FIGURA 27 - CHAVE MESTRA CONTÍNUA DE PORTA-ENXERTOS (R4 e R5) CITRUMELO SOB COPA DE LARANJEIRA VALÊNCIA PARA A ABSORÇÃO DE AMÔNIO.....	105
FIGURA 28 - POSSÍVEIS RELAÇÕES ENTRE OS ESTÍMULOS DETECTADOS COM AS ROTAS DENTRO DA CAIXA-PRETA, E ASSOCIAÇÃO DO VACÚOLO COM UM CAPACITOR.....	108
FIGURA 29 - PROCEDIMENTOS (P) UTILIZADOS PARA A AVALIAÇÃO DA NORMA CND.....	121
FIGURA 30 - USO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA (PLC) PARA A SEPARAÇÃO DOS TALHÕES EM GRUPOS DE ALTA E BAIXA PRODUTIVIDADE.....	123
FIGURA 31 - REPRESENTAÇÃO DA VALIDAÇÃO CRUZADA K-FOLD ($K = 10$).....	126
FIGURA 32 - MATRIZ DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE OS TEORES DE NUTRIENTES NO TECIDO FOLIAR E A PRODUTIVIDADE DOS 109 TALHÕES DE SOJA.....	129
FIGURA 33 - MATRIZ DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE OS TEORES DE NUTRIENTES AJUSTADOS NO TECIDO FOLIAR E A PRODUTIVIDADE DOS 109 TALHÕES DE SOJA.....	130
FIGURA 34 - DIVISÃO DOS TALHÕES EM ALTA E BAIXA PRODUTIVIDADE OBTIDOS PELOS PROCEDIMENTOS PARA ARRANJO COM 11 NUTRIENTES.....	133
FIGURA 35 - ÍNDICES DE BALANÇO NUTRICIONAL (CND- r^2) DOS TALHÕES DE ALTA E BAIXA PRODUTIVIDADE, OBTIDOS PELOS PROCEDIMENTOS PARA ARRANJO COM 11 NUTRIENTES.....	135

FIGURA 36 - LEI DO MÍNIMO DE JUSTUS VON LIEBIG (1840).....	139
FIGURA 37 - PRINCÍPIO DO EQUILÍBRIO NUTRICIONAL NA LIMITAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO VEGETAL – REGRA DOS MÍNIMOS E MÁXIMOS LOCAIS..	140
FIGURA 38 - ACURÁCIA MÉDIA DOS VARIADOS ARRANJOS DE NUTRIENTES (d = {10, 9 e 8}) EM RELAÇÃO A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS..	147
FIGURA 39 - ACURÁCIA MÉDIA DOS VARIADOS ARRANJOS DE NUTRIENTES (d = {7, 6 e 5}) EM RELAÇÃO A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS..	148
FIGURA 40 - ACURÁCIA MÉDIA DA NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS (P = {P1, P2, P3 e P4}) EM RELAÇÃO AOS VARIADOS ARRANJOS DE NUTRIENTES.....	149
FIGURA 41 - ACURÁCIA MÉDIA DA NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS (P = {P5, P6, P7 e P8}) EM RELAÇÃO AOS VARIADOS ARRANJOS DE NUTRIENTES.....	150
FIGURA 42 - TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO GOOGLE BUSCAS.....	172
FIGURA 43 - TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO GOOGLE BUSCAS.....	172
FIGURA 44 - TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO GOOGLE BUSCAS	173
FIGURA 45 - TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO GOOGLE BUSCAS	173
FIGURA 46 - TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO GOOGLE ACADÊMICO	174
FIGURA 47 - TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO GOOGLE ACADÊMICO ...	174
FIGURA 48 - TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO GOOGLE ACADÊMICO	175
FIGURA 49 - TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO GOOGLE ACADÊMICO	175
FIGURA 50 - TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO SCIELO.....	176
FIGURA 51 - TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO SCIELO	176

FIGURA 52 - TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO SCIELO.....	177
FIGURA 53 - TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO SCIELO	177
FIGURA 54 - TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO SCIENCE DIRECT	178
FIGURA 55 - TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO SCIENCE DIRECT	178
FIGURA 56 - TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO SCIENCE DIRECT	179
FIGURA 57 - TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO SCIENCE DIRECT	179
FIGURA 58 - TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO BDTD.....	180
FIGURA 59 - TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO BDTD.....	180
FIGURA 60 - TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO BDTD.....	181
FIGURA 61 - TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO BDTD.....	181
FIGURA 62 - DETALHES DO SOFTWARE INFLUX 1.0.....	189
FIGURA 63 - PULSOS PRODUZIDOS EM MUDAS DE CITRUMELO COM COPA DE LARANJEIRA VALÊNCIA, DURANTE O PROCESSO DE ABSORÇÃO DE AMÔNIO	190
FIGURA 64 - CHAVE MESTRA CONTÍNUA DE PORTA-ENXERTOS (R1 E R2) DE CITRUMELO COM COPA DE LARANJEIRA VALÊNCIA PARA A ABSORÇÃO DE AMÔNIO.....	191
FIGURA 65 - CHAVE MESTRA CONTÍNUA DE PORTA-ENXERTOS (R3 E R4) DE CITRUMELO COM COPA DE LARANJEIRA VALÊNCIA PARA A ABSORÇÃO DE AMÔNIO.....	192
FIGURA 66 - SINAIS PRODUZIDOS EM MUDAS DE CITRUMELO, DURANTE O PROCESSO DE ABSORÇÃO DE NITRATO	193
FIGURA 67 - SINAIS PRODUZIDOS EM MUDAS DE CITRUMELO, PRODUZIDOS DURANTE O PROCESSO DE ABSORÇÃO DE FÓSFORO.....	194
FIGURA 68 - SINAIS PRODUZIDOS EM MUDAS DE CITRUMELO, PRODUZIDOS DURANTE O PROCESSO DE ABSORÇÃO DE POTÁSSIO	195

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 -	TERMOS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO UTILIZADOS NOS SISTEMAS DE BUSCAS NA INTERNET	31
QUADRO 2 -	DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 11 e 10 NUTRIENTES ($d = 11$ e $d = 10$) PARA A NORMA CND, COM (PROCEDIMENTO PADRÃO) E SEM EXCLUSÃO DE <i>OUTLIERS</i>	199
QUADRO 3 -	DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 11 e 10 NUTRIENTES ($d = 11$ e $d = 10$) PARA A NORMA CND, SEM E COM (PADRÃO) EXCLUSÃO DE <i>OUTLIERS</i> , MAIS A SUAVIZAÇÃO DOS DADOS.....	200
QUADRO 4 -	DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 10 e 9 NUTRIENTES ($d = 10$ e $d = 9$) PARA A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS.....	201
QUADRO 5 -	DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 9 e 8 NUTRIENTES ($d = 9$ e $d = 8$) PARA A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS.....	202
QUADRO 6 -	DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 8 e 7 NUTRIENTES ($d = 8$ e $d = 7$) PARA A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS.....	203
QUADRO 7 -	DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 7 e 6 NUTRIENTES ($d = 7$ e $d = 6$) PARA A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS.....	204
QUADRO 8 -	DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 6 e 5 NUTRIENTES ($d = 6$ e $d = 5$) PARA A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS.....	205
QUADRO 9 -	DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 11 e 10 NUTRIENTES ($d = 11$ e $d = 10$) PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA, SEM REMOÇÃO DE <i>OUTLIERS</i> E TRATAMENTO PRÉVIO DE DADOS	206

QUADRO 10 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 11 e 10 NUTRIENTES ($d = 11$ e $d = 10$) PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA, COM REMOÇÃO DE <i>OUTLIERS</i> E TRATAMENTO PRÉVIO DE DADOS	207
QUADRO 11 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 10 e 9 NUTRIENTES ($d = 10$ e $d = 9$) PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES	208
QUADRO 12 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 9 e 8 NUTRIENTES ($d = 9$ e $d = 8$) PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES	209
QUADRO 13 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 8 e 7 NUTRIENTES ($d = 8$ e $d = 7$) PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES	210
QUADRO 14 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 7 e 6 NUTRIENTES ($d = 7$ e $d = 6$) PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES	211
QUADRO 15 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 6 e 5 NUTRIENTES ($d = 6$ e $d = 5$) PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES	212

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RESULTADOS PARA OS TERMOS EM PORTUGUÊS NOS SISTEMAS DE BUSCA...	68
TABELA 2 – RESULTADOS PARA OS TERMOS EM INGLÊS NOS SISTEMAS DE BUSCA.....	69
TABELA 3 - DESVIOS MÁXIMOS ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES PROJETADAS E MEDIDAS PARA AS MUDAS DE CITROS DAS REPETIÇÕES AVALIADAS.....	100
TABELA 4 - TEORES DE NUTRIENTES PARA A INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE DE FOLHAS DE SOJA, DO TERCEIRO TRIFÓLIO, À PARTIR DO ÁPICE DO RAMO VEGETATIVO E NO ESTÁDIO R2.....	117
TABELA 5 - ESCALA DE CONCORDÂNCIA KAPPA.....	124
TABELA 6 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS BRUTOS DOS 109 TALHÕES DE SOJA..	128
TABELA 7 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS SUAVIZADOS (TRANSFORMADOS) DOS 109 TALHÕES DE SOJA, APÓS O TRATAMENTO PRÉVIO DA VARIABILIDADE...	131
TABELA 8 - MODELOS ESTATÍSTICOS POR REGRESSÃO LINEAR, PARA AS PRODUTIVIDADES DE SOJA, COM BASE NOS PROCEDIMENTOS ADOTADOS E ARRANJO COM 11 NUTRIENTES.....	134
TABELA 9 - MODELOS ESTATÍSTICOS POR REGRESSÃO LINEAR, PARA OS ÍNDICES DE BALANÇO NUTRICIONAL (CND-r ²) EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE DOS TALHÕES DE SOJA, COM BASE NOS PROCEDIMENTOS ADOTADOS E ARRANJO COM 11 NUTRIENTES.....	136
TABELA 10 - MODELOS ESTATÍSTICOS POR REGRESSÃO LOGÍSTICA, PARA OS ÍNDICES DE BALANÇO NUTRICIONAL (CND-r ²) NA DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA PRODUTIVIDADE (ALTA OU BAIXA) DOS TALHÕES DE SOJA, COM BASE NOS PROCEDIMENTOS ADOTADOS E NO ARRANJO COM 11 NUTRIENTES.....	137
TABELA 11 - COMBINAÇÕES DOS ARRANJOS TESTADOS EM TODOS OS PROCEDIMENTOS	142
TABELA 12 - COEFICIENTES KAPPA DE FLEISS (<i>k</i>), QUALIDADES DAS CONCORDÂNCIAS E TESTE DE QUI-QUADRADO (χ^2) DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS, PARA A NORMA CND PADRÃO E PROCEDIMENTOS ADAPTADOS (P1 AO P4), E PARA A NORMA CND COM DIVISÃO DOS GRUPOS DE PRODUTIVIDADE PELO MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E AS SUAS VARIAÇÕES (P5 AO P6).....	143

TABELA 13 - ACURÁCIA DOS PROCEDIMENTOS REALIZADOS, NA DETERMINAÇÃO DA CATEGORIA DE PRODUÇÃO, COM BASE NA PRODUTIVIDADE E NO ÍNDICE DE BALANÇO NUTRICIONAL (CND- r^2), EM TODOS OS ARRANJOS	146
TABELA 14 - CLASSES DE ANIMAIS DOTADOS DE MECANISMOS ESPECIALIZADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE SINAIS ELETROMAGNÉTICOS, MECÂNICOS E TÉRMICOS DO AMBIENTE	183
TABELA 15 - COEFICIENTES KAPPA DE FLEISS E QUALIDADES DAS CONCORDÂNCIAS PARA OS ÍNDICES CND NA RELAÇÃO DOS ARRANJOS SUBDIMENSIONADOS COM O CONJUNTO INICIAL ($d = 11$), PARA A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS.....	213
TABELA 16 - COEFICIENTES KAPPA DE FLEISS E QUALIDADES DAS CONCORDÂNCIAS PARA OS ÍNDICES CND NA RELAÇÃO DOS ARRANJOS SUBDIMENSIONADOS COM O CONJUNTO INICIAL ($d = 11$), PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES	214
TABELA 17 - NORMA CND PADRÃO: DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (f_o) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS, DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES.....	215
TABELA 18 - NORMA CND SEM A EXCLUSÃO DE <i>OUTLIERS</i> : DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (f_o) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS, DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES.....	217
TABELA 19 - NORMA CND SEM A EXCLUSÃO DE <i>OUTLIERS</i> E COM TRATAMENTO PRÉVIO PRELIMINAR DOS DADOS: DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (f_o) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS ⁽¹⁾ , DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES.....	220
TABELA 20 - NORMA CND PADRÃO, COM TRATAMENTO PRÉVIO PRELIMINAR DOS DADOS: DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (f_o) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS, DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES.....	223

TABELA 21 - NORMA CND COM DIVISÃO DOS GRUPOS DE PRODUTIVIDADE PELO MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA ($PLC = d_{máx}$), SEM A EXCLUSÃO DE <i>OUTLIERS</i> : DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (f_o) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS, DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES.....	225
TABELA 22 - NORMA CND COM DIVISÃO DOS GRUPOS DE PRODUTIVIDADE PELO MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA ($PLC = d_{máx}$), COM TRATAMENTO PRÉVIO PRELIMINAR DOS DADOS E SEM A EXCLUSÃO DE <i>OUTLIERS</i> : DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (f_o) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS, DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES.....	228
TABELA 23 - NORMA CND COM DIVISÃO DOS GRUPOS DE PRODUTIVIDADE PELO MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA ($PLC = d_{máx}$), COM A EXCLUSÃO DE <i>OUTLIERS</i> : DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (f_o) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS, DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES.....	231
TABELA 24 - NORMA CND COM DIVISÃO DOS GRUPOS DE PRODUTIVIDADE PELO MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA ($PLC = d_{máx}$), COM TRATAMENTO PRÉVIO PRELIMINAR DOS DADOS E EXCLUSÃO DE <i>OUTLIERS</i> : DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (f_o) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS, DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES.....	233
TABELA 25 - ACURÁCIA MÉDIA E DESVIO PADRÃO OBTIDOS PELA NORMA CND PADRÃO E PELOS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS, POR VALIDAÇÃO CRUZADA <i>K-FOLD</i> E MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA, EM TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS (d), COM BASE NA PRODUTIVIDADE E NO ÍNDICE DE BALANÇO GERAL (CND- r^2) DE CADA GRUPO	235

TABELA 26 - ACURÁCIA MÉDIA E DESVIO PADRÃO OBTIDOS PELA NORMA CND PADRÃO E PELOS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS, POR VALIDAÇÃO CRUZADA K-FOLD E MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA, EM TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS (<i>d</i>), COM BASE NA PRODUTIVIDADE DE CADA GRUPO.....	236
TABELA 27 - ACURÁCIA MÉDIA E DESVIO PADRÃO OBTIDOS PELA NORMA CND PADRÃO E PELOS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS, POR VALIDAÇÃO CRUZADA K-FOLD E MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA, EM TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS (<i>d</i>), COM BASE NO ÍNDICE DE BALANÇO GERAL (CND- r^2) DE CADA GRUPO.....	237
TABELA 28 - ACURÁCIA MÉDIA E DESVIO PADRÃO OBTIDOS PELA NORMA CND MODIFICADO COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES, POR VALIDAÇÃO CRUZADA K-FOLD E MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA, EM TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS (<i>d</i>), COM BASE NA PRODUTIVIDADE E NO ÍNDICE DE BALANÇO GERAL (CND- r^2) DE CADA GRUPO	238
TABELA 29 - ACURÁCIA MÉDIA E DESVIO PADRÃO OBTIDOS PELA NORMA CND MODIFICADO COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES, POR VALIDAÇÃO CRUZADA K-FOLD E MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA, EM TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS (<i>d</i>), COM BASE NA PRODUTIVIDADE DE CADA GRUPO.....	239
TABELA 30 - ACURÁCIA MÉDIA E DESVIO PADRÃO OBTIDOS PELA NORMA CND MODIFICADO COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES, POR VALIDAÇÃO CRUZADA K-FOLD E MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA, EM TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS (<i>d</i>), COM BASE NO ÍNDICE DE BALANÇO GERAL (CND- r^2) DE CADA GRUPO	240

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	23
2	CAPÍTULO I: DIFERENTES REPRESENTAÇÕES DO PROTAGONISMO DAS PLANTAS NO AMBIENTE E A CIÊNCIA DA NEUROBIOLOGIA VEGETAL.....	25
2.1	RESUMO.....	25
2.2	ABSTRACT.....	26
2.3	INTRODUÇÃO.....	27
2.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
2.5.1	A busca pelo conhecimento.....	31
2.5.2	A Neurobiologia vegetal.....	47
2.5.3	Da nutrição mineral aos processos relacionados à eletrofisiologia.....	59
2.5.4	Dados bibliométricos sobre formas de inteligência, fisiologia e meio ambiente...	67
2.6	CONCLUSÕES.....	72
	REFERÊNCIAS.....	72
3	CAPÍTULO II: CENTRO DE PROCESSAMENTO VEGETAL - MODELO FÍSICO-MATEMÁTICO PARA AVALIAR O COMPORTAMENTO DA PLANTA EM RELAÇÃO À FISIOLOGIA E O PROCESSAMENTO DO AMBIENTE.....	80
3.1	RESUMO.....	80
3.2	ABSTRACT.....	81
3.3	INTRODUÇÃO.....	82
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	84
3.4.1	Análise do processo de absorção de nutrientes (entradas no sistema).....	86
3.4.2	Análise do ritmo da planta durante o processo de absorção (caixa-preta).....	93

3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	94
3.5.1	Parâmetros cinéticos e influxo	97
3.5.2	Indícios de cognição no processo de absorção de nutrientes	101
3.6	CONCLUSÕES	109
	REFERÊNCIAS	109
4	CAPÍTULO III: ESTUDO DO BALANÇO NUTRICIONAL E PROCEDIMENTOS ALTERNATIVOS PARA A DIAGNOSE EM PLANTAS	112
4.1	RESUMO	112
4.2	ABSTRACT	113
4.3	INTRODUÇÃO	114
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	116
4.4.1	Diagnose da Composição Nutricional (CND)	117
4.4.2	Avaliação da concordância e da eficácia da norma CND para múltiplos cenários	120
4.4.3	Análise de desempenho por Validação Cruzada	125
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	128
4.6	CONCLUSÕES	151
	REFERÊNCIAS	151
5	CONCLUSÃO GERAL	156
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	156
	REFERÊNCIAS	158
	ANEXO 1 - NUVEM DE TERMOS	172
	ANEXO 2 - ELETORRECEPÇÃO NOS ANIMAIS	182
	ANEXO 3 - SOFTWARE INFLUX E SINAIS MECÂNICOS	190
	ANEXO 4 - INFLUÊNCIA DO AMBIENTE EM ANIMAIS	196

ANEXO 5 - VISUALIZAÇÃO DAS CORRESPONDÊNCIAS QUALITATIVAS ENTRE OS ÍNDICES CND OBTIDOS PARA MACRO E MICRONUTRIENTES COM ARRANJOS DISTINTOS.....	199
---	------------

ANEXO 6 - ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA ENTRE OS ÍNDICES CND OBTIDOS PARA MACRO E MICRONUTRIENTES COM ARRANJOS DISTINTOS E ACURÁCIA DOS PROCEDIMENTOS.....	215
--	------------

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os vegetais são seres vivos complexos, extremamente sensíveis às variações ambientais, adaptando-se continuamente ao meio em que vivem. Muitos estudos apontam que as plantas conseguem sentir, memorizar e processar experiências ambientais, e usar estas informações para sua manutenção e evolução. Como qualquer outro sistema vivo, as plantas funcionam como sistemas de conhecimento acumulado (Baluška e Mancuso, 2007; Calvo et al., 2016; Calvo e Friston, 2017).

Diversos elementos ambientais, tanto de origens bióticas (polinizadores, as pragas e as doenças), como de origens abióticas (a luz, a umidade e a temperatura), são monitorados a todo momento pelas plantas. Elas apresentam um conjunto de células especializadas, evolutivamente otimizadas, para a transdução de informações sensoriais provenientes de variados estímulos, para as quais são geradas respostas elétricas imediatas (Baluška e Mancuso, 2009a, 2009b e 2009c).

Muitos cientistas apresentam postura cética quanto ao assunto da inteligência e cognição das plantas. O mesmo não ocorre em estudos de certos organismos, como, por exemplo, das abelhas. Segundo alguns autores, esses insetos são capazes de perceber e se projetar no sentido do nascimento do sol, mesmo em total ausência de luz. Tal habilidade é exercida por mecanismos específicos, que permitem ao inseto ter consciência das variáveis ambientais (Garzón, 2007).

Semelhante às abelhas, as folhas da *Lavatera cretica* são capazes de antecipar seu posicionamento em direção ao surgimento dos primeiros raios solares. Também conseguem se reorientar no período noturno, voltando-se novamente para o nascer do sol. A postura descrita, como das abelhas, é constituída por sofisticados sistemas de respostas, pouco compreendidos, ainda que estudiosos arrisquem que os ciclos circadianos e componentes moleculares sejam a explicação palpável para estes comportamentos (Garzón, 2007).

Apesar do desconforto sobre o assunto, há vários cientistas que acreditam na hipótese de que as plantas sejam seres inteligentes, inclusive atuando em campo de estudo denominado de neurobiologia vegetal. Struik et al. (2018) estabeleceram algumas características de um sistema compatíveis com processos cognitivos. Dentre elas, tem-se a percepção contínua de sinais ambientais; o armazenamento contínuo de informações; o processamento de informações e a comunicação entre plantas; o

acesso interno às memórias armazenadas; as alterações de comportamento em resposta ao ambiente externo, tendo como base os sinais e a memória; a capacidade de identificar o ambiente ideal para si; a plasticidade no crescimento e no desenvolvimento mediante oportunidades ofertadas pelo ambiente ideal para a planta.

Diante do desafio de identificar a capacidade das plantas em processar informações ambientais, o objetivo deste trabalho foi avaliar indícios que permitissem relacionar ações à processos cognitivos. Para isso, a Tese foi dividida em três capítulos que abordaram desde a entrada de nutrientes na planta até o equilíbrio desses elementos no tecido vegetal. Os estudos correspondem a parte inicial do Projeto Noûsciber, que apresenta como missão a busca e a difusão de conhecimentos sobre a forma como as plantas aprendem, se adaptam e gerenciam o ambiente.

No primeiro capítulo são apresentados conceitos referentes à eletrofisiologia e à neurobiologia vegetal, com base em uma extensa revisão bibliográfica e bibliométrica. Buscou-se, também realizar reflexões sobre a sistemática da busca pelo conhecimento, realizando várias formas de abordagens. Para ilustrar os pontos de vista e a evolução dos conceitos, foram utilizados os conhecimentos produzidos de natureza científica, filosófica e artística, em diferentes épocas da história.

No segundo capítulo são desenvolvidos modelos matemáticos para a determinação de parâmetros cinéticos e de métodos para a análise do comportamento das plantas no processo de absorção de nutrientes durante o dia e a noite. Também foram desenvolvidas metodologias para determinar o hábito e o ritmo da planta no processo de influxo, bem como estabelecidos princípios para identificar sinais mecânicos relacionados à uma requisição ambiental.

No terceiro capítulo foi analisado o equilíbrio nutricional da planta, sendo desenvolvidos modelos para aprimorar a diagnose da composição nutricional. Para dados foliares com alta variabilidade amostral, foram propostas medidas para o tratamento prévio e recursos relacionados ao aprendizado de máquina. Os três capítulos unidos, representam um sistema integrado, que possibilita realizar predições sobre processos fisiológicos e nutricionais em plantas, bem como inferir sobre o comportamento dos vegetais durante todo o dia.

2. CAPÍTULO I: DIFERENTES REPRESENTAÇÕES DO PROTAGONISMO DAS PLANTAS NO AMBIENTE E A CIÊNCIA DA NEUROBIOLOGIA VEGETAL.

2.1. RESUMO

Existem muitas dúvidas na literatura científica relacionadas a processos e estruturas associadas à inteligência e à cognição em plantas. Para preencher as lacunas do saber, são necessárias análises profundas sobre o funcionamento morfológico e fisiológico, exigindo, também, a aplicação de conceitos filosóficos. Geralmente, quando se inicia a exploração de novas linhas de pesquisas científicas, a falta de informações e a complexidade dos questionamentos acabam permitindo que certos obstáculos, como a descrença e a falta de subsídios, minimizem a sua importância ou prejudiquem a sua continuidade. Essa situação é observada em diversas obras históricas, tanto de expressão artística, como em materiais científicos extremamente importantes. Na Alegoria da Caverna, escrita por Platão entre 514 e 517 A.C., homens presos desde a infância por correntes na caverna eram impedidos de se locomover, conseguindo somente olhar para as paredes de suas prisões, nas quais eram projetadas sombras com origens desconhecidas para eles. Somente quando um dos homens teve a permissão para explorar a caverna, sem as suas amarras, foi possível entender o que acontecia naquele local. Relatos semelhantes à Alegoria de Platão existem no meio científico. Nas primeiras décadas de do século XX, o físico e cientista Jagdish Chandra Bose, dedicou-se à pesquisa no campo da fisiologia vegetal, utilizando microeletrodos e desenvolvendo instrumentos para o registro de respostas elétricas à estímulos em diferentes partes da planta. Com seus experimentos, o cientista constatou que as plantas apresentam sistema nervoso equivalente aos dos animais. Porém, sua trajetória não foi fácil e antes de obter o reconhecimento por suas contribuições, recebeu muitas críticas e descrenças. Os trabalhos de Bose permitiram obter avanços nos estudos da fisiologia, possibilitando para a ciência um novo campo de atuação, a neurobiologia vegetal. Mesmo ainda havendo negação por grande parte dos cientistas, este ramo da ciência vem ganhando muitos adeptos pelo mundo. Parte do descrédito dos cientistas quanto à inteligência e à cognição de plantas residem, principalmente, na crença de que elas são seres passivos e que não possuem estruturas similares aos cérebros e aos neurônios. As plantas, no entanto, são organismos complexos e dinâmicos, que buscam e competem por recursos limitados no ambiente para a realização de diversos processos vitais. Elas são capazes de gerenciar uma infinidade de elementos externos para o seu crescimento, fixação, desenvolvimento e perpetuação no ambiente em que se encontram. Com intuito de ampliar a percepção sobre os fenômenos relacionados à neurobiologia vegetal e de avaliar a hipótese de que as plantas são seres cognitivos, o objetivo deste capítulo foi realizar pesquisas mistas, explorando desde conceitos filosóficos e artísticos, até estudos científicos aprofundados. Com essa abordagem, buscou-se identificar comportamentos compatíveis com processos cognitivos e o modo como as plantas gerenciam o ambiente, propondo medidas para investigar fenômenos associados. As análises bibliográficas e bibliométricas mostraram que o assunto é sólido e bastante discutido na comunidade científica. Os estudos não permitiram identificar os elementos relacionados com a cognição nas plantas e

responder como as decisões ocorrem. Mas, possibilitam expandir as linhas de pesquisa.

Palavras-chave: Neurobiologia vegetal; fisiologia; senciência; processos cognitivos.

2.2. ABSTRACT

There are many questions in the scientific literature related to processes and structures associated with intelligence and cognition in plants. To fill the gaps in knowledge, deep analyzes of morphological and physiological functioning are necessary, also requiring the application of philosophical concepts. Generally, when the exploration of new lines of scientific research begins, the lack of information and the complexity of the questioning end up allowing certain obstacles, such as disbelief and lack of support, to minimize its importance or hinder its continuity. This situation is observed in several historical works, both of artistic expression and reference scientific materials. In the Allegory of the Cave, written by Plato between 514 and 517 B.C., men bound from childhood by chains in the cave were prevented from moving and could only look at the walls of their prisons, on which they cast shadows with origins unknown to them. Only when one of the men was allowed to explore the cave, without his moorings, was it possible to understand what was happening there. Reports similar to Plato's Allegory exist in scientific circles. In the first decades of the 20th century, the physicist and scientist Jagdish Chandra Bose dedicated himself to researching the field of plant physiology, using microelectrodes, and developing instruments to record electrical responses to stimuli in different parts of the plant. With his experiments, the scientist found that plants have a nervous system equivalent to those of animals. However, his path was not easy, and before getting recognition for his contributions, he received a lot of criticism and disbelief. Bose's work allowed for advances in studies in physiology, enabling science a new field of action, plant neurobiology. Even though there is still denial by most scientists, this branch of science has gained many followers around the world. Part of the discredit of scientists regarding the intelligence and cognition of plants lies, mainly, in the belief that these are passive organisms and that they do not have structures similar to brains and neurons. Plants, however, are complex and dynamic organisms that seek and compete for limited resources in the environment to carry out various vital processes. They can manage the multitude of external elements for their growth, fixation, development, and perpetuation in the environment in which they find themselves. To broaden the perception of phenomena related to plant neurobiology and to assess the hypothesis that plants are cognitive beings, the objective of this chapter was to carry out mixed research, exploring from philosophical and artistic concepts to in-depth scientific studies. With this approach, we sought to identify behaviors compatible with cognitive processes and how plants manage the environment, proposing measures to investigate associated phenomena. Bibliographic and bibliometric analyzes showed that the subject is solid and widely discussed in the scientific community. The studies did not allow us to identify the elements related to cognition in plants and to answer how decisions occur. But, they make it possible to expand the lines of research.

Keywords: Plant neurobiology; physiology; sentience, cognitive processes.

2.3. INTRODUÇÃO

As plantas são seres inteligentes? Existem indícios de que possuam consciência? Antes de responder a esses questionamentos é necessário apresentar elementos biológicos importantes, que estão associadas aos processos de aquisição, interpretação, distribuição e armazenamento de informações. Apesar do termo neurobiologia ser aplicado, comumente, a organismos animais, existe um segmento da ciência que estuda comportamentos análogos em organismos vegetais, a “neurobiologia vegetal”. Mesmo havendo discordância entre os cientistas, sob o argumento de que em plantas não há neurônios em sua estrutura clássica, a neurobiologia vegetal apresenta muitos adeptos pelo mundo.

As relações existentes nos processos de transformação e constituição social, com o nascimento de uma determinada base técnica, são bastante complexas. Em um primeiro momento, a produção de conhecimento e o conflito de paradigmas evidenciam a necessidade da exploração de novas abordagens, cujos problemas emergentes oferecem obstáculos expressivos para as teorias clássicas. Dessa forma, debates atuais sobre os modelos teóricos das ciências relacionadas devem atentar a desconstrução no campo da epistemologia e da ontologia, para que sejam rompidas as fronteiras que limitam o saber (Santos, 2001).

A inteligência e os processos cognitivos são formados a partir de uma associação biológica complexa, onde cada elemento constituinte desse sistema pode não ser o suficiente para explicar o todo. Sendo assim, é muito importante que seja definido, com fundamentação filosófica e científica, minuciosa, o que se entende por inteligência e consciência. Ao se observar um organismo vivo, assim como uma máquina, pode-se verificar que para a realização de uma determinada função é necessária a ação harmônica de um conjunto de peças, como por exemplo as engrenagens. Porém, essas estruturas são dependentes de uma unidade que gerencie o momento da ação e como elas devem se comportar.

Na temática da filosofia da tecnologia sobre um objeto técnico, como as máquinas, o filósofo e médico francês Georges Canguilhem (1904-1995) buscava, na maioria das vezes, explicar a estrutura e o funcionamento do organismo, mas raramente tentava compreender a própria construção da máquina (Lopes, 2015).

Contribuindo com uma análise encorpada, o filósofo e engenheiro Gilbert Simondon (1923-1989) realizou uma reflexão mais profunda sobre o assunto.

Simondon defendeu ideias que tratavam da falta de compreensão do mundo tecnológico por parte do mundo cultural. Tal medida visava romper paradigmas que resultavam em um tecnicismo descomedido, cujo cerne apontava a ignorância sobre a índole de um dado objeto técnico. Contudo, para compreender a natureza, a formação e a história de um objeto técnico, é preciso adotar uma visão similar à de um engenheiro, para que haja o correto entendimento dos esquemas específicos inerentes a eles (Cupani, 2016).

Por muito tempo, na ciência tradicional, acreditou-se, equivocadamente, que as plantas são organismos passivos, contudo, os seres vivos fotossintetizantes são organismos autotróficos complexos, altamente dinâmicos, que buscam e competem por recursos limitados no ambiente, para a realização de diversos processos vitais. Natural da sua especialização genética, as plantas são capazes de gerenciar uma grande variedade de elementos externos para o seu crescimento, fixação, desenvolvimento e perpetuação no ambiente em que se encontram (Trewavas, 2002; Volkov, 2006; Marder, 2012; Pollan, 2013; Fermaniuk, 2020).

As plantas são seres tão habilidosos quanto os animais e os seres humanos ao apresentarem uma reação eficaz às constantes mudanças do ambiente. Apesar de sua natureza séssil, possuem um sistema de comunicação que confere uma forma de inteligência, com a capacidade de aprender e memorizar experiências para otimizar o seu condicionamento a perturbações ambientais (Van Loon, 2016).

A neurobiologia vegetal pressupõe que plantas apresentam estruturas equivalentes às conhecidas pela fisiologia animal, tais como os neurônios, sinapses, sistemas de comunicação, incluindo uma organização gerida com inteligência por uma estrutura análoga a um cérebro (Struik et al, 2008). Logo, é possível visualizar grandes feitos vegetais na administração e controle de recursos, com alto grau de versatilidade pelo seu sistema eletrofisiológico.

Para ampliar a percepção sobre ideias, conceitos e argumentos sobre os fenômenos relacionados à neurobiologia vegetal, o objetivo deste capítulo foi de levantar princípios que fundamentam a existência de elementos e comportamentos compatíveis com processos cognitivos e como o ambiente contribui para isso.

2.4. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada para apresentar evidências de elementos que conferem às plantas a qualidade de seres portadores de inteligência cognitiva foi mista. A conexão entre ideias, as diversas formas de conhecimentos, os atores e suas ações, bem como as sondagens multidisciplinares sobre o mesmo assunto (*continuum* planta-solo-atmosfera, inteligência e tecnologia), possibilitaram criar uma malha que auxiliou a fundamentar e estruturar os capítulos posteriores desta Tese.

Para a coleta de informações, adotou-se abordagens quantitativa e qualitativa para contemplar reflexões, vieses, sentimentos e percepções. Dessa forma, a investigação foi realizada por métodos de pesquisa do tipo bibliográfico e bibliométrico. As coletas de dados foram divididas em três etapas:

- I.** Estudo da perspectiva da arte, da filosofia e da ciência, sobre a tecnologia, a consciência, as plantas e o ambiente;
- II.** Diferentes visões sobre a complexidade da forma como as plantas processam o ambiente;
- III.** Pesquisas bibliométricas sobre os elementos associados à inteligência e à cognição em animais, plantas e robótica.

Com essas três etapas, foi criada uma revisão literária multidisciplinar sobre as diversas teorias defendidas tanto no meio científico, como no meio filosófico. Embora não haja compromisso direto com a verdade¹, ou melhor, com a responsabilidade de explicar os fundamentos que abordam a neurobiologia vegetal, também foi recorrido a conceitos apresentados em obras populares e artísticas, para romper barreiras muitas vezes impostas pelo ceticismo científico.

¹ Por vezes, a produção artística e linguística pode contrariar a compreensão convencional das coisas, mas no contexto dos relacionamentos interpessoais, o sentido do discurso passa a ser compreendido pelas pessoas que as consomem. Segundo Bakhtin (2010), a concepção dialógica caracteriza-se pela unificação de todas as atividades das linguagens, na qual apresenta rica dialogia entre os gêneros do discurso. A variedade da atividade humana é inesgotável e cada esfera dessa atividade comporta um repertório de gêneros do discurso que vai se diferenciando e ampliando à medida que se desenvolve e fica mais complexa. Apesar dos gêneros estarem em constante reelaboração e serem fáceis de combinar, para o indivíduo falante eles não deixam de ter um valor normativo. Se não existissem os gêneros do discurso e tivéssemos de criá-los em cada processo da fala, construindo cada um dos enunciados, a comunicação verbal seria praticamente impossível.

O foco da prospecção de dados foi mapear os variados tipos de conhecimentos moldados pelos seres humanos ao longo dos anos, conforme as seguintes proposições básicas:

- I.* Apresentar as relações e os contrastes existentes entre os conhecimentos artísticos, filosóficos e científicos sobre a evolução da tecnologia e a complexidade das interações das plantas com o ambiente;
- II.* Estabelecer uma autocrítica sobre a forma como são propagados conceitos e materiais científicos;
- III.* Produzir metadados para aproximar o conteúdo produzido na tese para a população, em geral, para o assunto abordado.

A pesquisa bibliográfica foi subdividida em buscas por materiais cinematográficos, literários, digitais interativos para entretenimento e científicos. Por meio das buscas cinematográficas e de interação digital, foram analisadas obras populares que continham conceitos disruptivos sobre a ciência e/ou que retratassem a forma como o imaginário entende a ciência. Pelas obras literárias, com foco no gênero ensaio², foram coletados conceitos que representassem o contraditório sobre um possível enquadramento das plantas como seres cognitivos.

Referente ao conteúdo científico, foram realizadas buscas nos repositórios da Science Direct, Google Buscas (convencional), Google Acadêmico, SciELO, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), sem discriminação de periódicos. O intuito foi observar a quantidade de registros apresentados para 37 termos associados, direta ou indiretamente, à ideia de inteligência em plantas, animais, seres humanos e robôs, bem como o representante do meio ambiente, o solo (QUADRO 1).

Para otimizar os resultados das buscas, foi utilizado o operador lógico do tipo aspas (“ ”). Quando termos compostos, com duas ou mais palavras, estão entre aspas, são apresentados resultados para o termo com as palavras juntas e na ordem em que elas foram digitadas (combinações exatas).

² Trata-se da escrita crítica e antidogmática, com a qual comunicamos pensamentos, juízos, reflexões, interpretações. Pode ser apresentado como um tipo de escrita direta, mas ao mesmo tempo sofisticada e indócil ou, flexível e maleável (Berardinelli, 2011).

QUADRO 1 – TERMOS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO UTILIZADOS NOS SISTEMAS DE BUSCAS NA INTERNET

Termos em português	Termos em inglês
<i>Autômatos; Ciência do Solo; Cognição; Cognição animal; Cognição em plantas; Cognição vegetal; Consciência vegetal; Eletrofisiologia; Eletrofisiologia animal; Eletrofisiologia humana; Eletrofisiologia vegetal; Fauna inteligente; Flora inteligente; Inteligência artificial; Inteligência animal; Inteligência humana; Inteligência vegetal; Neurociência; Neurobiologia; Neurobiologia animal; Neurobiologia humana; Neurobiologia vegetal; Neurofisiologia; Neurofisiologia animal; Neurofisiologia humana; Neurofisiologia vegetal; Nutrição de plantas; Nutrição humana; Nutrição animal; Sinapse vegetal; Senciência vegetal; Senciência em plantas; Senciência; Solo; Robôs; Vegetais inteligentes; Plantas são inteligentes.</i>	<i>Automata; Soil science; Cognition; Animal cognition; Cognition in plants; Plant cognition; Plant awareness; Electrophysiology; Animal electrophysiology; Human electrophysiology; Plant electrophysiology; Intelligent fauna; Smart flora; Artificial intelligence; Animal intelligence; Human intelligence; Plant intelligence; Neuroscience; Neurobiology; Animal neurobiology; Human neurobiology; Plant neurobiology; Neurophysiology; Animal neurophysiology; Human neurophysiology; Plant neurophysiology; Plant nutrition; Human nutrition; Animal nutrition; Vegetable synapse; Vegetable sentience; Sentience in plants; Sentience; Soil; Robot; Smart vegetables; Plants are smart;</i>

FONTE: O autor (2020).

Os dados coletados nos sistemas de busca foram organizados e processados para a obtenção de um mapa do tipo nuvem de palavras. Com esse processo buscou-se observar a quantidade de termos encontrados, com conceitos mais populares e comuns no meio científico. Ao final das buscas, foi elaborado um diagrama de causa e efeito (também chamado de espinha de peixe), representando as dificuldades que podem estar associadas para que seja respondida a pergunta inicial deste capítulo.

2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

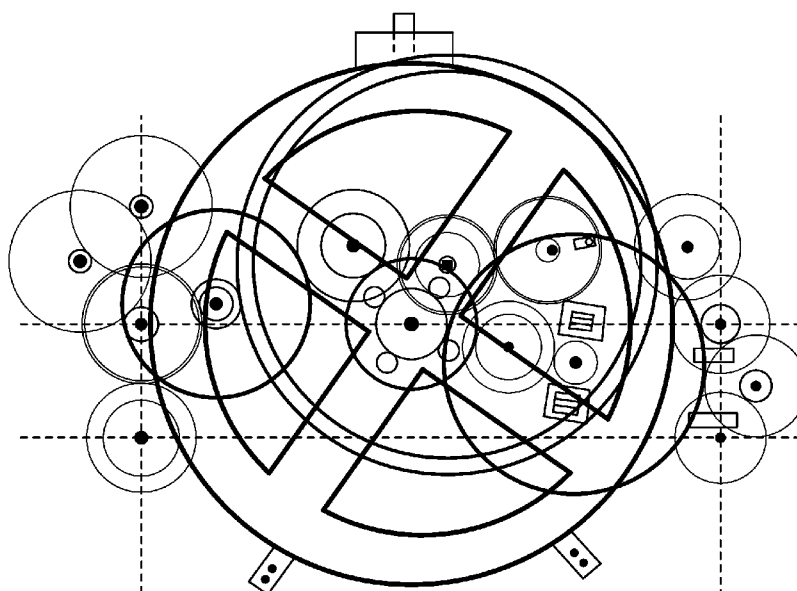
2.5.1. A busca pelo conhecimento

Independentemente do credo, é visto que em toda a trajetória humana, o acúmulo de conhecimento moldou a percepção das pessoas sobre o futuro e alterou as formas como lidavam com seus problemas e encaravam o novo. Desde os primórdios de sua existência, é notório como os seres humanos se posicionavam, intencionalmente ou não, como o centro e a medida das coisas. O antropocentrismo

foi bastante marcante em várias passagens históricas e ainda influencia a produção de muitos trabalhos científicos.

Apesar de seus acertos e tropeços, são admiráveis os relatos da persistência humana ao tentar desvendar o desconhecido, seja por métodos questionáveis, como a alquimia, ou por artefatos avançados para a época quando a ciência era rudimentar, como a máquina de Anticítera (FIGURA 1). Criada na Grécia, por volta do século II A.C., a máquina de Anticítera é um dos mecanismos antigos mais complexos, cheio de engrenagens que permitiam obter informações astronômicas como o calendário solar e lunar, os quais ajudavam em diversas atividades como as práticas agrícolas (Wright, 2013; Freeth et al., 2008 e 2006).

FIGURA 1 – ESQUEMA DA MÁQUINA DE ANTICÍTERA



FONTE: O autor (2020).

Dentre os mais variados mistérios que alimentaram o imaginário popular, tem-se a própria existência humana. Retratadas de diversas formas, seja em grandes obras religiosas, científicas ou artísticas, sempre houve a tentativa de compreender a vida e os elementos que a sustentava. O cérebro humano e o funcionamento do corpo, por exemplo, foi alvo de muitos estudos. É possível observar desde aberrações, como o monstro de Victor Frankenstein³, até estudos de anatomia, como aqueles

³ A obra foi criada por Mary Shelley em 1818. Dr. Victor Frankenstein era um “médico louco”, que utilizou o seu conhecimento científico para reanimar uma criatura, constituído por peças de vários corpos humanos, que foram roubadas e costuradas (Johnson, 2018).

realizados por Leonardo Da Vinci. Não muito longe dessa temática, também há estudos da reprodução da mente humana, demonstrados em vários trabalhos de Isaac Asimov.

Nos trabalhos do escritor e bioquímico russo Isaac Asimov (1920-1992), são apresentados princípios científicos de diversos tipos, sob perspectivas ficcionais e não-ficcionais. Com uma vasta gama de livros produzidos, lançou inúmeras previsões (consideradas inicialmente como ficcionais), que se tornaram alternativas viáveis para a humanidade e para o desenvolvimento da sociedade (Northfield, 2019; Ralph, 2017).

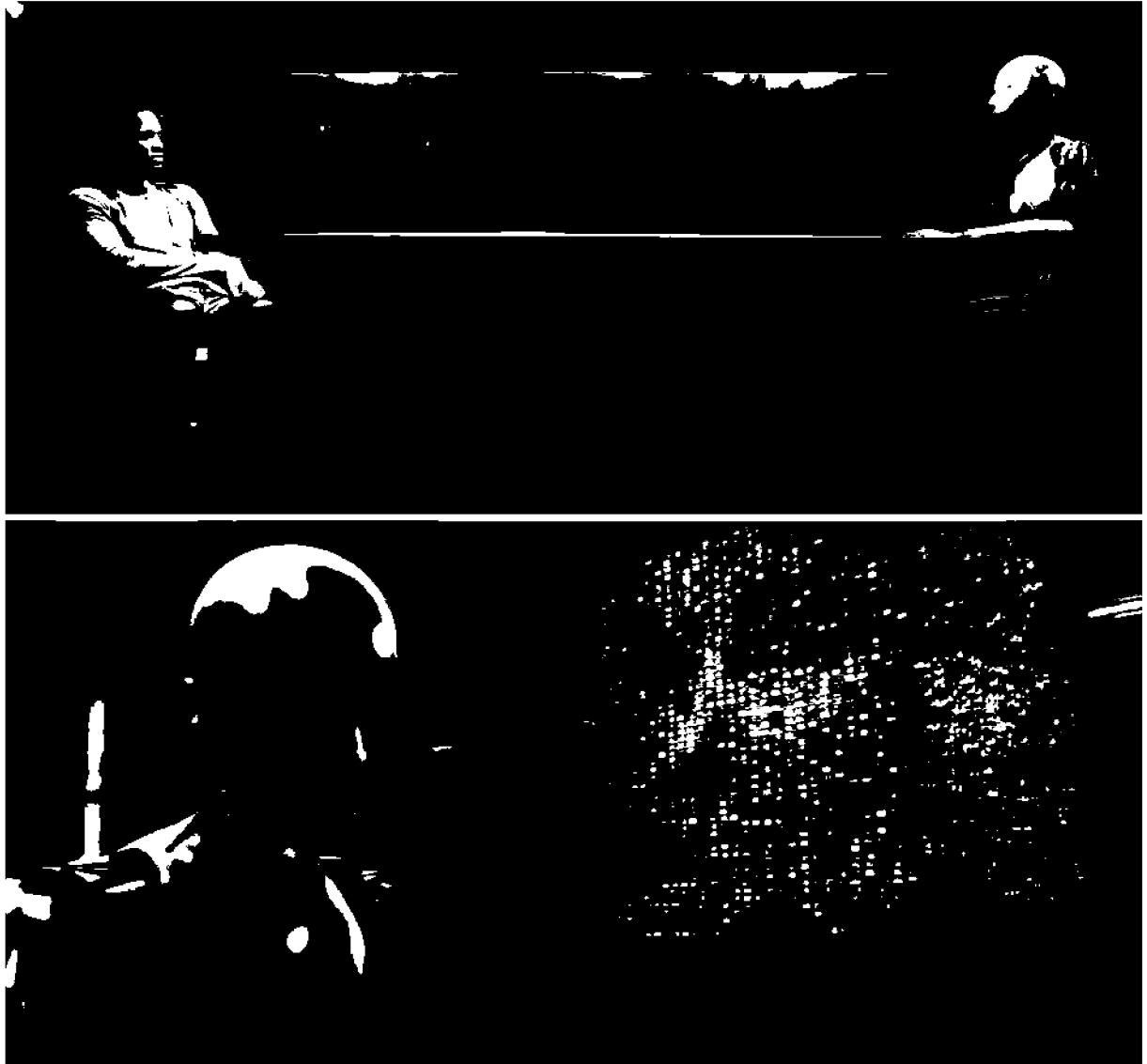
Em seu livro intitulado “Eu, robô”, Asimov criou cenários em que seres robóticos são capazes de realizar atividades mundanas. Questões sociais e científicas são levantadas, proporcionando aos leitores, questionamentos e vislumbres dos impactos que as evoluções dos processos tecnológicos podem causar. Além disso, há uma aproximação das pessoas para conceitos relacionados à realidade dos robôs e ciborgues, preparando todos para a inserção em um Mundo compartilhado por máquinas e seres não humanos (Seiffert, 2018). Contudo, apesar de revolucionário, é considerado um limite quanto ao uso de robôs em benefício à humanidade. Os possíveis problemas resultam, principalmente, do rompimento das três leis de Asimov (Murphy e Woods, 2009):

- I.** Um robô não pode ferir um ser humano ou, por inação, permitir que um ser humano sofra algum dano;
- II.** Um robô deve obedecer às ordens dadas a ele por seres humanos, exceto quando tais ordens entrarem em conflito com a primeira lei;
- III.** Um robô deve proteger sua própria existência, desde que tal proteção não entre em conflito com a primeira ou a segunda lei”.

No filme *Eu, Robô* (20th Century Studios, 2004), mesmo nome da obra de Asimov, há uma discussão rica em detalhes sobre a interpretação das três leis da robótica pelos robôs, sendo estabelecido um cenário possível. Como forma de proteger os seres humanos de si mesmos, V.I.K.I, uma inteligência artificial bastante avançada, estabelece uma interpretação própria da lei, designando entidades robóticas para cercear a liberdade humana (FIGURA 2). Para justificar a ação desmedida, a inteligência artificial assumiu que, devido a sua natureza agressiva, os

seres humanos são capazes de se autodestruírem por meio de guerras, poluição ambiental entre outros conflitos interpessoais.

FIGURA 2 – ROBÔ SONNY SENDO INTERROGADO PELO DETETIVE DEL SPOONER, E RECEBENDO INSTRUÇÕES DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL V.I.K.I.



FONTE: Eu, Robô (2004).

Asimov também serviu de inspiração para o mundo dos jogos eletrônicos. Em *Detroit: Become Human*, da Quantic Dream (2018), robôs humanoides eram designados para atividades comuns de seres humanos (como trabalhos braçais, policiamento ou serviços domésticos), adquirindo a capacidade de expressar o livre arbítrio e, em muitas situações, até se rebelarem contra os seus criadores. Por sua vez, no jogo *Horizon: Zero Dawn*, da Guerrilla Games (2017), é retratado um mundo pós-apocalíptico em que máquinas autônomas, com a aparência de animais,

substituíram a fauna global, alimentando-se de vegetação que restou e da matéria orgânica do solo, transformando-a em energia vital (FIGURA 3).

FIGURA 3 – FORMAS DE ROBÔS APRESENTADAS EM JOGOS ELETRÔNICOS



FONTE: Horizon: Zero Dawn (2017) e Become Human (2018).

LEGENDA: Acima, robô humanoide; abaixo, robôs transformando matéria orgânica em energia.

Murphy e Woods (2009) reforçam que, as leis de Asimov contemplam principalmente os robôs como agentes autônomos. Por isso, as três leis foram reelaboradas e centradas no ser humano (Murphy e Woods, 2009):

- I.* Um ser humano não pode implantar um robô sem que o sistema de trabalho humano-robô atenda aos mais altos padrões legais e profissionais de segurança e ética;
- II.* Um robô deve responder aos humanos conforme apropriado para suas funções;
- III.* Um robô deve ser dotado de autonomia suficiente para proteger sua própria existência, contanto que tal proteção forneça transferência suave de controle para outros agentes de acordo com a primeira e a segunda lei.

A usabilidade de leis⁴ (implantadas sob forma de “módulos”) para controle e supervisão, parte do pressuposto que, quanto mais alta a capacidade de robôs, mais perigosas e inusitadas podem ser as ações destes frente à sociedade. Assim, acaba sendo necessário o estabelecimento de mecanismos ou alternativas para que haja o cumprimento dos princípios éticos e deveres morais. A versatilidade e a inovação dos não-humanos (robóticos ou não) são capazes de gerar desconforto, uma vez que tais condições podem não se tornar possíveis (Clarke, 1993; Jubaer, 2020).

Para a criação de sistemas com inteligências artificiais, devem ter consciência plena de que, para o desenvolvimento de máquinas avançadas, critérios devem ser impostos. Há necessidade da limitação das possibilidades da capacidade mental dos seres não-humanos, fazendo com que estes sintam-se projetados com a percepção de que serão úteis para a humanidade, sem margens para indagações opostas a esses princípios (Costa e Arauz, 2018).

Para o estabelecimento de éticas computáveis, torna-se necessário que máquinas sejam capazes de aconselhar os humanos sobre os próprios princípios (Anderson, 2016). Isso exige a elaboração de projetos que incluam uma “máquina ética autônoma”, mesmo sendo difíceis de se realizar, para que haja o julgamento correto acerca do status ético. As leis de Asimov podem ser insuficientes, pois não é plenamente confiável a imposição de restrições de comportamento e nem a aplicação

⁴ Tais leis demarcam, principalmente, a criação de robôs centrados no homem, utilizados para realizar anseios e necessidades humanas (He et al., 2017).

de um conjunto de regras para robôs. Com o aumento de complexidades, há um aumento consecutivo de altos riscos, uma vez que haja interações múltiplas de sistemas e módulos, suscetíveis a falhas. Além disso, questionamentos inerentes aos seres inorgânicos, quanto ao uso pelos seus projetistas e a rejeição quando incompatíveis às suas funcionalidades, trazem uma visão holística para a complexidade da temática (Clarke, 1994).

Ainda que seja possível a construção de um ser não humano capaz de raciocinar, ou seja, exibir inteligência, o impedimento da busca pelo conhecimento ou dos questionamentos ao seu criador pode resultar em novos conflitos na relação homem-máquina (Harris, 2019). O fascínio dos seres humano perante as inteligências artificiais é crescente, aguçando a curiosidade para cada possível cenário futurista. Intrínseco à natureza humana, a exploração de novos conceitos ou estruturas de sociedades e de relacionamentos são capazes de fornecer novas perspectivas para o convívio entre humanos e seres não-humanos.

Nas reflexões de Asimov, as relações empáticas dos seres humanos com os robôs poderão tornar a comunicação e o contato com os seus semelhantes mais restritiva. Isaac Asimov salienta que, em um universo distópico e futurista, os humanos manterão uma maior aproximação com os seres inumanos, deixando de lado a cordialidade com outras pessoas. Esses contextos fazem alusão às questões associadas ao crescimento tecnológico desordenado contra a própria natureza do homem (Anand et al., 2019; Pereira e Pisetta, 2020).

Lu et al. (2018) propõe, como forma de saciar o medo e oferecer uma contramedida para o controle de seres não-humanos, uma associação de conceitos de vida artificial com a tradicional inteligência artificial. Desta maneira, torna-se possível a implementação de métodos de aprendizagem que permitam associar dados observacionais, por meio de redes neurais, em grande número de camadas. Com o comprometimento da ciência em torno do entendimento das formas artificiais ou análogas à vida humana, torna-se razoável o estabelecimento de tecnologias inteligentes ainda controladas (Davenport e Ronanki, 2018).

Ilustrando as questões filosóficas do relacionamento homem-máquina, um exemplo clássico a ser mencionado é a produção cinematográfica A.I. - Inteligência Artificial (2001). No filme, a criação de robôs destinados ao amor familiar causa estranheza e uma revolução nos códigos éticos e morais humanos, causando conflitos

na sociedade. O desenvolvimento da capacidade do pensamento e adoção de sentimentos pessoais, no decorrer do filme, desperta as inúmeras possibilidades do convívio integrado entre seres humanos e robôs, como a imagem de um espelho (FIGURA 4).

FIGURA 4 – COMO NA HISTÓRIA DE PINÓQUIO, O MENINO-ROBÔ DAVID⁵ PEDE PARA A FADA AZUL TRANSFORMÁ-LO EM UM MENINO DE VERDADE



FONTE: A.I. – Inteligência Artificial (2001).

A definição do que é “ser humano” permeia não somente a característica do físico, mas também do cerne da mente. No contexto da robótica e da interação entre homem e máquina, uma condição complexa, e ao mesmo tempo misteriosa, se torna fundamental para dar significado à criação de inteligências artificiais, “O enigma da existência”. Dessa maneira, o que é existir? O que nos tornam reais de verdade?

No filme *Matrix* (1999) esse mistério é trabalhado de forma brilhante. Por meio de duas pílulas, Morpheus oferece duas condições à Neo: em uma das mãos está a pílula azul, para manter a ignorância abençoada, e na outra mão, a pílula vermelha, para uma verdade dolorosa (FIGURA 5). Afinal, somos reais ou apenas uma

⁵ Na busca pela fada azul, David pergunta para o Dr. Saber como a fada consegue transformar um robô em um menino de verdade. Como resposta, recebe uma pista importante que dizia: “*Vá embora criança humana para as águas e as montanhas de mãos dadas com uma fada, pois o mundo é mais cheio de dor do que possa imaginar, sua busca é perigosa, mas a recompensa é valiosa. Neste livro ‘Como um robô pode se tornar humano’ o professor Allen Hobby escreve sobre o poder que transformará Mecas em Orgas*” (A.I. - Inteligência Artificial, 2001).

simulação? Se somos reais, qual o nosso significado e o nosso papel? O que nos define em um ambiente real e dinâmico?

FIGURA 5 - MORPHEUS OFERECE À NEO A POSSIBILIDADE DE ESCAPAR DA PRISÃO DA SUA MENTE E DE PODER DESCOBRIR A VERDADE SOBRE O MUNDO



FONTE: Matrix (1999).

Para entendermos a problemática e podermos responder com segurança à essas perguntas, é de grande importância que consideremos a ciência como um elo entre a realidade palpável e a ficção misteriosa e “quase inalcançável”. A expressão da realidade que nos rodeia, em consonância com a busca de respostas, pode nos aproximar do inusitado (Marino-Cicinelli, 2019). Muitas vezes não somos capazes de compreender “o novo” ou “o contraditório”, pois parte do que somos é fruto de experiências virtuais⁶ daquilo que não vivemos e que, talvez, jamais vivamos.

⁶ Aquilo que somente lemos, ouvimos falar ou presumimos saber.

A essência é algo inato e imutável à natureza das coisas. Logo, ela é capaz de determinar a natureza humana, ou seja, o ser humano é a simples demonstração de sua natureza. Mas isso acaba impedindo, muitas vezes, questionamentos quanto ao fato de se aprender o que é ou não ser um humano e, principalmente, impedindo a transferência de conceitos e significados similares para outros seres. Essas condições tornam-se ainda mais complexas à medida em que elementos como a própria consciência, e a sensação de existência, não são explicáveis pela ciência e, tampouco, reproduzíveis (Xuanmeng, 2020).

Na alegoria da caverna, escrita pelo filósofo grego Platão (514 e 517 A.C), a obra literária descreve o diálogo entre Sócrates e Glauco, em que é relatado a história de homens presos por amarras, desde pequenos, em uma morada subterrânea, forçados a permanecer no local sem a possibilidade de se movimentar. Na caverna, os prisioneiros passavam os dias olhando para a parede, onde o brilho da luz de uma fogueira atrás deles projetava sombras com formatos variados. Por não conseguirem virar a cabeça, não conseguiam definir a que pertencia as sombras e, por isso, passaram a dar nomes às imagens que enxergavam (Platão, 1994).

Diante das limitações impostas na caverna, os prisioneiros não eram capazes de imaginar o que ocorria fora daquele mundo subterrâneo, até que em certo momento ocorre uma reviravolta. Um dos homens é libertado, o qual imediatamente se levanta e se locomove em direção a luz. Tal ocorrido causou dor ao homem, mas também o deslumbre sobre o que passou a enxergar. A remoção das amarras causou uma grande transformação ao homem, pois o que a princípio eram apenas representações em uma parede, agora é uma realidade totalmente diferente (Platão, 1994).

Em *Matrix* (1999) também é demonstrado que as buscas por respostas dependem de ações, ou habilidades, que permitam ao questionador enxergar os meios e caminhos a serem seguidos. Dessa forma, uma teoria necessita ser vista muito além de um conceito⁷, mas também na forma de um objeto (e vice-versa), para que a sua realidade ou verdade defendida seja sentida, compreendida, assimilada e difundida com solidez. Somente assim, os obstáculos impostos pela projeção das ideias poderão ser superados (FIGURA 6).

⁷ Elementos seguidos conforme uma metodologia ou crença.

FIGURA 6 - NEO SUPERA A BARREIRA DO MUNDO IRREAL



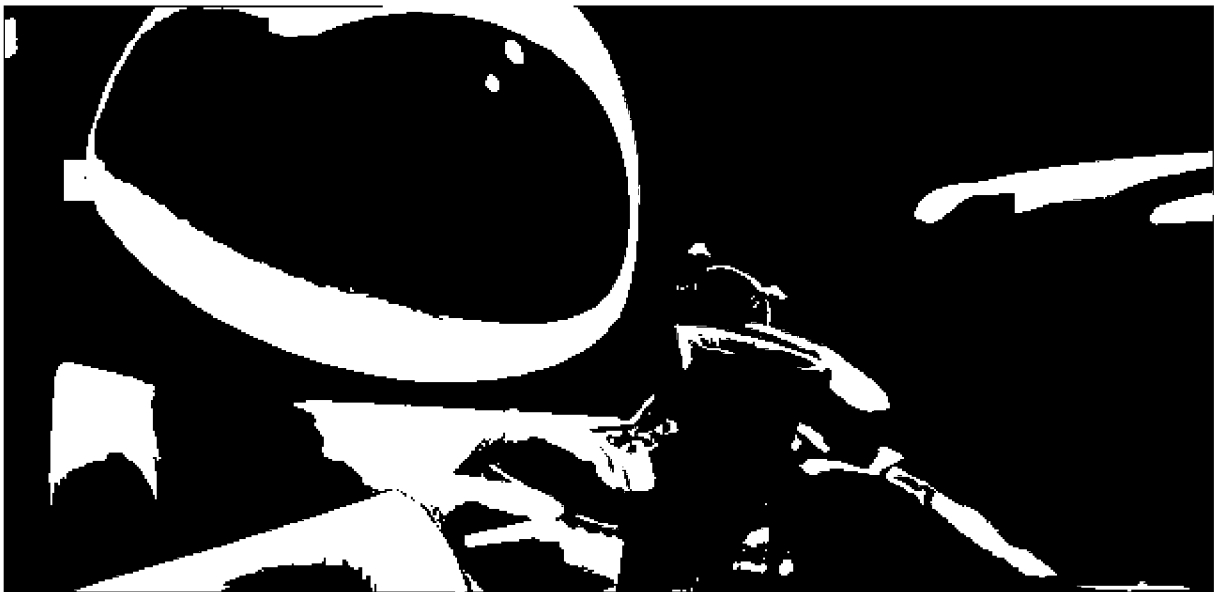
FONTE: Matrix (1999).

O sentido da existência e da apropriação da condição existencial, o protagonismo dos indivíduos perante as possibilidades de ser e de se relacionar com o mundo, pode ser considerada a fonte explanadora dos questionamentos inerentes

às formas de vida (Braga e Farinha, 2017). Contudo, quando transportamos esses conceitos aos processos cognitivos, não restam dúvidas de que isso não se trata de uma exclusividade humana. Comportamentos similares na forma como um indivíduo interage com o ambiente e na constituição de estruturas sociáveis, são constantemente observadas em organismos animais (ANEXO 2) e vegetais.

Nos filmes WALL-E (2008) e Interestelar (2014), os organismos vegetais têm destaque discreto, mas com enorme importância. Ambas as produções retratam realidades distópicas, em que as plantas representam a esperança de vida. Em WALL-E, a robô EVE segue em busca da existência de vida em diversos planetas e, quando a encontra, torna-se motivo de esperança para a vida da população que restou das calamidades ambientais (FIGURA 7).

FIGURA 7 – EVE E WALL-E COM O SÍMBOLO DE ESPERANÇA PARA OS HUMANOS

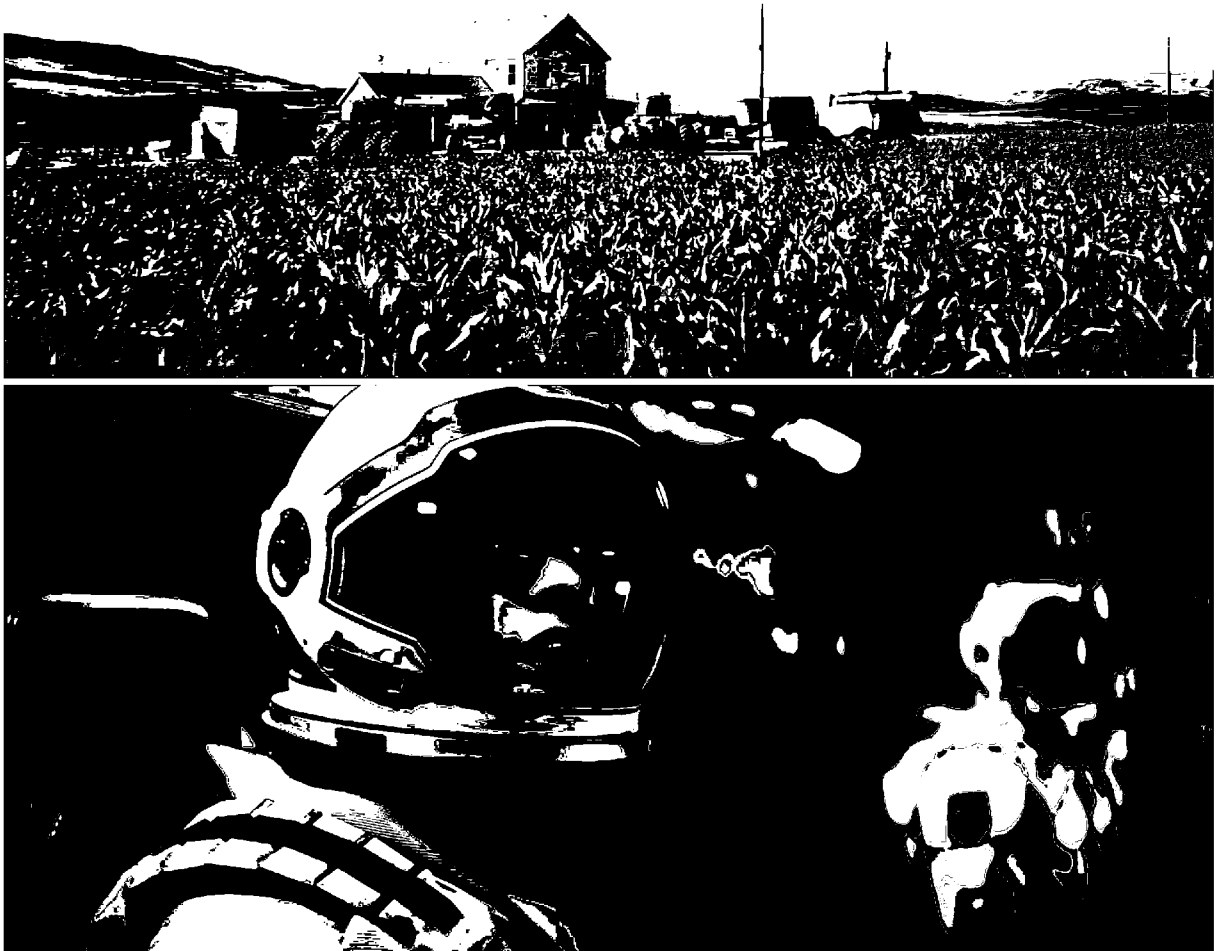


FONTE: WALL-E (2008).

Em Interestelar, uma série de eventos ambientais complexos ameaçavam a existência humana no planeta (FIGURA 8). O grande dilema do filme se baseava em como preservar a vida na Terra frente ao quase esgotamento dos recursos naturais, à fome e às pragas agrícolas. Para evitar um desastre eminente, uma longa viagem espacial foi realizada, onde os tripulantes da espaçonave Endurance realizaram a passagem por um buraco-de-minhoca próximo a Saturno. Na busca por planetas habitáveis a espaçonave precisou percorrer próximo ao buraco negro Gargantua, que devido à distorção espaço-tempo, adicionou muitos anos terrestres à jornada.

Os conceitos científicos abordados no filme impressionam pela qualidade técnica⁸, mas também evidenciam desproporcionalidades. Mesmo existindo viagens multidimensionais, os métodos científicos retratados não foram suficientes para solucionar questões inerentes ao plantio e ao desenvolvimento de plantas resistentes.

FIGURA 8 - CENAS DO FILME INTERESTELAR: DE UMA PLANTAÇÃO DOENTE AO ESPAÇO EM UM BURACO-DE-MINHOCA PRÓXIMO DE JÚPITER



FONTE: Interestelar (2014).

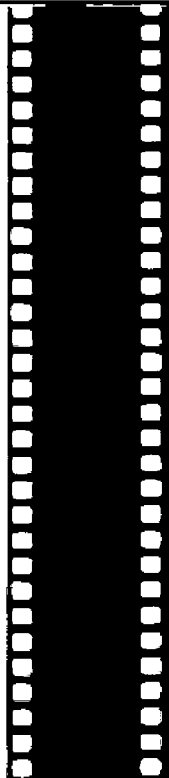
É curioso observar a forma como os conhecimentos avançados em robótica, biologia, química e física (como as teorias do buraco negro, buraco-de-minhoca e

⁸ O filme recebeu consultoria de cientistas e os conceitos abordados serviram de inspiração para a produção de vários materiais científicos, como os trabalhos produzidos por James et al. (2015a e 2015b) e Thorne (2014).

mecânica quântica), em *Interestelar*, contrastam com a falta de estratégias para lidar com os problemas relativos à agricultura. Nem todo o conhecimento sobre conceitos complexos, foram capazes para solucionar as questões sobre o manejo das plantas, classificados, desde o início, como itens essenciais para a manutenção da vida no planeta. Projetando-se no mundo real, ainda existem sombras no saber sobre muitos aspectos fisiológicos vegetais e o modo como esses organismos percebem as diversas variáveis ambientais.

A mesma desproporcionalidade científica ocorre no filme *Oblivion* (2013). Em um mundo pós-apocalíptico, que converte a água do mar em energia nuclear e que possui uma estação espacial temporária (Tet) de migração para Titã (a maior lua de Saturno), um “simples” organismo vegetal causa espanto. Com o objetivo de agradar sua companheira Victória, Jack Harper a presenteia com uma pequena planta, cultivada em uma cápsula, cuja flor fictícia lembra a de uma *Mimosa pudica*. Mas ela, com espanto, rejeita o presente jogando-o fora pela sacada de sua casa, cujas estruturas estão suspensas nas alturas por mecanismos que desafiam a engenharia moderna (FIGURAS 9 e 10).

FIGURA 9 – TRANSCRIÇÃO DA CONVERSA DO FILME OBLIVION (DUBLADO), DO MOMENTO EM QUE JACK HARPER ENTREGA PARA VICTÓRIA (VIKA) UMA PLANTA COMO PRESENTE

Vika [curiosa]: — <i>O que foi Jack Harper?</i> (Jack estende a mão e entrega o presente para ela) Vika [assustada]: — <i>Onde conseguiu?</i> Jack: — <i>Estava crescendo no...</i> (Victória se vira imediatamente, abre a porta, e joga a planta pela sacada) Vika: — <i>Você conhece as normas, eu sei que você acha que eu sou uma chata, mas não imagina as toxinas que uma coisa dessa pode ter.</i> Jack [atônito]: — <i>É uma flor, Vika...</i> (Victória interrompe imediatamente Jack e retruca) Vika [irritada]: — <i>A questão não é essa. A questão é que estamos muito perto do fim e a última coisa que queremos é por tudo em risco!</i> Jack: — <i>Tá bem!</i>	
--	---

FONTE: *Oblivion* (2013).

FIGURA 10 – CONTRASTE ENTRE O CULTIVO E A TECNOLOGIA EM OBLIVION



FONTE: Oblivion (2013).

As plantas também causam espanto em Fim dos Tempos (2008). Na obra cinematográfica, um processo de comunicação complexo entre organismos vegetais

liberava no ar substâncias que causavam paralisia momentânea e mortes em seres humanos por todo o planeta (FIGURA 11).

FIGURA 11 – PESSOAS EM PÂNICO FUGINDO DE UMA AMEAÇA INVISÍVEL



FONTE: Fim dos Tempos (2008).

É bastante evidente que a complexidade das plantas não é bem explorada ou compreendida nessas grandes produções cinematográficas. Além das conveniências de roteiro e de liberdade poética⁹, uma possível explicação para esse comportamento pode ser dada pela forma como materiais científicos são publicados e apresentados para a população. Grande parte do que é produzido pelos pesquisadores e cientistas é publicado em artigos científicos, dentre os quais, geralmente, são priorizados os de maior fator de impacto. Todavia, muitos desses periódicos não são divulgados livremente para a população comum, tendo o seu acesso condicionado a um pagamento ou disponível por um sistema vinculado às instituições de ensino, como as universidades e os centros de pesquisa.

Além das questões burocráticas e do próprio idioma nos quais os materiais científicos são submetidos, normalmente inglês e limitante para quem não é fluente,

⁹ Para Pina (2000), a liberdade poética consiste na preocupação do criador em não cair na realidade das coisas, utilizando como válvula de escape alguma coisa surreal (talvez utópica) para a elaboração de suas obras. A autora ainda menciona, que o eu poético não se define propriamente ao poeta, mas sim a uma realidade em que acredita desde sempre.

existem condições em que o conteúdo não é facilmente compreensível pela população leiga, desestimulando a leitura. A mesma situação dificilmente ocorre em obras literárias e cinematográficas, que além de oferecerem bom entretenimento, também instruem, como é o caso dos filmes que retratam uma determinada época da história e, até mesmo os de ficção científica, como alguns mencionados anteriormente.

No Brasil, um bom exemplo da baixa procura pelo público em geral por assuntos científicos novos é o canal do Youtube do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFPR¹⁰. O propósito do canal é divulgar os projetos dos mestrandos e doutorandos para a população. No entanto, após 2 meses da criação, o vídeo mais assistido não passou de 200 visualizações.

É sabido que o algoritmo da plataforma do Youtube acaba influenciando a forma como o conteúdo do canal é distribuído para a comunidade, mas algumas medidas podem ser usadas para melhorar esse cenário. Dentre essas medidas, também aplicáveis aos artigos científicos, tem-se o uso de metadados estratégicos, a tradução do conteúdo em algo simples e a comparação com elementos cotidianos, como é o caso da associação do imaginário e do lúdico com os eventos reais.

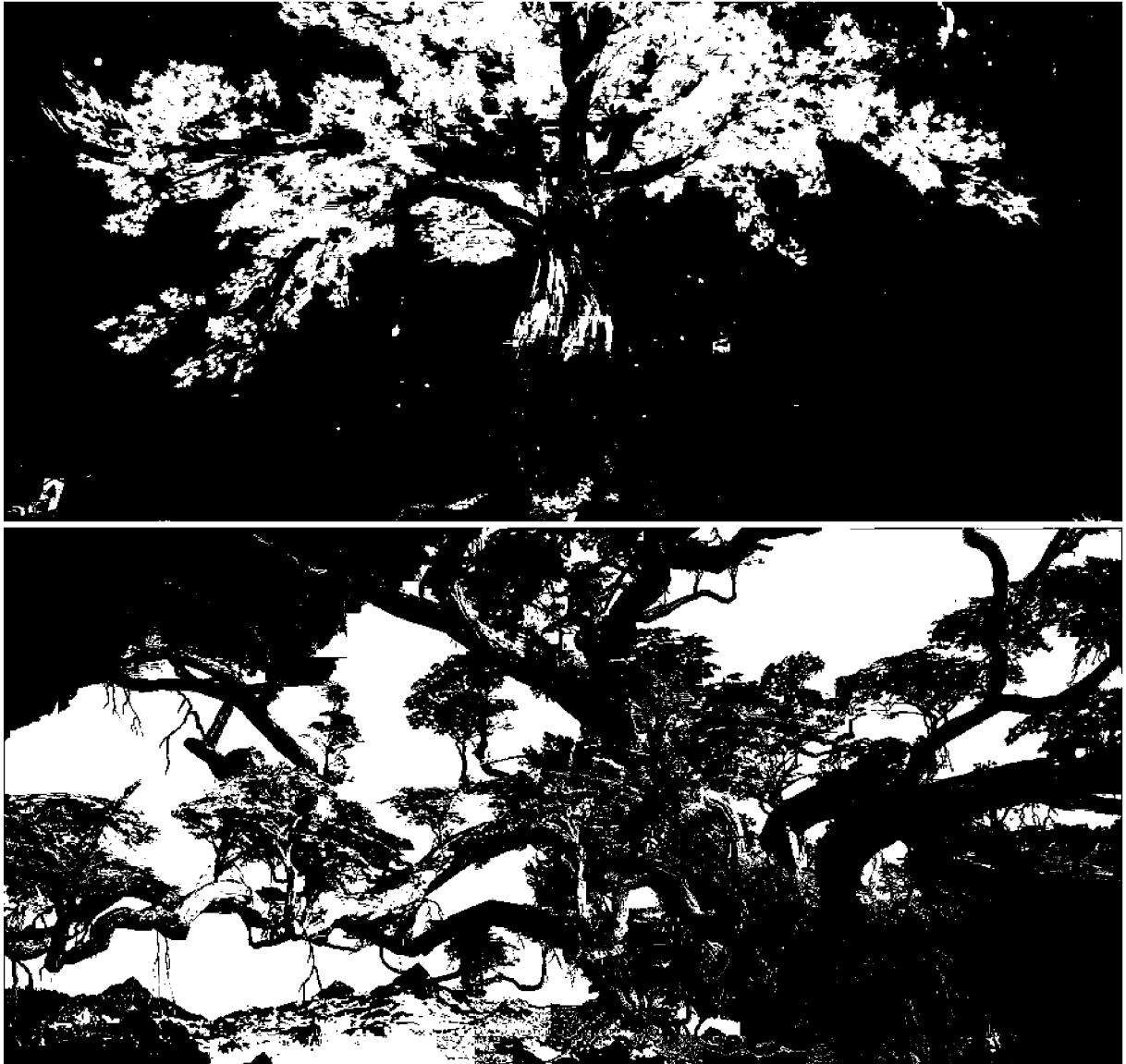
2.5.2. A Neurobiologia vegetal

As representações das plantas e seres vegetais extrapolam a realidade e adentram a um universo cheio de facetas. Um exemplo interessante, embasado em histórias nórdicas, é a Yggdrasil (árvore colossal nórdica), que é abordada como um ser imponente, de grande importância para a manutenção da vida e de mundos. Através de seus galhos, a imensa árvore é capaz de sustentar todas as realidades, ou os 9 mundos da mitologia nórdica, permitindo que estes coexistam entre si, em seus diferentes planos.

Os jogos como *God of War* e *Assassin's Creed: Valhalla*, representam a Yggdrasil como eixo principal para a vida, tornando-se essencial para o equilíbrio e a conexão entre povos e criaturas. Diferente das representações cinematográfica, nos jogos eletrônicos, os seres vegetais ganham bastante destaque (FIGURA 12).

¹⁰ <https://www.youtube.com/channel/UCtrQEG-hIXwW3Gu6giRNzdw/videos>

FIGURA 12 – REPRESENTAÇÕES DA YGGDRASIL NOS JOGOS ELETRÔNICOS



FONTE: *God of War* (2018); *Assassin's Creed: Valhalla* (2020).

Acima, Yggdrasil como ponte de conexão entre mundos. Abaixo, Yggdrasil como fator indispensável para o equilíbrio.

A grandiosidade das plantas não fica somente no imaginário popular. Sopory e Kaul (2019) dizem que há semelhanças basais entre plantas e seres humanos, como o fato de as plantas possuírem hormônios que controlam os processos vegetais desde a germinação até a morte. Trewavas (2017) mostra que, para as plantas, a existência de um cérebro pode ser desnecessária, o que de certa forma não impede que ocorram processos de comunicação complexos.

Um dos primeiros registros sobre sinais elétricos em vegetais foi observado em plantas carnívoras da espécie *Dionaea muscipula* Ellis. Em 1873, o fisiologista

inglês John Scott Burdon-Sanderson descreveu, na Real Sociedade de Londres, que potenciais de ação se propagavam por toda a folha bilobada. Quando um inseto tocava os pelos sensoriais da planta, na parte central de ambos os lóbulos, potenciais de ação causavam o fechamento dessas estruturas, capturando o inseto (Burdon-Sanderson, 1873; Pickard, 1973).

Decorrente de sua crença filosófica e científica, o físico Jagdish Chandra Bose, dedicou-se à pesquisa no campo da fisiologia vegetal produzindo informações bastante marcantes. Iniciando os seus estudos sobre ondas de rádio, passou a empregar os seus conhecimentos em experimentos com plantas, obtendo importantes descobertas fisiológicas e biofísicas ao avaliar a condução de estímulos nas plantas. Nessa busca, desenvolveu vários instrumentos engenhosos, com o uso de microeletrodos, para o registro de respostas elétricas em diferentes partes da planta a uma variedade de estímulos (Raghavendra e Govindjee, 2011; Tandon, 2019).

Anterior à década de 1920, o uso de microeletrodos em células individuais ainda não haviam sido utilizados em animais para o estudo dos neurônios. Após numerosos experimentos, Bose concluiu que plantas apresentam sistema nervoso semelhante aos animais. Inclusive, relatou que as plantas também possuem receptores e condutores nervosos que codificam eletricamente e propagam os estímulos, além de órgãos motores ou terminais. Apesar de receber muitas críticas e descrenças em seu trabalho, suas observações no início dos anos 1900 receberam o reconhecimento e aceitação geral por eminentes biólogos e fisiologistas de plantas em todo o mundo. Com esses avanços foi introduzido na ciência o termo “Neurobiologia Vegetal” (Tandon, 2019).

No contexto da neurobiologia vegetal, Baluška e Mancuso (2009c) corrigiram algumas nomenclaturas associadas à inteligência das plantas. Ao contrário de cérebro e sinapse, usualmente considerados nos estudos em animais, o emprego de “centro de comando da planta” e “sinapse de planta” tornaram-se mais adequados para descrever a complexidade destes organismos. Os autores relacionam, ainda, os três principais segmentos do estudo da neurobiologia vegetal, sendo eles:

- I.** base sensorial das plantas;
- II.** sinalização integrada (química e elétrica);
- III.** comportamento adaptativo na resolução de problemas.

A sinalização de longo alcance em organismos superiores é essencial para respostas flexíveis a ameaças e desafios ambientais. Os animais têm um sistema que permite a transmissão rápida de sinais elétricos entre diferentes partes do corpo. Esses circuitos são baseados em uma densa rede de células nervosas conectadas através de seus axônios. Os axônios operam como cabos que conduzem informações codificadas pelo número e frequência de potenciais de ação transitórios (Hedrich et al., 2016).

O sistema eletrofisiológico vegetal confere a capacidade dinâmica de perceber, transmitir, processar, controlar e armazenar informações, tanto de natureza biótica como abiótica. Jagdish Chandra Bose foi o primeiro cientista a usar o termo “nervo” para as plantas. Segundo ele, o impulso nervoso e sua transmissão nas plantas, são responsáveis pelo controle de muitas funções fisiológicas, como o crescimento, fluxo da seiva, respiração, fotossíntese, atividade motora e resposta à estímulos ambientais, proveniente da luz, do calor, de traumas e até mesmo substâncias químicas, como as toxinas (Tandon, 2019).

As plantas apresentam unidades especializadas que, semelhantes aos animais, operam com sinalização elétrica de longa distância (Hedrich et al., 2016). A auxina, um importante hormônio, se assemelha a um transmissor, sendo secretado pelas células da raiz e responsável por induzir respostas elétricas após o contato na superfície externa das células adjacentes da membrana plasmática. Estes processos intracelulares promovem sinalizações nas plantas e, com base nos sinais, há regulação do tamanho e da polaridade destas. A luz e a gravidade, principalmente, são consideradas fatores precursores para o *start* no transporte da auxina (Brenner et al., 2006; Baluska e Mancuso, 2009c).

Muitos estudos apontam a presença de características e mecanismos complexos os quais tornam as plantas aptas para a adaptação e sobrevivência em ambientes diversos. Em estudos de “cognição” em plantas, Calvo et al. (2016) e Calvo e Friston (2017), abordaram a capacidade de “predição” dos organismos vegetais no desenvolvimento de suas habilidades para sobreviver no ambiente. Baseado na “codificação preditiva”, estes seres agem mediante interações ambientais (com outras plantas ou animais) e com a detecção das características ao redor (solo e nutrientes).

Para Calvo et al. (2017a; 2017b; 2020) as plantas apresentam um sistema nervoso baseado no floema, que em meio à anastomose (ligações cruzadas) formam

uma rede complexa, transmitindo potenciais de ação ao longo dos seus condutos vasculares. Mas sobre a inteligência, algumas variáveis devem ser comparadas e analisadas concomitantemente, sendo elas a adaptabilidade, competição, a seleção, as respostas diversas à estímulos e interações.

Kumar et al. (2020) relatam que as plantas do gênero *Nepenthes* são capazes de atrair insetos através da secreção de néctar e, posteriormente, produzem componentes para reduzir a tensão superficial, permitindo que os insetos de interesse adentrem na sua armadilha. Curiosamente, estas plantas carnívoras atraem diferentes insetos de maneira seletiva e não aleatória. Há especulação de que estes organismos selecionam os insetos com maior representatividade nutricional para a planta.

Em relação aos animais, os insetos usam vários sentidos para a detecção de sinais florais, como cor, forma, padrão e compostos voláteis. As abelhas apresentam uma modalidade sensorial capaz de rastrear campos elétricos emitidos pelas plantas. A interação elétrica entre a abelha e a flor, surge da carga transportada pela abelha e do potencial da flor em relação ao campo elétrico atmosférico. Estes campos agem como pistas florais, que são afetadas pela visita de abelhas naturalmente carregadas. Estudos recentes revelam que as abelhas não somente são capazes de detectar esses campos elétricos, como também aprendem a diferenciá-los, o que indica que a recepção elétrica deve ser considerada como um importante mecanismo sensorial, assim como a visão e o olfato (Clarke et al., 2013; Lihoreau e Raine, 2013).

Nas abelhas, a deflexão de seus flagelos, proporcionada pelo órgão de Johnston como resposta mecânica à presença de campos elétricos, fornece evidência-chave para comprovar a eletrossensibilidade a campos ecologicamente relevantes (Sutton et al., 2016). Nas baratas, as suas longas antenas são capazes de detectar campos elétricos e evitá-los (Newland et al., 2008). Borboletas migratórias neotropicais, da família *Pieridae*, também apresentam sensibilidade à campos magnéticos (Srygley et al., 2006).

Em ambientes com recursos limitados e alta competição, são percebidas várias adaptações nas plantas, como o aumento do crescimento de raízes devido a falta de água, e o aumento do crescimento do rebento devido a falta de luz. Muitas outras características que contribuem para a sua manutenção das plantas no ambiente, foram confirmadas em estudos científicos e estão relacionadas com a percepção sensorial, o processamento e a integração de informações, a capacidade

de tomada de decisão, o controle do comportamento, a aprendizagem, a memória, o autorreconhecimento e a organização para a captura de nutrientes de forma eficiente (Trewavas, 2005b).

Por não possuírem a capacidade de desenvolver suas próprias raízes, plantas parasitas, como as do gênero *Cuscuta*, apresentam características peculiares para a sua sobrevivência. Estas dependem de plantas hospedeiras, movendo-se de maneira circular, procurando uma planta viável para instalar-se. Este processo exemplifica a existência de um sistema refinado e sofisticado, que, dependente ou não de aspectos comunicativos e sensoriais, auxiliam a planta a sobreviver mesmo apresentando limitações morfofisiológicas (Baluska e Mancuso, 2009c).

Dentre as características apontadas por Trewavas (2005a), verifica-se que alguns mecanismos das etapas metabólicas agem como portas lógicas de um computador. O autor destaca que os sistemas metabólicos químicos estabelecem um paralelo com uma estrutura de rede neural artificial simples, uma vez que agem como um conjunto de interruptores de liga/desliga com *feedbacks*. Ainda que a inteligência em plantas não seja excepcional, a integração sensorial, a memória, a tomada de decisão e o controle do comportamento demonstram-se superiores e mais complexas que em seres unicelulares (bactérias).

As plantas são organismos que oferecem importantes oportunidades para o estudo da transdução de sinais. A eletrofisiologia em plantas é a base para desenvolver e aprimorar biossensores para diversas atividades, como por exemplo: monitorar o ambiente; detectar efeitos dos poluentes, pesticidas e desfolhantes; monitorar as alterações climáticas; avaliar as interações planta-inseto; e gerenciar as condições que podem influenciar a agricultura (Volkov, 2006).

As plantas empregam sinais para a comunicação entre as suas estruturas. As sinalizações intracelular e intercelular podem ser provenientes de diferentes fontes, como hidráulicas, químicas e elétricas (Macedo et al., 2015). Esses sinais são produzidos por uma intrincada rede de processamento biológico de informações que conferem características cognitivas para analisar condições ambientais, como a capacidade de memorizar, aprender e prever aspectos fundamentais para a resolução de problemas, sendo semelhantes àquelas encontradas em organismos inteligentes e conscientes, como os seres humanos.

Referente aos sinais elétricos, o potencial de ação é um evento ativo e transitório, cuja diferença de potencial de membrana sobe rapidamente (hiperpolariza) e cai abruptamente (despolariza). Desencadeados pela abertura de canais iônicos, podem ser autopropagantes ao longo de fileiras lineares de células, especialmente nos sistemas vasculares de plantas (Taiz et al., 2017). Esse fenômeno não pode ser confundido com a condutividade elétrica, cujo processo ocorre de forma passiva e depende da natureza do condutor.

Para reforçar a ideia de que a “estrutura cognitiva” de uma planta é análoga à dos animais, é importante que sejam identificados elementos que apresentem funções correlatas. Estudos evidenciam que estímulos mecânicos são percebidos pelas plantas através de canais mecanossensoriais, encontrados em todos os tipos de células. A presença desses canais desempenha uma função importante na transdução de ações mecânicas fisiologicamente relevantes, cujas informações são transformadas em sinais elétricos, os quais atuam no processo de crescimento, desenvolvimento e na resposta ao estresse ambiental (Volkov e Markin, 2015).

Segundo um compilado de eventos sobre a inteligência das plantas realizado por Pollan (2013), estudos datados da década de 70 começaram a utilizar o conceito do “Efeito Backster” como forma de justificar os comportamentos nos organismos vegetais. Este efeito, originou-se dos experimentos de Cleve Backster, na qual sugeria que uma planta submetida a um agente estressor era capaz de identificar o responsável por meio da emissão de sinais elétricos. O mesmo acontecia com a identificação de pessoas “familiares” às elas, que eram reconhecidas em seu entorno. Backster também acreditava que plantas reagiam aos pensamentos humanos (bons e ruins). Porém, a experimentação em relação a estes fatos não foi replicada com êxito por outros cientistas, levando à baixa credibilidade dos resultados.

Com o passar dos anos, muitas dúvidas continuaram a ser debatidas, passando a reacender a grande discussão sobre a inteligência de plantas. Alguns dos frutos dessa discussão permeiam a “bioinspiração”, conceito utilizado por alguns cientistas para a associação da inteligência das plantas no desenvolvimento de computadores, robôs e redes. Tal condição permitiria a criação de um modelo computacional baseado em milhares de raízes, com potencial de processar muitas variáveis ambientais. Esta inovação abriria a mente das pessoas, indicando a grande importância das plantas para a elaboração de projetos de sistemas e tecnologias em

rede, descentralizadas, modulares, reiteradas, redundantes e capazes de usar a luz como retroalimentação (Pollan, 2013).

Existem duas formas de abordagem no estudo da inteligência de plantas: a representacional (mecanicista) e a não representacional (ecológica). A primeira condiz com as condições em que o processamento de informações pela planta parte da exploração ambiental proposital, baseada na adoção de tomada de decisão ou escolha. Na segunda abordagem, parte-se do pressuposto de que há um fundamento sensor-motor da inteligência, com as plantas realizando uma série de sequência de “percepção-ação” fechados em um ciclo, sem adoção de fatores associados à vontade da própria planta. Para os autores, faz-se necessária uma abordagem mais eficaz na associação de conceitos da neurobiologia com a psicologia-ecológica, devendo ser conhecidos os seguintes princípios (Calvo, 2016):

- I.** o sistema organismo-ambiente deve ser considerado como uma unidade de análise (e não somente o organismo separado);
- II.** atenção para a escala ecológica em que a interação acontece;
- III.** deve haver a compreensão quanto ao comportamento adaptativo, mediante condições emergenciais e auto-organização;
- IV.** o organismo em análise percebe os recursos e oportunidades para comportamentos de interação no ambiente em seu entorno.

Garzón e Keijzer (2009) definem a cognição como *“processos em que a entrada sensorial é transformada, reduzida, elaborada, armazenada, recuperada e usada”*. Com esta definição abrangente, muitos organismos e artefatos são considerados, gerando diversas discussões sobre estes enquadramentos. Muitos filósofos e cientistas consideraram como restrição adicional, o fato de a cognição estar acompanhada da percepção, planejamento, pensamento e ação, características inerentes aos humanos. Sabendo disso, estabeleceu-se um critério comparativo, inferindo sobre as demais criaturas (não-humanas) o modelo de cognição humana.

O uso conceitual da cognição acaba por diminuir a tamanha complexidade de outros seres. As plantas, dadas como seres não-cognitivos, apresentam sistemas e comportamentos complexos, incompatíveis às definições impostas pela cognição humana. Os mecanismos e os processos que originam os comportamentos das

plantas demonstram-se imensamente complicados e distantes para uma possível reprodução fidedigna em sistemas avançados, como, por exemplo, nos robôs. Porém, a mente e a cognição devem ser analisadas separadamente, uma vez que a mente está estritamente relacionada aos seres humanos (Garzón e Keijzer, 2009).

A hipótese do “cérebro raiz”, proposta por Darwin em 1880, pressupõe que as raízes das plantas atuam como centro de processamento de dados, com sinais gerados acima do solo. Tais elementos processados compõem parâmetros como: gravidade, nutrientes, água, campo elétrico, temperatura e compostos para defesa. A *Abutilon theophrasti*, por exemplo, é uma planta da família Malvaceae capaz de detectar a presença de competidores, exibindo como resposta estratégias de forrageamento para otimizar a alocação de recursos ambientais (Baluška et al., 2004; Cahill et al., 2010; Fermaniuk, 2020).

Baluška e Mancuso (2009a) indicam um fato curioso sobre a relação das plantas com os hormônios produzidos por elas. O aumento das concentrações endógenas de etileno (CEE) ocorre rapidamente em células e tecidos vegetais que foram submetidos à diversas situações de estresse. Além de estar associado a um hormônio de estresse vegetal, o etileno apresenta efeito anestésico, usualmente empregado na medicina ao longo de muitos anos.

Chamovitz (2018) relata alguns aspectos sobre a sensibilidade de plantas à exposição de anestésicos. Quando expostas a éter dietílico ou a lidocaína, há cessação dos movimentos autônomos das plantas e, em analogia aos animais, fazem-nas perderem a consciência. Por consequência à experimentação, muitos atuantes do meio científico relacionam o fato à existência de consciência, reforçando as discussões sobre o tema.

Yokawa e Baluška (2018) realizaram estudos comparativos do efeito do uso de anestésicos em peixes e em plantas. Os autores indicam que, tanto os peixes como as plantas, perdem a capacidade de responder aos estímulos externos, além da capacidade de mover-se e de perceber o ambiente (consciência ambiental). Contudo, ambos apresentam resiliência e recuperam-se rapidamente ao exercer a remoção dos anestésicos, apontando para a alta sensibilidade destes organismos.

Firn (2004) ressalta que para a análise das respostas adaptativas de plantas frente ao aprendizado, o organismo deve ser capaz de definir metas (objetivos de

aptidões das plantas), conseguir avaliar seu comportamento e ajustá-lo para tornar possível a execução das metas – em associação a esse fator, devem ser considerados os mecanismos de detecção de erros, permitindo a comparação do estado atual da planta ao estado de referência à ser atingido (objetivo).

A melhor forma de análise de um organismo vegetal é separando-o em setores ou níveis organizacionais, tendo em vista que uma significativa quantidade de comportamentos não se manifesta da unidade, mas de suas partes. Em um mapeamento espacial, muitas vezes a avaliação dos níveis das folhas, acabam sendo elementos importantes para associar a diversos aspectos ecológicos. Mas, segundo Firn (2004), os comportamentos adaptativos das plantas acabam demonstrando formas distintas. Baseado nessas premissas, o entendimento quanto ao desempenho de funções frente às interações com o ambiente torna-se mais facilitada.

Van Loon (2016) destaca a relação de interconexão entre vias de sinalização (hormonal) em plantas com o desenvolvimento e a proteção contra agentes externos. Isto permite às plantas investirem no crescimento, mediante à condições favoráveis, ou na sua defesa contra a presença de bactérias, fungos ou vírus. No que tange ao sistema de defesa da planta, esta é capaz de emitir diferentes assinaturas de sinais hormonais, variando conforme o tipo de agente que a ataca. Estes mecanismos atuam como adaptações ecológicas, respondendo mais rapidamente e de maneira mais eficaz aos estímulos ambientais.

Cvrčková et al. (2009) definem que para o estudo de comportamentos e identificação da inteligência em seres, estes devem ser considerados do ponto de vista funcional, com foco no valor seletivo ou de sobrevivência, e causal, com base em princípios de valor mecanicista, ontogenética ou evolucionária. Em suma, os animais, tidos como inteligentes devem ser capazes de exibir tais comportamentos, bem como devem apresentar algum aparato que o caracterize como cérebro, sinapses, potenciais de ação ou qualquer meio descrito como “rede de processamento de informações”.

Cvrčková et al. (2009) classificam a inteligência em níveis de especialização. Em nível basal, destaca-se a inteligência rudimentar, sendo o ser capaz de reagir adaptativa ao ambiente, possibilitando o estabelecimento de um aprendizado. É esse nível de inteligência que os autores acreditam ser mais plausível as plantas apresentarem. Logo após, evidencia-se a capacidade de aprender novos estímulos

e de se ajustar às condições alteradas. Por último, tem-se a “cognição superior”, demarcada pelo reconhecimento de objetos ou até a autoconsciência. Trewavas (2002) relaciona a inteligência das plantas com a sua plasticidade comportamental frente às adversidades ambientais, apontando alguns exemplos como justificativa:

- I.** brotos em crescimento, através da utilização da luz infravermelha próxima, são capazes de detectar vizinhos competitivos próximos, prever as consequências das atividades destes e evitar determinadas ações;
- II.** as direções como se desenvolvem os caules são ajustados com base em posições ideais para a melhor assimilação da luz solar (o mesmo ocorre com as folhas);
- III.** as palmeiras são capazes de se “afastar” de plantas vizinhas, por meio do crescimento diferencial de suas raízes;
- IV.** as raízes são capazes de rastrear a umidade tridimensional e gradientes de concentração abundantes de minerais no solo, apresentando potenciais de crescimento intensos, porém, demonstram respostas evasivas quando há aproximação de raízes concorrentes.

Marder (2012) indica que, quanto ao estudo das capacidades de plantas, os processos de nutrição e reprodução (mecanismos complexos) demarcam a elas “características superiores”. O autor relaciona algumas características que justificam esses aspectos, como: o forrageamento de raízes em porções de solo ricas em nutrientes; o reconhecimento de parentesco, fazendo com que a planta recuse o pólen proveniente de uma planta que compartilha das mesmas características de material genético; e, mudanças morfológicas em resposta às alterações ambientais, como o ajuste em decorrência da seca, com a queda de folhas.

Existem indícios de que as plantas são capazes de discriminar entre sinais prolongados e ruídos, de fundo transitório. Com base em estímulos ambientais, as plantas são capazes de compreender o ambiente ao seu entorno, por meio de sinais mais pronunciados (Marder, 2012).

Outro aspecto das interações desempenhadas pelas plantas para a sua fixação no ambiente ocorreu em experimentos em pastagens nos Estados Unidos (Califórnia). Após a remoção de espécies de plantas raras, houve invasão de uma espécie não-nativa, chamada *Lolium temulentum*. Contudo, o mesmo cenário não

ocorreu com a remoção de plantas comuns da região, denotando a possível inter-relação entre espécies, ainda não definida e compreendida (Flannery, 2002).

Flannery (2002) estabelece paralelos entre as capacidades comuns de alguns animais e plantas. A resistência à privação hídrica pode ser observada em nematoides do gênero *Aphelenchus* e em plantas como a *Craterostigma plantagineum*. Nas plantas, principalmente as anidrobióticas, as proteínas LEA são análogas às produzidas pelos nematoides, sendo encontradas em abundância quando há um alto déficit hídrico.

A responsividade ao meio ambiente, o ordenamento quanto às mudanças e o fato de serem avaliáveis quanto à sua prosperidade e sucesso, mostra que as plantas recorrem a algum meio ou princípio regente. Tal caminho ou metodologia envolvido nesses processos são aproximados ou justificáveis através da inteligência (Carpenter, 2010). O “prestar a atenção”, comumente relacionado à filosofia e à consciência humana, pode ser associado com as plantas. Para que isso ocorra, são necessários três elementos: foco, contexto e horizonte. Contudo, há necessidade de destaque do estímulo que canalize a atenção (foco), relacionado ao entorno (contexto), dentro de um limite máximo do ambiente (horizonte) (Marder, 2013).

Quando considerado o “foco”, alguns exemplos de plantas podem ser empregados. A *Leymus chinensis* e *Hierochloe glabra* demonstram na prática a relação da potencialidade de áreas com o estabelecimento focal. As ditas espécies apresentam dispersão aleatória do enraizamento, quando não há competição (ambiente homogêneo), ou seja, não houve foco em um determinado trecho do solo. Ainda que a informação de densidade de recursos seja necessária e útil, não há foco estabelecido quando constatada a homogeneidade no ambiente (Marder, 2013).

Cada foco, oriundo de estímulos ambientais, representa informações vitais sobre as condições próximas às plantas. Um exemplo prático pode ser entendido através da fotossensibilidade das folhas por meio do processamento paralelo das informações ambientais. Como exemplo, pode-se incluir a *Dionaea muscipula*. O sucesso da captura ou do fracasso desta se dá por um conjunto de fatores associados à atenção da planta. A duração do foco permite à planta, com seu potencial de ação limitado, concentrar-se no inseto (foco de atenção). Uma fração de segundos após os estímulos dos pelos sensoriais da planta faz com que ocorra o acúmulo do potencial

de ação, tornando-o forte o suficiente para o fechamento da armadilha, realizando a captura de seu alimento (Marder 2013).

No que se refere a comunicação entre plantas os focos de atenção podem acabar podem se sobrepor, mesmo que as plantas estejam em contextos distintos. Quando as plantas são submetidas a algum agente estressor, considerando que a ação é mediada por um foco como a seca, a atenção da planta é ativa, causando mudanças comportamentais que envolvem a ativação de genes responsivos à desidratação. No caso de baixas temperaturas, pode haver ativação de genes responsivos ao frio, como é o caso de plantas do gênero *Arabidopsis* (Akpınar et al, 2012; Marder, 2013).

Em uma abordagem diferente, Barlow (2008) traz informações interessantes sobre o custo energético para a manutenção do “sistema neural” nas plantas, estimando que cada *bit* de informação transferido em uma vesícula sináptica química custaria 104 moléculas de ATP. Há indicações de poucas vantagens em relação ao uso dos processos neurais rápidos, uma vez que em relação às taxas de resposta, visando o crescimento da planta, pode-se caracterizá-las como lentas.

Referente à capacidade de decisão em plantas, Barlow (2008) menciona que a planta *Monstera gigantea* é capaz de utilizar sensoramento óptico para a identificação de áreas escuras para o crescimento preferencial. Essas áreas são encontradas, principalmente, em árvores hospedeiras, uma vez que estas plantas se instalam ao longo dos troncos.

2.5.3. Da nutrição mineral aos processos relacionados à eletrofisiologia

A condução de excitação bioeletroquímica é um método rápido de transmissão de sinal de longa distância entre os tecidos e órgãos da planta. Uma vez provocado um estímulo ambiental, impulsos elétricos podem se propagar para as células excitáveis adjacentes. O sistema bioeletroquímico em plantas não só regula as respostas ao estresse, mas também os processos fotossintéticos. A geração de gradientes elétricos é um aspecto fundamental da transdução de sinal (Volkov, 2006).

Existem três tipos principais de condução de sinais elétricos em plantas e animais: os potenciais de ação, os potenciais eletrotônicos e os potenciais graduados.

O potencial de ação pode propagar-se por todo o comprimento da membrana celular e pelos feixes de tecido condutores, com amplitude, duração e velocidade constantes. Potenciais eletrotônicos diminuem exponencialmente com a distância (Volkov e Markin, 2015).

Os potenciais de ação envolvem um influxo de passagem de Ca^{2+} para o citoplasma, efluxos de K^+ e Cl^- , e a redução temporária da pressão de turgescência. Como as plantas superiores são compostas de tecidos complexos, a análise detalhada dos fenômenos elétricos acaba sendo difícil e, por isso, o mecanismo para gerar o potencial do receptor ainda não foi bem estabelecido. Um potencial graduado é um sinal elétrico, que corresponde ao tamanho do estímulo. Sinais elétricos podem propagar ao longo da membrana plasmática em curtas distâncias em plasmodesmos, e em longas distâncias pelo floema (Volkov e Markin, 2015).

As diferenças de potenciais nas membranas celulares podem servir como parâmetros para medição do transporte de íons entre o citoplasma, o vacúolo e o exterior, bem como as diferenças de concentração iônicas entre estas regiões. A medição e o controle da diferença de potencial em todo o plasma e o tonoplasto são ferramentas muito úteis para a compreensão da eletrofisiologia celular dessas plantas, especialmente quando combinadas ao monitoramento de correntes elétricas e do fluxo de íons (Beilby e Casanova, 2014).

O plasmalema é a membrana das células vegetais que oferece mais resistividade aos íons, mas é nela em que ocorre a maior parte do fluxo iônico. O tonoplasto e o vacúolo são estruturas importantes, pois permitem, respectivamente, a passagem e o armazenamento de íons, gerando gradientes de tensão. Existe uma grande diversidade de proteínas e complexos proteicos que permitem a maior parte dos fluxos iônicos pelas membranas (Toledo et al., 2019).

Os canais iônicos mecanossensoriais das plantas são ativados por tensão mecânica, cujas informações são transformadas em sinais elétricos e estão envolvidos no processo de crescimento, desenvolvimento e na resposta ao estresse ambiental em plantas superiores. As respostas eletrofisiológicas se iniciam em um potencial receptor, gerados por esses canais. Se a despolarização alcança o limite crítico, desencadeia potenciais de ação, que são responsáveis pelas fases da transmissão do sinal e indução da resposta (Volkov e Markin, 2015, Taiz et al., 2017).

A dimensão elétrica autogerada das células é consequência do movimento de elementos eletricamente carregadas e dos campos elétricos gerados por esses fluxos de carga. Nas células vegetais, assim como em muitas outras células eucarióticas, os fluxos iônicos são predominantemente constituídos por íons Ca^{2+} , Cl^- , H_2PO_4^- , NH_4^+ e NO_3^- , K^+ e SO_4^{2-} , em suas formas iônicas, sendo translocados de um lado para o outro das membranas (Volkov 2006; Toledo et al., 2019).

O Fe^{3+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , podem contribuir para as correntes iônicas nas células e tecidos vegetais de formas menos extensas. Outros elementos também podem estar relacionados com a produção de sinais elétricos, como os íons H^+ , Na^+ , Al^{3+} e Hg^{2+} . Entretanto, a maior parte da dinâmica da atividade elétrica das plantas é reflexo de poucas espécies iônicas (H^+ , K^+ , Na^+ , Cl^- e Ca^{2+}) que atravessam as membranas (Volkov 2006; Toledo et al., 2019).

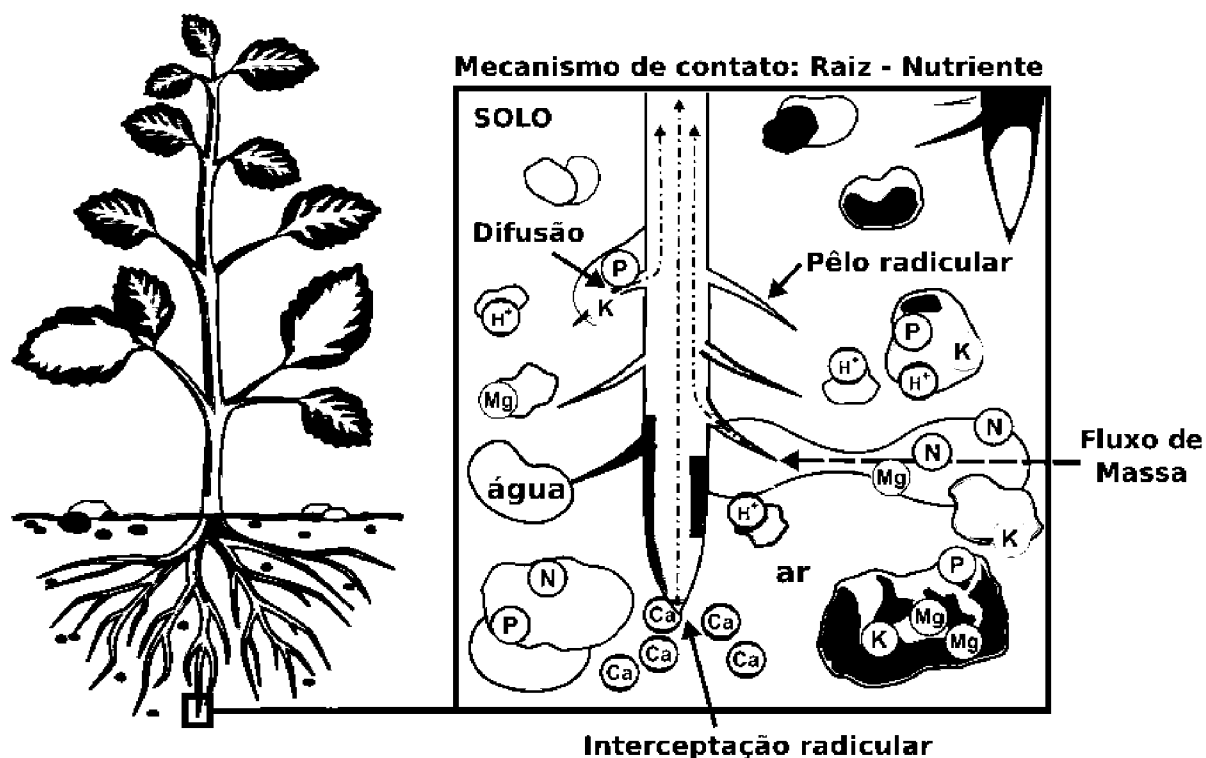
Um exemplo comum de atividade elétrica fundamental para a vida das plantas é a absorção de nutrientes, podendo envolver muitos canais iônicos e bombas. Outra bastante comum na vida das plantas é o controle dos estômatos, que também depende de diferentes canais e bombas para regular a abertura dos poros (Toledo et al., 2019). O floema tem características semelhantes às de um axônio. Contudo, a resistência elétrica causada pelo estreitamento da superfície da membrana e sua capacitância relativamente alta (não mielinizada), são obstáculos para a transmissão do sinal elétrico. Logo, para que haja propagação à longa distância são necessários a ação de canais iônicos com características especiais, cujos processos são dependentes de uma certa tensão elétrica (Hedrich et al., 2016).

Pelo menos 14 elementos minerais são considerados essenciais para que uma planta complete seus estados fenológicos adequadamente. Esses elementos são constituídos pelos macronutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), e pelos micronutrientes, boro (B), cobre (Cu), cloro (Cl), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn). As plantas podem, também, acumular elementos não essenciais e, até mesmo prejudiciais ao seu desenvolvimento (dependendo de suas concentrações), como o arsênio (As), cádmio (Cd), selênio (Se), silício (Si) e sódio (Na) (Marschner, 2012; Cole et al., 2016; Thomas et al., 2016; Vatansever et al., 2017).

Para ocorrer a absorção de nutrientes pelas plantas é necessário que o sistema radicular esteja em contato com o nutriente presente na solução do solo.

Logo, os nutrientes podem ser absorvidos por três tipos de processos: interceptação radicular, fluxo de massa e difusão, sendo transportados para toda a planta (FIGURA 13). Entretanto, os vegetais podem acumular elementos não essenciais, apresentando pouco ou nenhum efeito sobre seu crescimento e desenvolvimento, em concentrações que ocorrem na natureza, bem como outros com efeitos benéficos e/ou prejudiciais, dependendo de suas concentrações nos tecidos da planta, como arsênio (As), cádmio (Cd), selênio (Se), silício (Si) e sódio (Na) (Thomas et al., 2016).

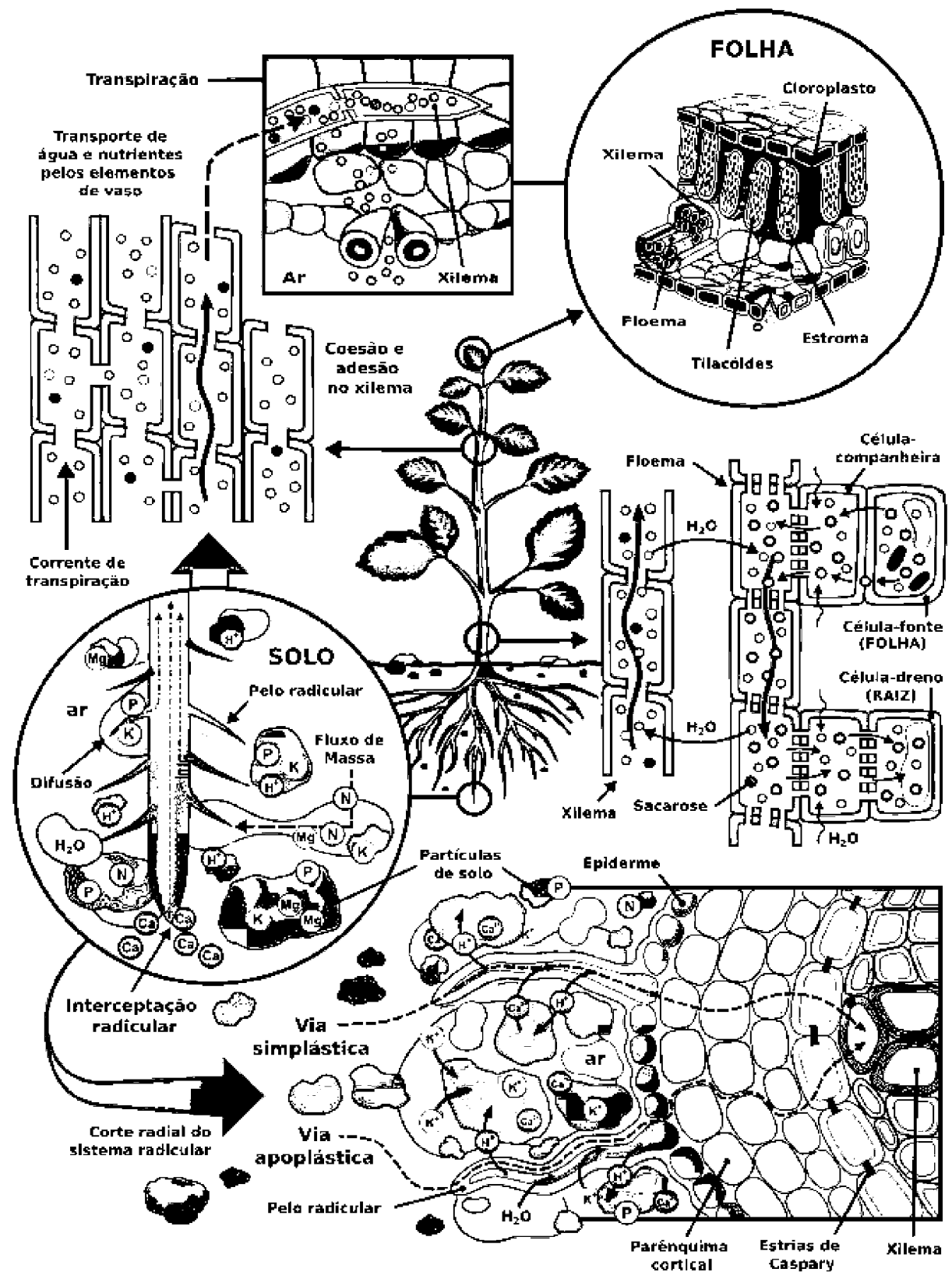
FIGURA 13 - CONTATO DO SISTEMA RADICULAR DAS PLANTAS COM OS NUTRIENTES DO SOLO, PELOS PROCESSOS DE INTERCEPTAÇÃO RADICULAR, FLUXO DE MASSA E DIFUSÃO



Fonte: O autor (2020).

Em decorrência do crescimento do sistema radicular, a interceptação radicular acontece quando há contato das pontas das raízes com os nutrientes na solução do solo. O fluxo de massa está associado ao gradiente de potencial total que regula o movimento de água e solutos no sistema solo-planta-atmosfera, enquanto a difusão ocorre pelo movimento de íons em direção à raiz, em razão do gradiente de concentração nas proximidades (FIGURA 14).

FIGURA 14 – ESTRUTURAS VEGETAIS DO XILEMA E FLOEMA, ROTAS DE ABSORÇÃO, TRANSPORTE, TRANSLOCAÇÃO E REDISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES PELA PLANTA



Fonte: O autor (2020).

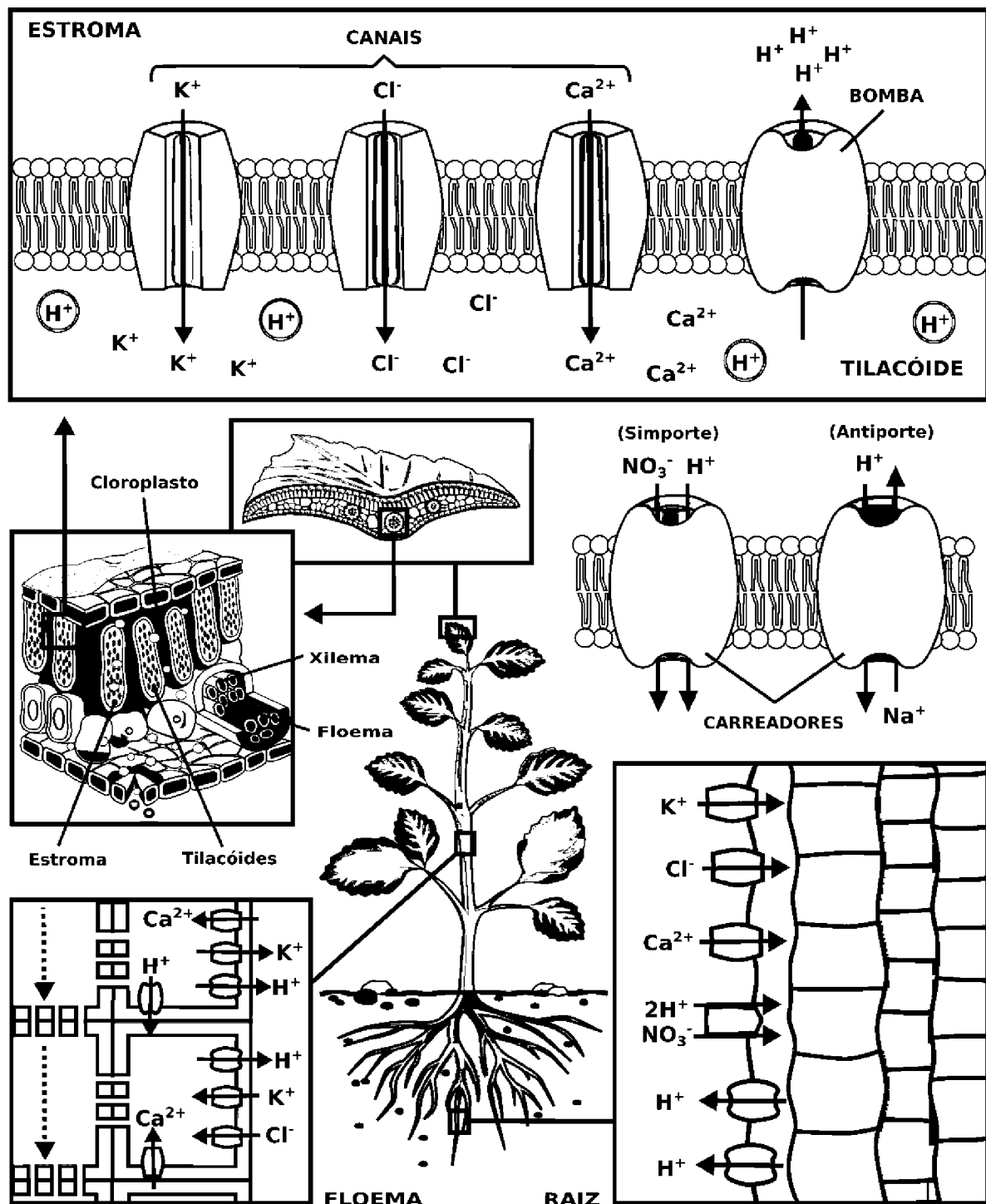
A partir do contato das raízes com a solução do solo, os elementos coletados atravessam o córtex, a endoderme e o periciclo antes de serem descarregados no xilema para o transporte de longa distância no interior da planta. Da epiderme da raiz à endoderme, a água e os nutrientes se movem por vias apoplástica e simplástica. Solutos, como os nutrientes minerais, se movem entre células pelos espaços extracelulares (apoplasto) - que não representam gastos de energia (ATP), ou de citoplasma para citoplasma (via simplasto) - que apresenta gasto de ATP (Marschner, 2012; Ahmad e Maathuis, 2014; Taiz, 2017).

O citoplasma de células adjacentes é conectado por plasmodesmos, que facilitam o transporte simplástico. Facilitado pelo fluxo radial de água e fluxo citoplasmático, o transporte pode ocorrer principalmente pelo processo de difusão. Logo, os nutrientes são metabolizados e/ou sequestrados nos vacúolos das células da raiz. Durante a absorção de nutrientes, há constante atividade elétrica nos tecidos vegetais, a qual necessita de vários mecanismos específicos para regular o fluxo de íons (Marschner, 2012; Taiz, 2017).

As proteínas que permitem a condução de íons pelas membranas, são chamadas de canais, bombas e carreadores (FIGURA 15). Principalmente durante o rápido crescimento vegetativo, a demanda de energia para a absorção de íons pelas raízes pode ser considerável. A assimilação de nutrientes necessita, normalmente, de grandes quantidades de energia para a realização da conversão de compostos inorgânicos estáveis em compostos orgânicos reduzidos (Marschner, 2012; Ahmad e Maathuis 2014; Aung et al., 2018; Taiz, 2017).

O fluxo de água pelas membranas é um processo passivo, ou seja, a água se move em resposta às forças físicas, em direção a regiões de baixo potencial hídrico ou de baixa energia livre. Não há bombas metabólicas conhecidas que possam ser usadas para direcionar a água através de uma membrana semipermeável contra seu gradiente de energia livre. O movimento de solutos de baixo peso molecular da solução do solo, impulsionado pela difusão ou fluxo de massa, também não é metabólico. Entretanto, as paredes celulares podem interagir com solutos e, assim, facilitar ou restringir a passagem pela raiz e a absorção pela membrana plasmática (Marschner, 2012; Evert e Eichhorn, 2014; Taiz, 2017; Canarini et al., 2019).

FIGURA 15 - TIPOS DE TRANSPORTE E ATIVIDADE DE CARREADORES, CANAIS E BOMBAS. O FLOEMA, AS CÉLULAS DAS RAÍZES E OS CLOROPLASTOS APRESENTAM BOMBAS E CANAIS IÔNICOS RESPONSÁVEIS PELA PRODUÇÃO DE SINAIS ELÉTRICOS



Fonte: O autor (2020).

O sistema formado pela membrana plasmática com os canais e as bombas iônicas constitui um sistema complexo que permite transportar, integrar e processar sinais elétricos e moleculares, que podem armazenar informações e engendrar a

memória genética e cognitiva, que operam em conjunto (Souza et al., 2017). Sinais elétricos podem ser usados para gerir, desde a absorção de solutos pelas raízes, até a translocação e a redistribuição de compostos (Volkov e Brown, 2006).

A geração do potencial de variação, no qual a duração é consideravelmente maior que a do potencial de ação, é baseada na inativação transitória da bomba eletrogênica. Canais iônicos também participam do processo, causando similaridade qualitativa dos mecanismos de potencial de ação e geração de potencial de variação. A propagação de sinais elétricos ocorre principalmente na condução de feixes, sendo a transferência de um potencial de ação associada ao parênquima vascular, enquanto o potencial de variação está conectado aos vasos do xilema. A distribuição do potencial de ação é similar à transmissão do impulso nervoso, enquanto a geração do potencial de variação é induzida pela transferência de uma substância química, cuja propagação é acelerada por uma onda hidráulica (Vodeneev et al., 2016).

O transporte de longa distância de água e solutos (nutrientes e compostos orgânicos de baixo peso molecular) ocorre no sistema vascular do xilema e do floema (FIGURAS 14 e 15). A principal força motriz desse processo é a transpiração que reduz a pressão no xilema, a qual cria uma tensão que puxa a seiva do xilema para cima, que é reabastecida pela água e pelos solutos fornecidos pelas raízes. O outro contribuinte é a difusão do soluto no simplasto, que é facilitada pelos plasmodesmos (Marschner, 2012; Ahmad e Maathuis, 2014).

Enquanto o xilema é responsável pelo transporte unidirecional de água e solutos da raiz para a parte aérea (promovido principalmente pela transpiração), o floema é essencial para o transporte de assimilados da fonte para o dreno. Açúcares e aminoácidos são produzidos nas células fotossintetizantes, sendo distribuídos para o desenvolvimento de folhas novas e flores, amadurecimento de frutos e sementes, e para o sistema radicular. A redistribuição de nutrientes (ou hormônios) pode desencadear a senescência, pois sementes e frutos em desenvolvimento são drenos fortes, gerando gastos energéticos importantes (Ahmad e Maathuis, 2014; Taiz, 2017).

O transporte ativo primário é feito por bombas e emprega energia diretamente para bombear solutos contra seu gradiente de potencial eletroquímico. A maioria das bombas transporta íons inorgânicos, tais como H^+ ou Ca^{2+} . Para a membrana plasmática, o H^+ é o principal íon bombeado eletrogenicamente. No transporte ativo secundário é utilizada energia armazenada, sendo acionado indiretamente por

bombas. Nas membranas plasmáticas vegetais, as principais bombas são as de H^+ e Ca^{2+} , e a direção do bombeamento parte do citosol para o espaço extracelular. À custa da hidrólise de ATP são criados um potencial de membrana e um gradiente de pH que representa a energia livre armazenada na forma do gradiente de H^+ (Taiz, 2017).

Muitas ações realizadas pelas plantas envolvem consideráveis gastos energéticos, dentre os quais a produção de exsudados e a assimilação de N. A exsudação radicular é um processo importante que determina as interações da planta com o ambiente do solo. Muitos estudos associaram esse processo à mobilização de nutrientes no solo. Apesar dos metabólitos se moverem livremente pela via simplástica, estes precisam passar por pelo menos uma membrana plasmática para alcançar o apoplasto. Muitos compostos também são exsudados por transporte ativo contra o gradiente de concentração, embora a exsudação radicular gerada pela difusão seja “passiva”, seguindo o gradiente de alta concentração do citoplasma para baixa concentração na solução do solo (Canarini et al., 2019).

O N representa em média menos de 2 % da massa seca total de uma planta, no entanto, o processo de redução do nitrato à nitrito e em seguida em amônio, pode representar, aproximadamente, 25 % da energia consumida pelas raízes e partes aéreas. Muitas dessas reações de assimilação ocorrem no estroma do cloroplasto, onde elas têm acesso imediato a poderosos agentes redutores, como o NADPH, a tiorredoxina e a ferredoxina gerados durante o transporte de elétrons da fotossíntese (Taiz, 2017).

2.5.4. Dados bibliométricos sobre formas de inteligência, fisiologia e meio ambiente

Como demonstrado em obras literárias como a “Alegoria da Caverna” de Platão e de filmes como “Matrix”, a remoção de amarras pode permitir enxergar muito além da realidade em que se vive. Dessa forma, buscou-se avaliar como o ambiente da internet repercute termos importantes para o campo do estudo da neurobiologia vegetal e assuntos correlatos. Com o propósito de demonstrar a proporção dos termos de interesse em meio a conceitos mais trabalhados na ciência, também foram adicionados na busca, termos relacionados à ciência do solo, à ciência animal e à mecatrônica (TABELAS 1 e 2).

TABELA 1 – RESULTADOS PARA OS TERMOS EM PORTUGUÊS NOS SISTEMAS DE BUSCA

Palavras ⁽¹⁾	Google	Google Acadêmico	Science Direct	SciELO	BDTD
Neurociência	2.060.000	57.400	6.977	358	2.262
Neurobiologia	1.610.000	22.900	2.522	175	474
Neurofisiologia	2.290.000	32.600	2.355	118	416
Neurobiologia animal	159	3	2	0	0
Neurobiologia humana	909	44	1	0	0
Neurobiologia vegetal	4.830	36	0	1	3
Neurofisiologia animal	530	37	1	0	0
Neurofisiologia humana	8.010	206	0	0	0
Neurofisiologia vegetal	308	24	0	0	1
Eletrofisiologia	270.000	14.800	111	154	747
Eletrofisiologia animal	47	3	0	0	0
Eletrofisiologia humana	284	9	0	0	0
Eletrofisiologia vegetal	485	10	0	0	3
Inteligência artificial	11.400.000	67.500	1.130	443	2.282
Inteligência animal	17.600	1.430	0	1	1
Inteligência humana	266.000	32.900	45	26	50
Inteligência vegetal	12.000	60	0	0	0
Sinapse vegetal	3	1	0	0	0
Consciência vegetal	1.500	18	0	0	0
Senciência vegetal	132	1	0	0	0
Senciência em plantas	118	1	0	0	0
Senciência	40.300	2.080	0	8	20
Nutrição de plantas	305.000	27.500	33	219	1.697
Nutrição humana	188.000	11.800	18	37	528
Nutrição animal	1.530.000	25.600	147	134	1.590
Solo	4.550.000.000	5.040.000	127.906	45.389	58.045
Ciência do Solo	1.010.000	134.000	398	3.218	2.158
Robôs	19.900.000	60.400	5.519	111	1.576
Autômatos	424.000	17.100	30	32	8.584
Cognição	2.480.000	245.000	253	1.537	2.865
Cognição em plantas	1.360	3	0	0	2
Cognição vegetal	232	0	0	0	0
Cognição animal	25.700	291	0	0	6
Vegetais inteligentes	272	3	0	0	0
Plantas são inteligentes	3.030	4	0	0	0
Flora inteligente	845	0	0	0	0
Fauna inteligente	703	2	0	0	0

Fonte: O autor (2020).

⁽¹⁾ Palavras compostas foram fixadas usando operadores booleanos.

TABELA 2 – RESULTADOS PARA OS TERMOS EM INGLÊS NOS SISTEMAS DE BUSCA

Palavras ⁽¹⁾	Google	Google Acadêmico	Science Direct	SciELO	BDTD
<i>Neuroscience</i>	74.800.000	3.470.000	461.115	807	653
<i>Neurobiology</i>	19.500.000	967.000	161.208	205	173
<i>Neurophysiology</i>	13.000.000	698.000	103.058	432	75
<i>Animal neurobiology</i>	11.900	248	44	0	0
<i>Human neurobiology</i>	66.300	11.000	724	0	0
<i>Plant neurobiology</i>	38.200	1.080	46	2	4
<i>Animal neurophysiology</i>	14.500	631	162	0	0
<i>Human neurophysiology</i>	32.000	2.700	462	0	1
<i>Plant neurophysiology</i>	15.900	11	0	0	1
<i>Electrophysiology</i>	19.200.000	876.000	90.446	316	178
<i>Animal electrophysiology</i>	13.500	764	197	0	0
<i>Human electrophysiology</i>	34.800	3.960	297	0	0
<i>Plant electrophysiology</i>	27.200	928	59	0	2
<i>Artificial intelligence</i>	150.000.000	2.570.000	134.088	522	1.184
<i>Animal intelligence</i>	682.000	16.900	623	1	1
<i>Human intelligence</i>	4.210.000	438.000	7.853	29	41
<i>Plant intelligence</i>	133.000	1.820	51	0	1
<i>Vegetable synapse</i>	2.780	0	0	0	0
<i>Plant awareness</i>	218.000	388	52	0	1
<i>Vegetable sentience</i>	552	8	0	0	0
<i>Sentience in plants</i>	3.690	44	4	0	0
<i>Sentience</i>	18.200.000	47.700	1.101	13	17
<i>Plant nutrition</i>	3.080.000	1.650.000	13.039	1.072	348
<i>Human nutrition</i>	6.740.000	1.760.000	41.829	185	200
<i>Animal nutrition</i>	5.520.000	1.590.000	22.947	227	494
<i>Soil</i>	456.000.000	5.080.000	895.222	24.278	21.292
<i>Soil Science</i>	7.950.000	1.470.000	45.784	753	302
<i>Robot</i>	1.010.000.000	3.450.000	236.358	458	1.740
<i>Automata</i>	40.800.000	839.000	48.183	114	8.584
<i>Cognition</i>	263.000.000	3.230.000	283.672	2.476	2.223
<i>Cognition in plants</i>	215.000	95	12	0	0
<i>Plant cognition</i>	66.300	229	11	0	0
<i>Animal cognition</i>	448.000	39.000	1.399	6	12
<i>Smart vegetables</i>	16.700	11	4	0	0
<i>Plants are smart</i>	136.000	31	211	0	0
<i>Smart flora</i>	82.900	9	0	0	0
<i>Intelligent fauna</i>	1.880	5	1	0	0

Fonte: O autor (2020).

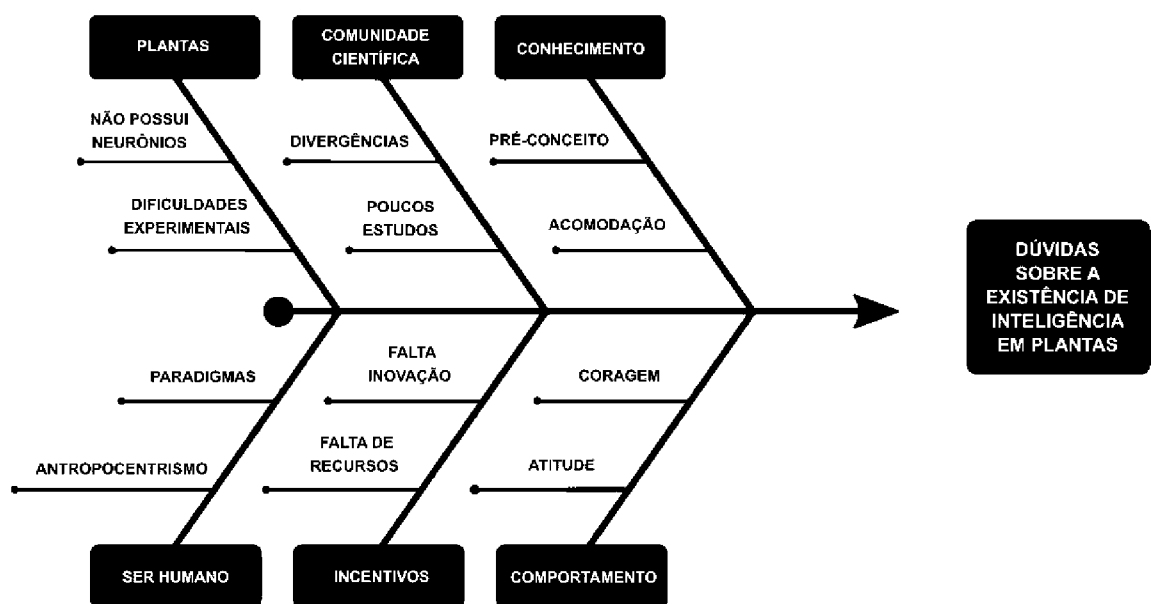
⁽¹⁾ Palavras compostas foram fixadas usando operadores booleanos.

Dentre os termos populares em português, “Solo” ultrapassou a marca de 4 bilhões de resultados encontrados, seguido por “robôs” e “Inteligência artificial” (superiores a 10 milhões). Pelo fato da palavra “solo” representar coisas distintas, como substrato, superfície, apresentação individual, entre outros, a quantidade pode estar superestimada. Como não é possível filtrar com precisão os resultados não desejados para o termo “solo” nos buscadores, criou-se nuvens de palavras com e sem a palavra (ANEXO 2). Em inglês, “Robot” superou 1 bilhão de resultados.

Os termos relacionados ao estudo da neurobiologia vegetal (“cognição em plantas”, “eletrofisiologia vegetal”, “flora inteligente”, “inteligência vegetal”, “neurobiologia vegetal”, “plantas são inteligentes” e “vegetais inteligentes”), somaram cerca de 25 mil resultados. Em inglês, foram aproximadamente 729 mil resultados, valor muito superior ao encontrado nas buscas em português. As nuvens de palavras para todos os resultados obtidos podem ser observadas no ANEXO 2.

Se os conceitos da neurobiologia vegetal são bastante discutidos, por que existe tanta resistência no meio científico? É uma pergunta que não é possível ser respondida no momento, mas alguns detalhes podem ser pontuados como demonstrado no diagrama de causa e efeito na Figura 16.

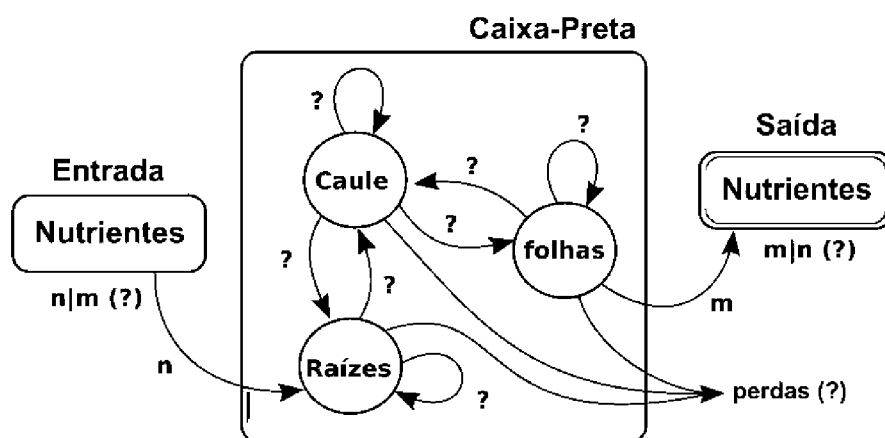
FIGURA 16 – DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO (ESPINHA DE PEIXE) SOBRE PROBLEMAS RELACIONADO À DÚVIDAS SOBRE A INTELIGÊNCIA NAS PLANTAS



Fonte: O autor (2020).

Visando contribuir para os estudos da neurobiologia, como parte dessa jornada, o Projeto intitulado “Noûsciber” (Noûscyber) - junção de duas palavras, *noûs* ⁽¹¹⁾ e cibernética - investiga indícios que corroboram ou não com os princípios defendidos nesse ramo da Ciência. Dessa, forma nos capítulos 2 e 3 desta tese, são apresentados estudos sobre a planta com base em três esferas ou segmentos distintos: entradas de nutrientes, caixa-preta e saídas de nutrientes (FIGURA 17).

FIGURA 17 – GRAFO SIMPLIFICADO DA ABORDAGEM DO PROJETO NOÛSCIBER



Fonte: O autor (2020).

Como entradas, são considerados as interações da planta com o ambiente, em que os nutrientes são extraídos na solução do solo. Na caixa preta ou *black box*, admite-se que estão ocorrendo processos complexos cujo conhecimento é desconhecido e indeterminado por modelos matemáticos em sua totalidade. Nas saídas são considerados os balanços nutricionais provenientes da caixa-preta, que apresenta relação indireta com as entradas, ou seja, mesmo desconhecendo o caminho ou a rota exata do nutriente por toda a planta, a expressão de equilíbrio desse nutriente é a representação da eficiência do sistema.

⁽¹¹⁾ Para Corey (2002), a compreensão de *noûs* por Aristóteles ocorre de duas maneiras distintas. A primeira trata o *noûs* como atividade divina da alma de explorar seu próprio espaço. A segunda maneira trata o *noûs* como a indução (*epagôgê*) dos primeiros princípios da ciência através da **percepção, memória e experiência**. As duas ações básicas de *noûs* estão relacionadas, mas apresentam valores diferentes. Segundo Cúri (2000) a edição francesa *Les Belles Lettres* traduz a expressão *ên opbtbalmoîsi noésas* por "o ter visto dos teus olhos". A edição inglesa da *Loeb* traduz "notando cuidadosamente o sinal com teus próprios olhos". Numa tradução rente ao texto grego, poderia ser traduzida essa expressão por "visto ou discernido pelo *noûs*". *Noûs* é também apresentado como potência humana relacionada com inteligência, sagacidade, discernimento, juízo e reflexão.

2.6. CONCLUSÕES

A neurobiologia vegetal é um assunto que divide opiniões no meio científico, mas vem ganhando um importante destaque acadêmico, principalmente no que se refere à planta como um ser inteligente. Para que sejam respondidas as perguntas iniciais deste capítulo, é importante a adoção de medidas, como investimentos em linhas de pesquisas diversificadas contemplando abordagens multidisciplinares nas variadas esferas do saber, que visem diminuir as visões deturpadas e a ignorância sobre o assunto, tanto do público leigo como de especialistas.

O rompimento de paradigmas somente é possível quando os argumentos apresentados são sólidos, coerentes e não gerem conflitos de múltipla natureza. O segmento da neurobiologia vegetal é bastante consistente na literatura científica, rico em detalhes, possuindo vários exemplos de eventos naturais produzidos pelas plantas reproduzidos experimentalmente em laboratório. Mas, ainda há muitas lacunas do conhecimento, questionamentos sem respostas e um longo caminho para se trilhar.

REFERÊNCIAS

Ahmad I, Maathuis FJM. Cellular and tissue distribution of potassium: physiological relevance, mechanisms and regulation. *Journal of Plant Physiology*, v. 171, p. 708–714. 2014.

Akpınar BA, Avsar B, Lucas SJ, Budak H. Plant abiotic stress signaling. *Plant Signaling & Behavior*, v. 7, n. 11, p.1450-5. 2012.

A.I. - Inteligência Artificial – “*A.I. Artificial Intelligence*”. Direção: Spielberg S. Produção: Kennedy K, Spielberg S, Curtis B, Amblin Entertainment, Stanley Kubrick Productions. Estados Unidos: Warner Bros. 2001.

Anand S, Das A, Frederick S. Human Relationship in the Technological Era with Special Reference to Isaac Asimov’s Select Fiction: A Posthumanistic Perspective. *Online International Interdisciplinary Research Journal*, Volume-09, 2019.

Anderson SL. Asimov’s “Three Laws of Robotics” and Machine Metaethics. In: *Science fiction and philosophy: from time travel to superintelligence*. John Wiley & Sons, 2016.

Assassin’s Creed: Valhalla. Direção: Ismail A, Baptizat E. Produção: Laferrière. Ubisoft. Sony PS5. 2020.

Aung K, Jiang Y, He SY. The role of water in plant–microbe interactions. *The Plant Journal*, v. 93, p. 771–780. 2018.

Bakhtin, M. *Estética da criação verbal*. 5 ed. São Paulo : WMF Martins Fontes, 2010. 512 p.

Baluška F, Mancuso S. Deep evolutionary origins of neurobiology: Turning the essence of 'neural' upside-down. *Communicative & integrative biology*, v. 2, n. 1, p. 60–65, 2009a.

Baluskaf, Mancuso S. Plants and animals: convergent evolution in action? In: *Plant-environment interactions*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 285–301. 2009c.

Baluška F, Mancuso S, Volkmann D, Barlow P. Root apices as plant command centres: the unique 'brain-like' status of the root apex transition zone. *Biologia*, v. 59, Suppl 13, p. 7–19, 2004.

Barlow PW. Reflections on 'plant neurobiology'. *Biosystems*, v. 92, n. 2, p. 132–147, 2008.

Beilby MJ, Casanova MT. The Characean Plant. In: BEILBY, Mary J.; CASANOVA, Michelle T. (Orgs.). *The Physiology of Characean Cells*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, p. 1–42.

Berardinelli A. A forma do ensaio e suas dimensões. *Remate de Males*, v. 31, n. 1–2, p. 25–33, 2011.

Braga TBM, Farinha MG. Heidegger: em busca de sentido para a existência humana. *Revista da Abordagem Gestáltica: Phenomenological Studies*, v. 23, n. 1, p. 65–73, 2017.

Brenner ED, Stahlberg R, Mancuso S, Vivanco J, Baluška F, Volkenburgh EV. Plant neurobiology: an integrated view of plant signaling. *Trends in plant science*, v. 11, n. 8, p. 413–419, 2006.

Burdon-Sanderson JS. Note on the electrical phenomena which accompany irritation of the leaf of *Dionæa muscipula*. *Proceedings of the Royal Society of London*, v. 21, n. 139–147, p. 495–496, 1873.

Cahill J F, McNickle GG, Haag JJ, Lamb EG, Nyanumba SM, Clair CCS. Plants integrate information about nutrients and neighbors. *Science*, v. 328, n. 5986, p. 1657–1657, 2010.

Calvo P, Baluška F, Sims A. "Feature detection" vs. "predictive coding" models of plant behavior. *Frontiers in psychology*, v. 7, p. 1505, 2016.

Calvo P, Friston K. Predicting green: really radical (plant) predictive processing. *Journal of the Royal Society Interface*, v. 14, n. 131, 2017.

Calvo P, Gagliano M, Souza GM, Trewavas A. Plants are intelligent, here's how. *Annals of botany*, v. 125, n. 1, p. 11-28, 2020.

Calvo P. The philosophy of plant neurobiology: a manifesto. *Synthese*, v. 193, n. 5, p. 1323-1343, 2016.

Calvo P, Sahi V, Trewavas A. Are plants sentient? *Plant, Cell & Environment*, v. 40, n. 11, p. 2858-2869, 2017a.

Calvo P, Sahi V, Trewavas A. Could Plants Be Sentient? *BioRxiv*, p. 121731, 2017b.

Carnarini A, Kaiser C, Merchant A, Richter A, Wanek W. Root exudation of primary metabolites: mechanisms and their roles in plant responses to environmental stimuli. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, n. 157, p. 1-19. 2019.

Carpenter AD. Embodied intelligent (?) souls: plants in Plato's *Timaeus*. *Phronesis*, v. 55, n. 4, p. 281-303, 2010

Chamovitz DA. Plants are intelligent; now what? *Nature plants*, v. 4, n. 9, p. 622-623, 2018.

Clarke D, Whitney H, Sutton G; *et al.* Detection and Learning of Floral Electric Fields by Bumblebees. *Science*, v. 340, n. 6128, p. 66–69, 2013.

Clarke R. Asimov's laws of robotics: implications for information technology-Part I. *Computer*, v. 26, n. 12, p. 53-61, 1993.

Clarke R. Asimov's laws of robotics: Implications for information technology-Part II. *Computer*, v. 27, n. 1, p. 57-66, 1994.

Cole JC, Smith MW, Penn CJ, Cheary BS, Conaghan KJ. Nitrogen, phosphorus, calcium, and magnesium applied individually or as a slow release or controlled release fertilizer increase growth and yield and affect macronutrient and micronutrient concentration and content of field-grown tomato plants. *Scientia Horticulturae*, v.211, p.420-430. 2016.

Corey DD. Voegelin and Aristotle on Nous: What is Noetic Political Science? *The Review of Politics*, v. 64, n. 01, p. 57-79, 2002.

Costa MFV, Arauz VAR. LIMITES E POSSIBILIDADES DAS PERSONAGENS AUTÔMATAS EM “EU, ROBÔ”, DE ISAAC ASIMOV. 2018. Disponível em: <http://www.filologia.org.br/xxii_cnlf/completo/limites_e_possibilidades_MONIZE.pdf>. Acesso em: 21 de dezembro de 2020.

Cupani A. O. Filosofia da tecnologia: um convite. 3. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2016. 233 p.

Cúri SMF. Estudo sobre o noûs em Homero, Hesíodo e Lírica. PUC-SP. 2000, p. 45. (Dissertação de Mestrado).

Cvrčková F, Lipavská H, Žárský V. Plant intelligence: why, why not or where? *Plant Signaling & Behavior*, v. 4, n. 5, p. 394-399, 2009.

Davenport TH, Ronanki R. Artificial intelligence for the real world. *Harvard business review*, v. 96, n. 1, p. 108-116, 2018.

Detroit: Become Human. Direção: Cage D. Produção: Buhl S. Quantic Dream. 2018. Sony PS4. 1 Blu-Ray.

Evert RF, Eichhorn SE. *Raven: biologia vegetal*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Eu, robô – “I, robot”. Direção: Proyas A. Produção: Davis J, Smith W, Lassiter J, Mediastream IV, Davis Entertainment, Laurence Mark Productions, Overbrook Entertainment, Canlaws productions. Estados Unidos: Twentieth Century Studios. 2004.

Fermaniuk CL. The Smart Plant: A Look into the Controversy Behind Plant Intelligence. *MacEwan University Student eJournal*, v. 4, n. 1, 2020.

Fim dos Tempos – “The Happening”. Direção: Shyamalan MN. Produção: Shyamalan MN, Mendel B, Mercer S, Twentieth Century Studios, Spyglass Entertainment. Estados Unidos: Twentieth Century Studios. 2008.

Flannery MC. Do plants have to be intelligent? *The American Biology Teacher*, v. 64, n. 8, p. 628-633, 2002.

Firn R. Plant intelligence: an alternative point of view. *Annals of Botany*, v. 93, n. 4, p. 345-351, 2004.

Freeth T, Bitsakis Y, Moussas X, Seiradakis JH, Tselikas A, Mangou H, Zafeiropoulou M, Hadland R, Bate D, Ramsey A, Allen M, Crawley A, Hockley P, Malzbender T, Gelb D, Ambrisco W, Edmunds MG. Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism. *Nature*, v. 444, p. 587-591, 2006.

Freeth T, Jones A, Steele JM, Bitsakis Y. Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism. *Nature*, v. 454, p. 614-617, 2008.

Garzón PC, Keijzer F. Cognition in plants. In: *Plant-environment interactions*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 247-266, 2009.

God of War. Direção: Barlog C. Produção: Wang ED, Llewellyn S, Cox C, Fong E. Santa Monica Studio. 2018. Sony PS4. 1 Blu-Ray.

Harris J. Reading the minds of those who never lived. *Enhanced beings: The social and ethical challenges posed by super intelligent AI and reasonably intelligent humans*. Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics, v. 28, n. 4, p. 585-591, 2019.

He W, Li Z, Chen CLP. A survey of human-centered intelligent robots: issues and challenges. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, v. 4, n. 4, p. 602-609, 2017.

Hedrich R, Salvador-Recatalà V, Dreyer I. Electrical wiring and long-distance plant communication. *Trends in Plant Science*, v. 21, n. 5, p. 376-387. 2016.

Horizon: Zero Dawn. Direção: Jonge M de. Produção: Muller L. Guerrilla Games. Sony PS4. 2017. 1 Blu-Ray.

Interestelar – “Interstellar”. Direção: Nollan C. Produção: Thomas E, Nollan C., Obst L, Legendary Pictures, Syncopy Films, Lynda Obst Productions. Estados Unidos: Warner Bros. 2014.

James O, Tunzelmann E von, Franklin P, Thorne KS. Gravitational lensing by spinning black holes in astrophysics, and in the movie Interstellar. *Classical and Quantum Gravity*, v. 32, p. 1-41, 2015a.

James O, Tunzelmann E von, Franklin P, Thorne KS. Visualizing Interstellar's Wormhole. *American Journal of Physics*, v. 83, n. 486, 2015b.

Johnson JA. Dr. Frankenstein, I Presume? Revising the Popular Image of Frankenstein. *Literature and Medicine*, v. 36, n. 2, p. 287-311, 2018.

Jubaer SMOF. The of artificial intelligence and Isaac Asimov's three laws of advanced mechanics in the United State of America. 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Shah_Jubaer/publication/344461915_The_Artificial_intelligence_and_Isaac_Asimov's_three_laws_of_advanced_mechanics_in_the_United_State_of_America/links/5f78ad52299bf1b53e0c1944/The-Artificial-intelligence-and-Isaac-Asimovs-three-laws-of-advanced-mechanics-in-the-United-State-of-America.pdf>. Acesso em: 21 de dezembro de 2020.

Kumar A, Memo M, Mastinu A. Plant behaviour: an evolutionary response to the environment? *Plant Biology*, v. 22, n. 6, p. 961-970, 2020.

Lihoreau M, RAINE NE. Bee positive: the importance of electroreception in pollinator cognitive ecology. *Frontiers in Psychology*, v. 4, 2013.

Lopes WES. Gilbert Simondon e uma filosofia biológica da técnica. *Scientiæ Studia*, v. 13, n. 2, p. 307-34, 2015.

Lu H, Li Y, Chen M, Kim H, Serikawa S. Brain intelligence: go beyond artificial intelligence. *Mobile Networks and Applications*, v. 23, n. 2, p. 368-375, 2018.

Macedo FCO, Dziubinska H, Trebacz K.; *et al.* Action potentials in abscisic acid-deficient tomato mutant generated spontaneously and evoked by electrical stimulation. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 37, n. 10, p. 207, 2015.

Marder M. Plant intelligence and attention. *Plant signaling & behavior*, v. 8, n. 5, p. e23902, 2013.

Marder M. Plant intentionality and the phenomenological framework of plant intelligence. *Plant signaling & behavior*, v. 7, n. 11, p. 1365-1372, 2012.

Marino-Cicinelli S. "The Fantastic Reality: Two Separate Worlds? Analysis of The Perception In Front Of An Alternative World". *Brumal. Revista de investigación sobre lo fantástico*, [online], v. 7, n. 1, p. 231-47, 2019.

Marschner P. *Mineral nutrition of higher plants*. 3 ed. London: Academic Press; 2012.

Matrix – "*The Matrix*". Direção: Wachowski L, Wachowski L. Produção: Silver J, Village Roadshow, Silver Pictures. Estados Unidos: Warner Bros. 1999.

Murphy R, Woods DD. Beyond Asimov: the three laws of responsible robotics. *IEEE intelligent systems*, v. 24, n. 4, p. 14-20, 2009.

Newland PL, Hunt E, Sharkh SM, Hama N, Takahata M, Jackson CW. Static electric field detection and behavioural avoidance in cockroaches. *The Journal of Experimental Biology*, v. 211, p. 3682-3690, 2008.

Northfield R. The accuracy of Asimov. *Engineering & Technology*, v. 14, n. 6, p. 66-67, 2019.

Oblivion. Direção: Kosinski J. Produção: Kosinski J, Chermin P, Clark D, Levine B, Henderson D. Estados Unidos: Universal Pictures. 2013

Pereira FL, Pisetta LMR. Casos de polissemia e escolhas de tradução do conto O pequeno robot perdido, de Isaac Asimov. *Tradterm*, v. 35, p. 25-48, 2020.

Pickard BG. Action potentials in higher plants. *The Botanical Review*, v. 39, n. 2, p. 172–201, 1973.

Pina K. *Liberdade poética: poemas*. Sinapis Editores, 2000. 88 p.

Platão. *Republic*. Tradução Paul Shorey. Ed. bilíngüe. Cambridge: Havard University Press, 1994.

Pollan M. *The intelligent plant*. 2013. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/The-intelligent-plant---Michael-Pollan.pdf>. Acesso em: 25 de dezembro de 2020.

Raghavendra, A.S.; Govindjee, G. Sir Jagadish Chandra Bose (1858–1937): A Pioneer in Photosynthesis Research and Discoverer of Unique Carbon Assimilation in Hydrilla. In: Raghavendra, A.S.; Sage, R.F. *C₄ Photosynthesis and Related CO₂ Concentrating Mechanisms*. Springer Science+Business Media B.V, 2011.

Ralph B. ASIMOV AND THE ANTHROPOCENE. In: *Kepler452b: a speculative fiction magazine*. 2017. Disponível em: <<https://www.usq.edu.au/bela/school-of-creative-arts/kepler452b-magazine>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2020.

Santos E. A diluição da fronteira entre sociedade e natureza e a dimensão ontológica da crise de paradigmas nas ciências. *Organizações & Sociedade*, v. 8, n. 21, p. 139-156. 2001.

Seiffert AS. Os robôs de Asimov e o futuro da humanidade. *Revista Eletrônica da ANPHLAC*, n. 24, p. 374-393, 2018.

Sopory S, Kaul T. Sentient Nature of Plants: Memory and Awareness. In: *Sensory Biology of Plants*. Springer, Singapore, 2019. p. 621-642.

Souza GM, Ferreira AS, Saraiva GFR, Toledo GRA. Plant “electrome” can be pushed toward a self-organized critical state by external cues: Evidences from a study with soybean seedlings subject to different environmental conditions. *Plant Signaling & Behavior*, v. 12, n. 3, p. 1-7. 2017.

Srygley RB, Dudley R, Oliveira EG, Riveros AJ. Experimental evidence for a magnetic sense in neotropical migrating butterflies (Lepidoptera: Pieridae). *Animal Behaviour*, n. 71, v. 1, p.183–191, 2006.

Struik PC, Yin X, Meinke H. Plant neurobiology and green plant intelligence: science, metaphors and nonsense. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 88, n. 3, p. 363-370, 2008.

Sutton GP, Clarke D, Morley E, Robert D. Mechanosensory hairs in bumblebees (*Bombus terrestris*) detect weak electric fields. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 113, n. 26, p. 7261–7265, 2016.

Taiz L, Zeiger E, Møller IM.; *et al.* *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. [s.l.]: Artmed Editora, 2017.

Tandon, P.N. Jagdish Chandra Bose & plant neurobiology. *Indian Journal of Medical Research*, v. 149, n. 5, p. 593–599, 2019.

Thomas CL, Alcock TD, Graham NS, Hayden R, Matterson S, Wilson L, Young SD, Dupuy LX, White PJ, Hammond JP.; Danku JMC, Salt DE, Sweeney A, Bancroft I, Broadley MR. Root morphology and seed and leaf ionomic traits in a *Brassica napus* L. diversity panel show wide phenotypic variation and are characteristic of crop habit. *BMC Plant Biology*, v. 16, n. 214, p. 1-18. 2016.

Thorne KS. *The Science of Interstellar*. New York: WW Norton & Company, 2014.

Toledo GRA de, Parise AG, Simmi FZ, Costa AVL, Senko LGS, Debono MW, Souza GM. Plant electrome: the electrical dimension of plant life. *The Theoretical and Experimental Plant Physiology*, v. 31, p.21-46. 2019.

Trewavas A. Green plants as intelligent organisms. *Trends in plant science*, v. 10, n. 9, p. 413-419, 2005a.

Trewavas A. Plant intelligence: Mindless mastery. *Nature*, v. 415, n. 6874, p. 841-841, 2002.

Trewavas A. Plant intelligence. *Naturwissenschaften*, v. 92, n. 9, p. 401-413, 2005b.

Trewavas A. The foundations of plant intelligence. *Interface focus*, v. 7, n. 3, 2017.

Van Loon LC. The intelligent behavior of plants. *Trends in plant science*, v. 21, n. 4, p. 286-294, 2016.

Vatansever R, Ozyigit II, Filiz E. Essential and beneficial trace elements in plants, and their transport in roots: a review. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 181, p. 464–482. 2017.

Vodeneev VA, Katicheva LA, Sukhov VS. Electrical Signals in Higher Plants: Mechanisms of Generation and Propagation. *Biophysics*, v. 61, n. 3, p. 505-512. 2016.

Volkov AG.; Markin VS. Active and passive electrical signaling in plants. *In: Lüttge U, Beyschlag W. (Orgs.). Progress in Botany 76. Cham; Heidelberg; New York; Dordrecht; London: Springer, p. 143–176, 2015.*

Volkov AG, Brown CL. Electrochemistry of plant life. *In: Volkov AG. Plant electrophysiology: theory and methods. Verlag, Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.*

Volkov AG. Plant electrophysiology: theory and methods. Verlag, Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.

WALL-E. Direção: Statnton A. Produção: Morris J., Pixar Animation Studios Estados Unidos: Wall Disney Pictures, Motion Pictures. 2008.

Wright MT. The Antikythera Mechanism reconsidered. *Interdisciplinary Science Reviews*, v. 32, p. 27-43, 2013.

Xuanmeng Y. On the Issue of the Human Being and the Ground of Philosophy. *Self-awareness of Life in the New Era*, p. 39. 2020.

Yokawa K, Baluška F. Fish and plant sentience: Anesthetized plants and fishes cannot respond to stimuli. *Animal Sentience*, v. 3, n. 21, p. 6, 2018.

3. CAPÍTULO II: CENTRO DE PROCESSAMENTO VEGETAL - MODELO FÍSICO-MATEMÁTICO PARA AVALIAR O COMPORTAMENTO DA PLANTA EM RELAÇÃO À FISIOLOGIA E O AMBIENTE

3.1. RESUMO

Os processos da neurofisiologia vegetal estão relacionados intrinsecamente à cinética de absorção de nutrientes. As plantas são capazes de se adaptar aos diferentes ambientes que são submetidas, apresentando comportamentos singulares mesmo em condições semelhantes. Diante dessa característica, para que haja a compreensão plena da forma como ocorrem nas plantas o ritmo da absorção de nutrientes da solução do solo é fundamental o conhecimento dos parâmetros cinéticos. O uso de modelos matemáticos e simulações que permitam avaliar a capacidade genética da planta e os fatores que influenciam em sua absorção são essenciais para que a realização de predições sobre as plantas sejam efetivas e contribuam para o entendimento de como elas reagem ao ambiente, especialmente para os diversos tipos de solo e clima. Os parâmetros cinéticos são representados pela velocidade máxima de absorção de nutrientes, quando todos os sítios dos carreadores nas membranas das células das raízes estão saturados. O influxo, pode relacionar-se com a resposta eletrofisiológica da planta mediante a um estímulo gerado pelo processo de absorção de nutrientes. Por meio de experimentos com Citrumelo (*Citrus paradisi*) e soluções contendo N, P, e K, o presente trabalho teve como objetivo elaborar uma metodologia flexível composta por duas etapas: análise dos parâmetros cinéticos e observação de processos cognitivos. A obtenção dos parâmetros cinéticos foi facilitada pelo software INFLUX, que simplificou a determinação das variáveis. O algoritmo embarcado utiliza variáveis lineares e não lineares, modelagem físico-matemática, geometria analítica, e álgebra linear. A metodologia permitiu avaliar o comportamento da absorção de nutrientes pela planta, realizando os cálculos com alta precisão, independente da cultura, do elemento contido na solução do solo, da concentração presente na solução, ou do período de coleta. Para decodificar, mensurar, e registrar padrões associados a ações ordenadas, foi estruturada uma metodologia, derivada da etapa anterior e intitulada de "Princípio da Chave-Mestra", capaz de detectar através da discretização dos dados as mudanças de comportamento da planta ao longo do processo de absorção de nutrientes. A partir do processamento dos dados, as metodologias evidenciaram que a escolha do tempo de amostragem em um experimento de influxo e as características intrínsecas de cada planta, acabam interferindo na análise. Dessa forma, o intervalo considerado no estudo pode exigir particionamento ou ampliação. Tais impactos exigem que a interpretação cautelosa dos parâmetros cinéticos, e que plantas usadas como repetição sejam analisadas separadamente, pois podem apresentar atividades distintas ao longo do dia. As observações dos sinais relacionados ao influxo permitiram determinar os melhores horários e os intervalos para a medição dos parâmetros relacionados. Mesmo semelhantes morfologicamente, as plantas utilizadas apresentaram hábitos diurnos e noturnos, com intensidades e períodos distintos, de acordo com o nutriente fornecido. O comportamento das plantas em resposta à alteração do substrato em que estavam durante o seu desenvolvimento

inicial, com a forma como elas passaram a administrar os nutrientes, podem estar relacionadas com um condicionamento clássico de aprendizagem do tipo associativa.

Palavras-chave: Cinética vegetal; cognição vegetal; sistema radicular; influxo de nutrientes; solução nutritiva.

3.2. ABSTRACT

Plant neurophysiology processes are intrinsically related to nutrient absorption kinetics. Plants can adapt to the different environments they are subjected to, showing unique behaviors even under similar conditions. Given this characteristic, to fully understand how the rhythm of nutrient absorption from the soil solution occurs in plants, it is essential to know the kinetic parameters. The use of mathematical models and simulations to assess the genetic capacity of the plant and the factors that influence its absorption are essential for making predictions about plants to be effective and contribute to the understanding of how they react to the environment, especially for different types of soil and climate. Kinetic parameters are represented by the maximum nutrient uptake rate when all carrier sites on root cell membranes are saturated. The influx can be related to the plant's electrophysiological response through a stimulus generated by the nutrient absorption process. Through experiments with Citrumelo (*Citrus paradisi*) and solutions containing N, P, and K, this study aimed to develop a flexible methodology composed of two steps: analysis of kinetic parameters and observation of cognitive processes. Obtaining kinetic parameters was facilitated by the INFLUX software, which simplified the determination of variables. The embedded algorithm uses linear and nonlinear variables, physical-mathematical modeling, analytic geometry, and linear algebra. The methodology allowed evaluating the behavior of nutrient uptake by the plant, performing the calculations with high precision, regardless of the crop, the element contained in the soil solution, the concentration present in the solution, or the collection period. To decode, measure, and record patterns associated with ordered actions, a methodology was structured, derived from the previous step and entitled Master-Key Principle, capable of detecting through the discretization of data the changes in plant behavior throughout the nutrient absorption process. From the data processing, the methodologies showed that the choice of sampling time in an influx experiment, and the intrinsic characteristics of each plant, end up interfering in the analysis. Thus, the range considered in the study may require partitioning or expansion. Such impacts require a careful interpretation of the kinetic parameters, and that plants used as repetition are analyzed separately, as they can present different activities throughout the day. The observations of signals related to the influx allowed us to determine the best times and intervals for measuring the related parameters. Even morphologically similar, the plants used showed diurnal and nocturnal habits, with different intensities and periods, according to the nutrient provided. The behavior of plants in response to the alteration of the substrate they were in during their initial development, with the way they started to administer nutrients, may be related to a classical conditioning learning of the associative type.

Keywords: Vegetable kinetics; plant cognition; root system; nutrient influx; nutrient solution.

3.3. INTRODUÇÃO

Os processos relacionados à neurofisiologia vegetal estão ligados à cinética de absorção de nutrientes. As plantas podem perceber o ambiente de maneiras distintas, mesmo expostas à condições semelhantes, demonstrando comportamentos próprios e específicos. O conhecimento da relação entre a taxa de absorção de íons pelas raízes das plantas e a concentração de íons nas suas proximidades é essencial para estudos sobre nutrição de plantas.

Para enfrentar os desafios constantes impostos pelo ambiente em mudança, as plantas desenvolveram um sofisticado sistema de percepção, envolvendo a capacidade de sentir muitos estímulos por sensores naturais, processando informações com respostas às alterações em diferentes escalas (molecular, fisiológica e morfológica). Por serem organismos modulares, a questão sobre a integração de sinais das diferentes partes dos corpos das plantas (das raízes até os brotos), tem grande relevância para a manutenção da estabilidade de toda a organização das estruturas vegetais (Souza et al., 2017).

As plantas requerem equilíbrio adequado de nutrientes minerais em cada estágio de desenvolvimento para atingir o rendimento máximo (Inostroza-Blancheteau et al., 2017). Muitos estudos destacam que os parâmetros cinéticos são fortemente influenciados pela concentração interna de íons (Massa et al., 2009; Del Dottore et al., 2018). Considerando que as proteínas transportadoras de nutrientes (carreadores, canais e bombas) são elementos especializadas e que transportam um determinado íon, é possível aplicar o modelo cinético de Michaelis-Menten.

Os carregadores seletivos que medeiam a absorção de NO_3^- , Cl^- , SO_4^- e H_2PO_4^- no citosol, e os canais aniônicos que medeiam o efluxo não seletivo de ânions regulam as concentrações celulares desses nutrientes. As aquaporinas facilitam o fluxo de água e outras moléculas específicas, como o ácido bórico, pelas membranas plasmáticas, por meio de mudanças na permeabilidade à água, em resposta a estímulos ambientais. Bombas de H^+ regulam a força motriz de prótons através do tonoplasto, acionando o movimento de outros solutos através dessa membrana, via mecanismos de carreadores do tipo antiporte (Taiz, 2017).

Para um nutriente ser absorvido pela planta, é necessário que o elemento faça parte da solução do solo (íons), cujo processo pode ocorrer por interceptação

radicular, fluxo de massa ou difusão. Em seguida, os íons e a água percolam nas células do sistema radicular até o xilema por duas rotas possíveis: via simplástica (interior dos citoplasmas) e apoplástica (nos espaços intercelulares). A endoderme evita o retrocesso da água do xilema para o córtex. O processo pelo qual o íon deixa o simplasto e entra no xilema é controlado pelos canais de efluxo pela ação da H^+ + ATPases (Taiz, 2017).

Por não refletirem os efeitos complexos da química do solo e da rizosfera, os métodos tradicionais de análise de solo podem não avaliar adequadamente a disponibilidade de nutrientes para a planta (van Maarschalkerweerd e Husted, 2015). Absorção de nutrientes não é linear. Embora, em baixas concentrações de substrato a absorção possa aparentar seguir esse padrão, há uma curvatura à medida que aumenta a concentração de substrato.

Os parâmetros cinéticos são representados pela velocidade máxima de absorção de nutrientes, que ocorre quando todos os sítios dos carreadores nas membranas das células das raízes estão saturados. O termo usado para descrever o movimento iônico da solução para dentro da raiz é chamado influxo, que pode ser obtido com base na área de superfície da raiz, no comprimento da raiz ou ainda no peso da raiz. O influxo pode ser relacionado com a resposta eletrofisiológica da planta ao estímulo gerado pelo processo de absorção do nutriente.

Como visto no capítulo anterior, as respostas eletrofisiológicas são iniciadas em um potencial receptor gerados pelos canais iônicos das plantas. Logo, no contexto do processo de absorção de nutrientes do solo, é possível sugerir que quanto maior for a intensidade do sinal registrado nas plantas, maior será a velocidade de absorção de nutrientes. Contudo, estudos aprofundados sobre os sinais são necessários.

Com o objetivo de reduzir as imprecisões na estimativa dos parâmetros relacionados à absorção de nutrientes, foram elaborados procedimentos matemáticos e um software para uma aproximação matemática não-linear para o cálculo dos parâmetros cinéticos e do influxo. Com o método foram observados se os intervalos avaliados no estudo estão adequados para avaliar a planta e se os valores estão coerentes para descrever os processos considerados. Também foram definidos procedimentos para averiguar como as plantas se comportavam individualmente durante o intervalo proposto para os experimentos.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

Para o estudo dos parâmetros cinéticos e de influxo, foram observados os trabalhos de Claassen e Barber (1974) e Ruiz (1985), cujas metodologias determinam as variáveis pela representação não linear da quantidade de nutrientes em solução. Contudo, para a realização da modelagem físico-matemática dos parâmetros e a elaboração do algoritmo do software INFLUX (ANEXO 3), foram usados novos recursos, que integram a geometria analítica e álgebra linear com o princípio da conservação de energia, para avaliar a absorção de nutrientes pela planta.

A nova modelagem foi aplicada em experimentos com portas-enxertos de Citrumelo (*Citrus paradisi*) e copa de laranjeira Valência (*Citrus sinensis*) e somente Citrumelo em solução contendo N (amônio e nitrato), P e K. As plantas avaliadas apresentavam os mesmos aspectos fitossanitários e morfológicos (uniformidade de raiz, altura e proporção da parte aérea), para que fosse mantida a máxima homogeneidade possível (FIGURAS 18 e 19). Durante o período de 66 horas, as plantas foram submetidas à luz natural.

FIGURA 18 – EXPERIMENTO DE INFLUXO EM CITRUS, PARA PORTA ENXERTO CITRUMELO



FONTE: Amanda Krug (2020).

FIGURA 19 – DETALHES DOS PORTAS-ENXERTOS CITRUMELO COM COPA VALÊNCIA



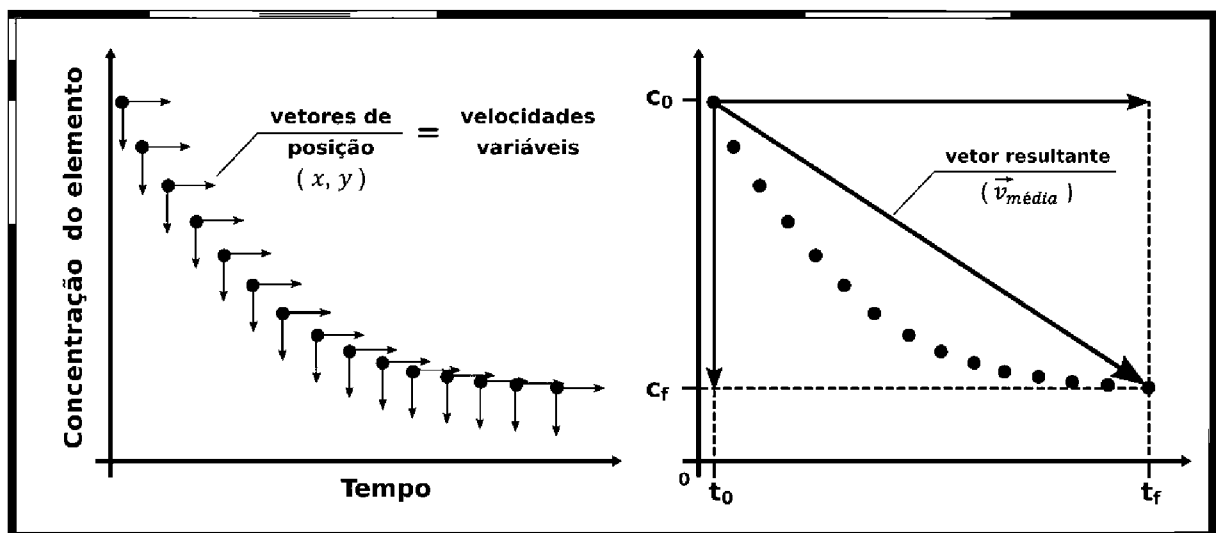
FONTE: Amanda Krug¹² (2020).

¹² Os dados referentes ao influxo, utilizados nesta tese, são provenientes do trabalho da mestrande Amanda Krug (UFSM), coletados com o apoio do grupo GEPACES (<https://www.gepaces.com.br/>).

3.4.1. Análise do processo de absorção de nutrientes (entradas no sistema)

Quando ocorre a absorção, há um deslocamento de massa que apresenta uma direção e sentido. Esse deslocamento pode ser representado por um vetor, que possibilita determinar a posição do processo no espaço bidimensional (x, y) . Durante uma amostragem, cada aferição da concentração de um elemento ou composto procederá da mesma forma. No entanto, também é possível representar todo o processo por um único vetor resultante (constante) entre as concentrações inicial e final, onde o valor obtido corresponde a velocidade média ($\vec{v}_{média}$) no intervalo (FIGURA 20).

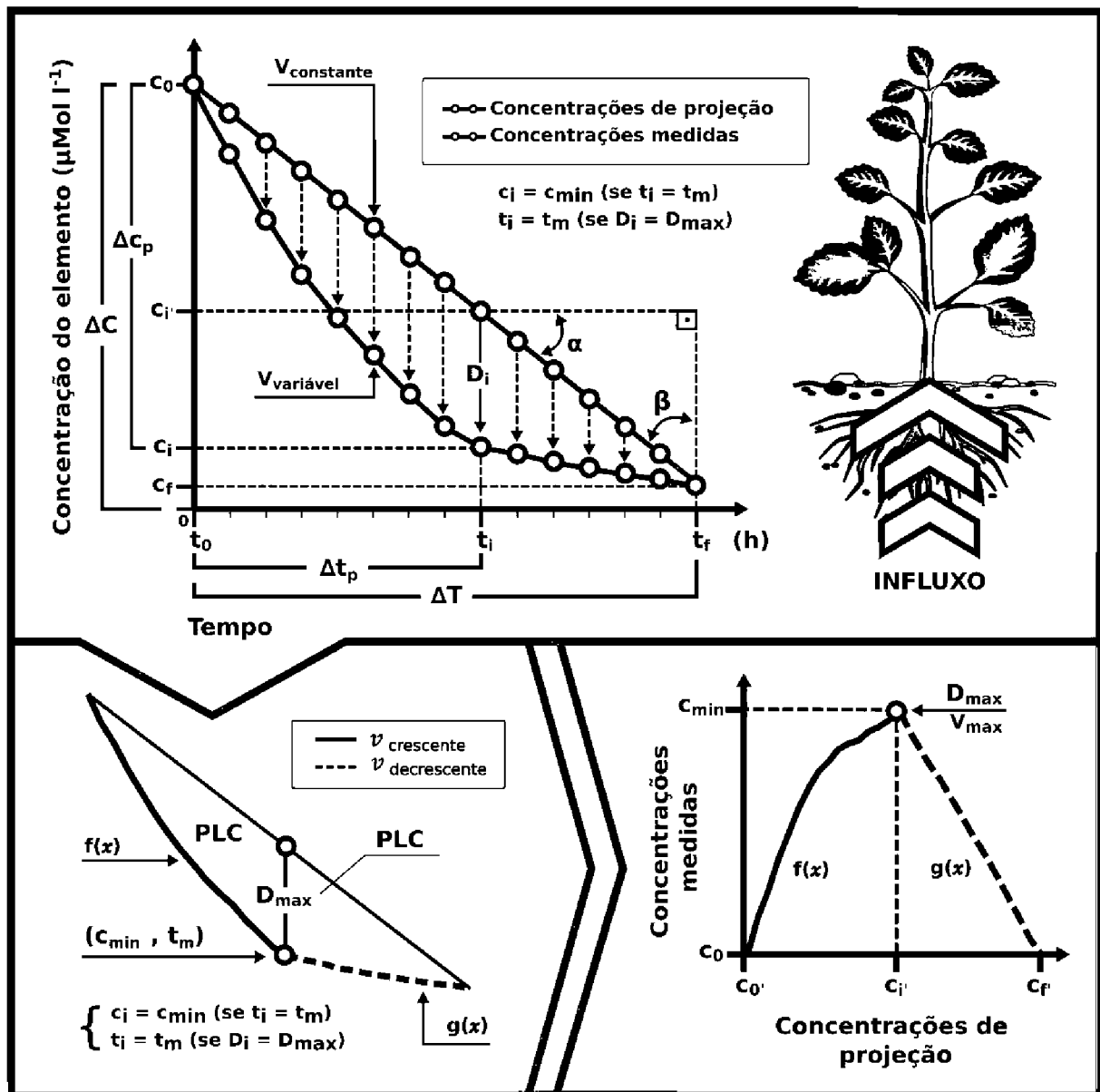
FIGURA 20 – VETOR RESULTANTE REFERENTE A CONCENTRAÇÃO INICIAL E FINAL DO ELEMENTO AVALIADO.



FONTE: O autor (2019).

A partir da exposição dos dados em um gráfico, essas variações são passíveis de serem mensuradas, permitindo estabelecer o desvio da concentração do nutriente em relação à sua projeção linear (tangente) dentro do intervalo de tempo amostrado. Logo, é possível observar e determinar o ponto em que ocorre a desaceleração do processo. Pelo uso da geometria analítica é determinado o instante da desaceleração da absorção do nutriente avaliado, que indica o momento (t_i) cuja concentração passa a se tornar mais estável no solo. Para isso, é necessário que inicialmente seja determinada a distância D_i para as n amostras empregadas no experimento (FIGURA 21, EQUAÇÃO 1).

FIGURA 21 - DETERMINAÇÃO DO PONTO DE DESACELERAÇÃO DA VELOCIDADE DE ABSORÇÃO DO NUTRIENTE.



FONTE: o Autor (2020).

Determinação do ponto de desaceleração da velocidade de absorção do nutriente. Em que, c_0 = concentração inicial; c_i = concentração no instante i ; c_f = concentração final; $c_{i'}$ = concentração de projeção no instante i ; $c_{f'}$ = concentração de projeção final; t_0 = tempo inicial; t_i = tempo no instante i ; t_f = tempo final; ΔC_p e ΔT_p = variação de concentração e de tempo até o ponto avaliado (i); D_i = distância ou deslocamento do teor do elemento em relação ao vetor resultante, com declividade α , no instante i ; t_m é o instante em que a velocidade de absorção é máxima ($v_{\max}$); $c_{\min}$ é a concentração mínima ou a concentração da desaceleração da reação.

O valor de α corresponde ao ângulo adjacente ao eixo do tempo (t , em horas) e representa a declividade da tangente formada entre a concentração inicial e final do

nutriente na solução. O β é o ângulo complementar. As variáveis são calculadas pelas equações 2. Substituindo os ângulos α e β na equação 1, obtém-se a equação 3.

$$D \Big|_{i=1}^{n \rightarrow +\infty} = \left| \frac{\sin \alpha \cdot (\Delta t_p - tg \beta \cdot \Delta c_p)}{\cos \alpha} \right| \quad (1)$$

$$\begin{cases} \alpha = \left[\cos^{-1} \left(\frac{\Delta T}{\sqrt{(\Delta t)^2 + (\Delta c)^2}} \right) \right] \\ \beta = \left\{ 90 - \left[\cos^{-1} \left(\frac{\Delta T}{\sqrt{(\Delta t)^2 + (\Delta c)^2}} \right) \right] \right\} \end{cases} \quad (2)$$

$$D \Big|_{i=1}^{n \rightarrow +\infty} = \left| \frac{\cos \left(\frac{t_f - t_0}{\sqrt{(t_f - t_0)^2 + (c_0 - c_f)^2}} \right) \cdot \left\{ (t_f - t_i) - tg \left\{ 90 - \left[\cos^{-1} \left(\frac{t_f - t_0}{\sqrt{(t_f - t_0)^2 + (c_0 - c_f)^2}} \right) \right] \right\} \cdot (c_i - c_0) \right\}}{\left(\frac{t_f - t_0}{\sqrt{(t_f - t_0)^2 + (c_0 - c_f)^2}} \right)} \right| \quad (3)$$

Em que o valor de D_i com o maior desvio em relação à projeção linear dos dados no intervalo analisado (D_{max}). n = número de horas amostradas.

O ponto de desaceleração corresponde ao D_i com o maior desvio em relação a tangente (D_{max}). Dessa forma, pode-se obter a maior distância dentro do conjunto formado pela substituição das variáveis correspondentes de cada amostra. A distância D_{max} , separa os pontos em dois conjuntos de dados com características espaciais distintas, mas conectado por um ponto ($\vec{p}$) em comum, ou seja, para todos os valores do intervalo amostrado, $\exists f(x) \cap g(x) \{ \vec{p}(t_m, c_{min}) | D_i = D_{max} \}$. Com a D_{max} , também é possível retomar aos valores de tempo (t_m) e concentração (c_{min}) correspondentes ao ponto ou vetor $\vec{p}$ (Equações 4 e 5):

$$t_m = t_f - \left(\frac{D_{max}}{\sin \alpha} \right) = t_f - \left[\frac{D_{max} + tg \beta \cdot (c_{min} - c_f)}{\sin \alpha} \right] \quad (h) \quad (4)$$

$$c_{min} = \left\{ \frac{t_f - t_m - \frac{D_{max}}{\sin \alpha}}{tg(90 - \alpha)} \right\} + c_f \quad (\mu mol L^{-1}) \quad (5)$$

Após t_m , por pressões fisiológicas internas, a velocidade decai até o limite do intervalo avaliado ⁽¹³⁾. Quando D_i atinge o seu valor máximo (D_{max}) e o valor dentro do módulo for positivo, o intervalo representa 1 partição ($p = 1, |D_{max}|$) ou 1 ciclo completo. Genericamente, o D_{max} , também chamado de Ponto de Limite de Convergência (PLC), pode ser obtido dentro de um conjunto com n elementos ($n \rightarrow \infty$) em m partições p , por um procedimento com característica de fractais (Equação 6). Quando o D_{max} é negativo dentro do módulo ($p > 1, |-D_{max}|$) deve-se avaliar a quantidade de partições do arranjo avaliado.

$$PLC_p \left| \begin{matrix} n \rightarrow +\infty \\ i = 1 \end{matrix} \right. \left\{ \begin{matrix} |-D_{max}| \quad \forall (|+D_{max}| \quad \forall t_f > 24 h) \models (p > 1) \\ |+D_{max}| \quad \forall t_f \leq 24 h \models (p = 1) \end{matrix} \right\} \Rightarrow$$

$$PLC_p \left| \begin{matrix} n \\ i \end{matrix} \right. = \frac{2}{e^{0,6931n}} \left(\begin{matrix} 4^{-1} D_n e^{0,6931n} + 4^{-1} D_{(n-1)} e^{0,6931(n-1)} + [...] + \\ 4^{-1} D_{(i+2)} e^{0,6931(i+2)} + D_{(i+1)} + D_i + |D_i - D_{(i+1)}| + [...] + \\ |4^{-1} D_{i+3} e^{0,6931n} - D_{i+1} - D_i - |D_i - D_{i+1}|| \end{matrix} \right) +$$

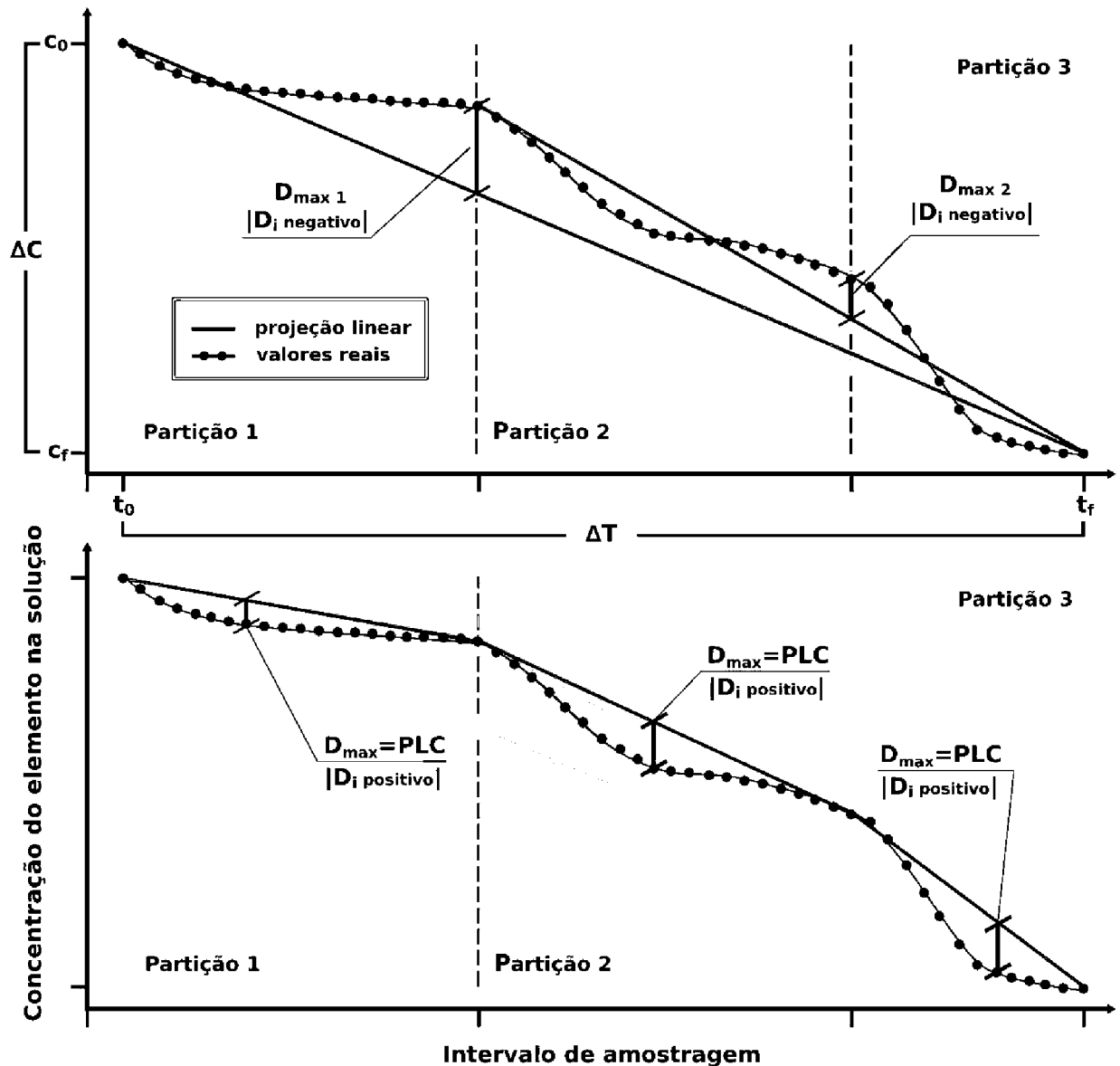
$$2^{-1} \left| \begin{matrix} 4^{-1} D_n e^{0,6931n} - 2 \left(\frac{4^{-1} D_{(n-1)} e^{0,6931(n-1)} + [...] + \\ 4^{-1} D_{(i+2)} e^{0,6931(i+2)} + D_{(i+1)} + D_i + |D_i - D_{(i+1)}|}{e^{0,6931(n-1)}} \right) + \\ [...] - 2^{-1} \left| \begin{matrix} D_{(i+3)} - 2 \left(\frac{4^{-1} D_{(i+2)} e^{0,6931(i+2)} + D_{(i+1)} + D_i + |D_i - D_{(i+1)}|}{e^{0,6931(i+2)}} \right) - \\ 2^{-1} \left| \begin{matrix} D_{(i+2)} - 2 \left(\frac{D_{(i+1)} + D_i + |D_i - D_{(i+1)}|}{e^{0,6931(i+1)}} \right) \end{matrix} \right| \end{matrix} \right| \end{matrix} \right| \quad (6)$$

É importante destacar que, para ser considerado PLC , o ponto necessita estar delimitando dois conjuntos de dados cujos procedimentos de regressão possibilitam determinar equações significativas para a curva de cada fragmento. Na figura 22 é demonstrado uma situação em que necessita a realização de particionamento. A não consideração desse procedimento pode causar leituras equivocadas tanto dos parâmetros cinéticos, como da curva de influxo, prejudicando a interpretação das

⁽¹³⁾ Quando o intervalo corresponde devidamente o ciclo completo de absorção.

características fisiológicas da planta. As partições obtidas devem ser tratadas separadamente.

FIGURA 22 – PARTICIONAMENTO DO ARRANJO DA CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES DA SOLUÇÃO EM RELAÇÃO AO TEMPO DE AMOSTRAGEM E A DETERMINAÇÃO DO PLC



FONTE: o Autor (2021).

ΔC e ΔP = variação de concentração e de tempo; D_i = distância ou deslocamento do teor do elemento em relação ao vetor resultante; $\text{PLC} = D_{\max}$ = Ponto Limite de Convergência.

Com a determinação do ponto de desaceleração, referente ao intervalo $c_{\min}$ e t_m , determina-se as equações das curvas para a representação dos dados e os parâmetros cinéticos e influxo. A velocidade máxima de absorção ($v_{\max}$) corresponde a concentração do nutriente absorvido no intervalo de tempo limitado pelo $D_{\max}$, em

razão da massa da matéria seca das raízes (MMSR, g) ou da área da superfície das raízes (ASR, mm²), representadas, respectivamente, pelas Equações 7 e 8.

$$V_{max} = \frac{\left| \frac{\Delta' C}{\Delta T} \right|}{MMSR} = \frac{\left| \frac{c'_{min} - c_0}{t_m - t_0} \right|}{MMSR} \quad (\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}) \quad (7)$$

$$V'_{max} = \frac{\left| \frac{\Delta' C}{\Delta T} \right|}{ASR} = \frac{\left| \frac{c'_{min} - c_0}{t_m - t_0} \right|}{ASR} \quad (\mu\text{mol mm}^2 \text{h}^{-1}) \quad (8)$$

Os valores de c_0 e c'_{min} são, respectivamente, os valores da concentração inicial e a concentração de desaceleração da reação, baseada na equação de ajuste, encontrados ao substituir os valores do tempo nos modelos linear, exponencial, logarítmica, potencial e quadrática (Equações 9 e 10).

$$C_0 = \begin{cases} \text{Linear: } (a \cdot t_0) + b \\ \text{Quadrática: } (a \cdot t_0^2) + (b \cdot t_0) + c \\ \text{Exponencial: } a \cdot e^{(b \cdot t_0)} \\ \text{Logarítmica: } a \cdot \ln(t_0) + b \\ \text{Potencial: } a \cdot t_0^b \end{cases} \quad (\mu\text{mol L}^{-1}) \quad (9)$$

$$C'_{min} = \begin{cases} \text{Linear: } (a \cdot t_m) + b \\ \text{Quadrática: } (a \cdot t_m^2) + (b \cdot t_m) + c \\ \text{Exponencial: } a \cdot e^{(b \cdot t_m)} \\ \text{Logarítmica: } a \cdot \ln(t_m) + b \\ \text{Potencial: } a \cdot t_m^b \end{cases} \quad (\mu\text{mol L}^{-1}) \quad (10)$$

A escolha da equação mais adequada pode ser dada por formas distintas: fator R^2 ou pelos fatores “velocidade da reação” e “quantidade de moles”. Pelo método do coeficiente de determinação, a escolha pode ser feita de forma manual, optando-se pela equação, para $f(x)$ e $q(x)$, com maior valor de R^2 , dentre os tipos linear, exponencial, logarítmica, potencial e quadrática.

Pelo método da “velocidade da reação”, a determinação da equação de melhor ajuste para a função $f(x)$ é obtida pelo princípio da conservação da energia mecânica, de forma automática ao selecionar a opção “melhor ajuste”. Assim, dentre os tipos de equação avaliados, é observado o modelo que permite obter o valor da

velocidade máxima da absorção do nutriente, seja com base na MMSR ou ASR, mais próxima da velocidade real ($v_{max\ real}$ e $v'_{max\ real}$), conforme as Equações 11 e 12:

$$V_{max\ real} = \frac{\left| \frac{\Delta C}{\Delta T} \right|}{MSR} = \frac{\left| \frac{c_{min} - c_0}{t_m - t_0} \right|}{MSR} \quad \Delta V_{max} = |v_{max} - v_{max\ real}| \quad (11)$$

$$V'_{max\ real} = \frac{\left| \frac{\Delta C}{\Delta T} \right|}{ASR} = \frac{\left| \frac{c_{min} - c_0}{t_m - t_0} \right|}{ASR} \quad \Delta V'_{max} = |v'_{max} - v'_{max\ real}| \quad (12)$$

A representação gráfica de q (Equação 13) em função do tempo representa a diminuição da quantidade do nutriente na solução com o tempo, em consequência da absorção pela planta. Considerando que a q depende de v , e que este é variável em função da evaporação e da retirada das alíquotas, para cada tempo v é recalculado pela Equação 14, determinando o volume para cada tempo (v_i).

$$q_i = c_i \times v_i \quad (\mu mol) \quad (13)$$

$$v_i = v \Big|_{i=1}^n = v_0 - (v_a \times i) \quad (L) \quad (14)$$

Em que: v_a = volume amostrado em cada coleta; v_0 = volume inicial; v_f = volume final;
 v_i = volume resultante após a coleta; n = número de coletas.

Pelo método da “quantidade de moles”, a determinação da equação de melhor ajuste para a função $g(x)$, é obtida pelo modelo que permite obter o valor de q_m (Equação 15) mais próximo do $q_{m\ real}$ (Equação 16). Com o valor

$$Q_m = \begin{cases} \text{Linear: } (a \cdot t_m) + b \\ \text{Quadrática: } (a \cdot t_m^2) + (b \cdot t_m) + c \\ \text{Exponencial: } a \cdot e^{(b \cdot t_m)} \\ \text{Logarítmica: } a \cdot \ln(t_m) + b \\ \text{Potencial: } a \cdot t_m^b \end{cases} \quad (\mu mol) \quad (15)$$

$$Q_{m\ real} = C_{min} \times v_{t_m} \quad \Delta Q_m = |q_m - q_{m\ real}| \quad (16)$$

A constante de Michaelis-Menten (K_m) é calculada a partir da Equação 17.

$$K_m = \frac{q_m}{v_{t_m}} \quad (\mu\text{mol L}^{-1}) \quad (17)$$

Muitos estudos destacam que os parâmetros cinéticos das plantas são fortemente influenciados pela concentração interna de íons (Massa et al., 2009; Del Dottore et al., 2018). O influxo pode ser obtido tanto a partir da massa da matéria seca das raízes (Equação 18) como também a partir da área da superfície das raízes (Equação 19):

$$I = \frac{V_{max} \times (c_i - c_0)}{K_m + (c_i - c_0)} \quad (\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}) \quad (18)$$

$$I' = \frac{V'_{max} \times (c_i - c_0)}{K_m + (c_i - c_0)} \quad (\mu\text{mol mm}^2 \text{h}^{-1}) \quad (19)$$

O software INFLUX foi construído com a linguagem de programação C#, na plataforma de desenvolvimento Visual Studios, projetado para realizar os cálculos dos parâmetros cinéticos e de influxo, para até 3 tratamentos com até 5 repetições. Os campos necessários para preenchimento são: concentração de nutriente em função do tempo de amostragem, que contemplem as seguintes variáveis: Concentração inicial ($\mu\text{mol L}^{-1}$); Volume inicial (L); Volume final (L); Volume total amostrado (L); Duração da amostragem (h); Massa de matéria seca de raiz (g) e Área superficial das raízes (mm^2). A inserção dos dados da área das raízes foi definida como opcional.

3.4.2. Análise do ritmo da planta durante o processo de absorção (caixa-preta)

Com o termo importado do meio cibernético, o qual considera um sistema como uma espécie de caixa vedada ou blindada para acesso livre, realizou-se testes sobre as respostas das plantas durante o processo de absorção de nutrientes, descartando, momentaneamente, quaisquer conceitos fisiológicos para não viciar a coleta de dados. Dessa forma, considerou-se como classes respostas, apenas dois estados simples: o aumento e a redução (ou paralisação) do processo de absorção. Essa etapa é fundamental para avaliar e validar se o intervalo amostrado corresponde de fato a um ciclo completo de absorção. Também visa analisar se existem padrões quanto ao horário, à frequência e à duração dos estágios de absorção, assim como se as plantas são semelhantes quanto a esses parâmetros avaliados.

A observação dos estados nesta avaliação permite caracterizar o sinal mecânico correspondente à absorção e possibilitará guiar a determinação dos sinais elétricos (potenciais de ação) em trabalhos futuros. Para a discretização do sinal mecânico procedeu-se similarmente a um sinal elétrico, utilizando a função Degrau Unitário ou Função de Heaviside (EQUAÇÃO 20). Utilizando os valores dos deslocamentos das concentrações em relação às suas projeções no intervalo amostrado (EQUAÇÃO 1), foram caracterizados os estados ao longo do intervalo.

$$U(x - a) = \begin{cases} 0, & x = 0 \\ 0, & x < a \\ 1, & x > a \end{cases} \quad \begin{matrix} x = D_i \\ a = D_{(i-1)} \end{matrix} \quad (20)$$

Os valores dos estados foram ordenados conforme o horário de amostragem e submetidos a uma função cumulativa para a determinação da constância da ação da absorção (fc_i) (EQUAÇÃO 21). Posteriormente foi determinada a amplitude relativa do sinal mecânico (S_r) da repetição em relação ao D_{max} dentre todas as repetições da planta avaliada (EQUAÇÃO 22).

$$fc_i = \begin{cases} 0, & U(x - a) = 0 \\ U(x - a) + fc_{(i-1)}, & U(x - a) = 1 \end{cases} \quad (21)$$

$$S_r = \frac{fc_i}{D_{max Rep}} \quad (22)$$

Em que: $D_{max Rep}$ corresponde ao desvio máximo obtido entre todas as repetições.

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

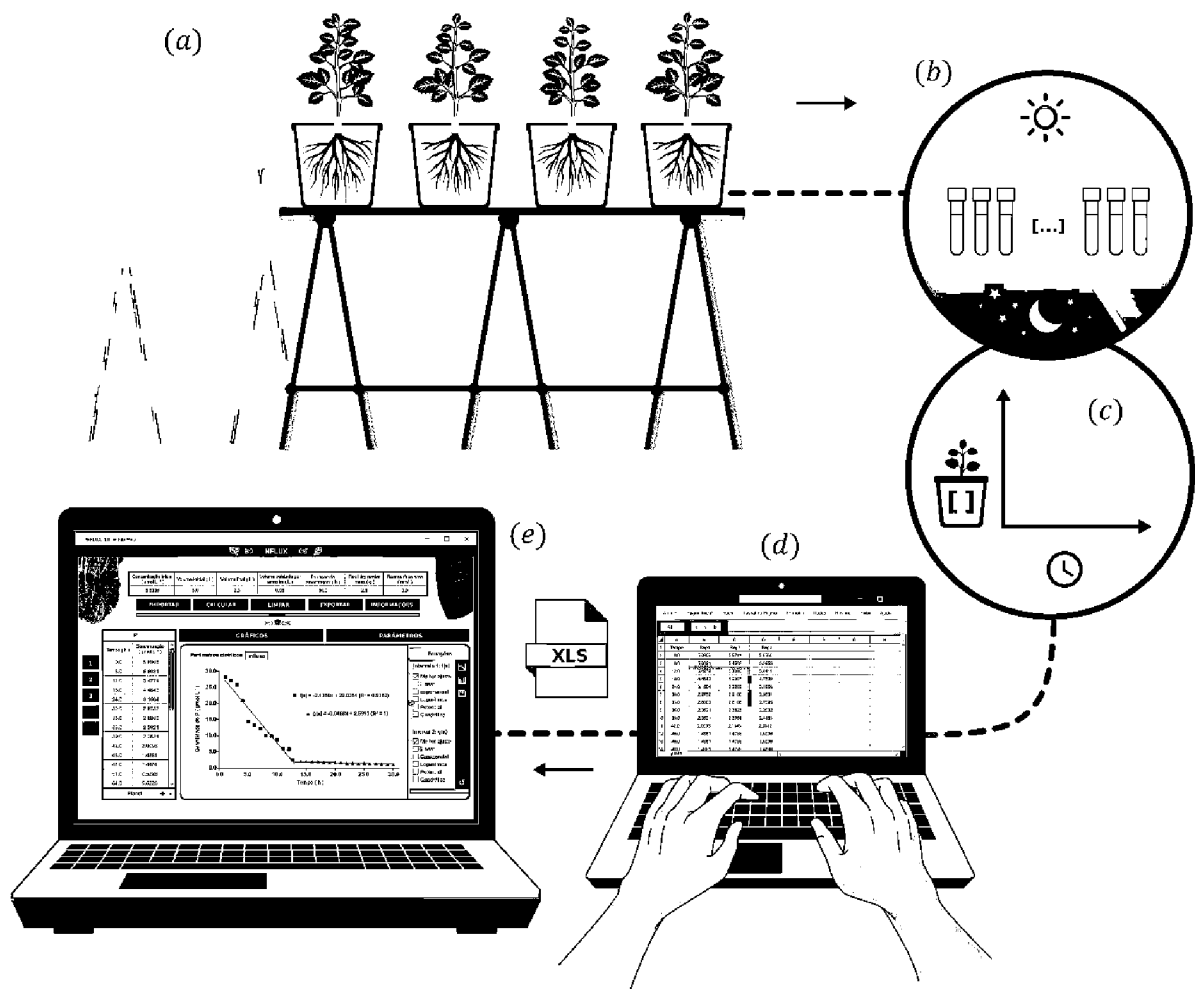
3.5.1. Parâmetros cinéticos e influxo

Os procedimentos matemáticos relacionados com absorção de nutrientes pelas raízes das plantas, foram facilitados com a produção do software INFLUX. Por meio dele, é possível obter representações gráficas, incluindo todos os dados inseridos em cada uma das repetições do experimento. Mas, para que a análise ocorra com sucesso, o experimento deve ser executado em ambiente controlado, por equipe

treinada. Deve-se também registrar em planilha os horários de coleta para o controle e identificação da alíquota retirada da solução.

Com os dados coletados, como os intervalos e as concentrações inseridas na planilha, utiliza-se o INFLUX. O software determina os parâmetros cinéticos com base nos ensaios laboratoriais, possibilitando visualizar e exportar as informações em formatos de arquivo *ods*, *xls* e *xlsx*, contendo os parâmetros determinados e suas representações (FIGURAS 23 e 24, ANEXO 3)

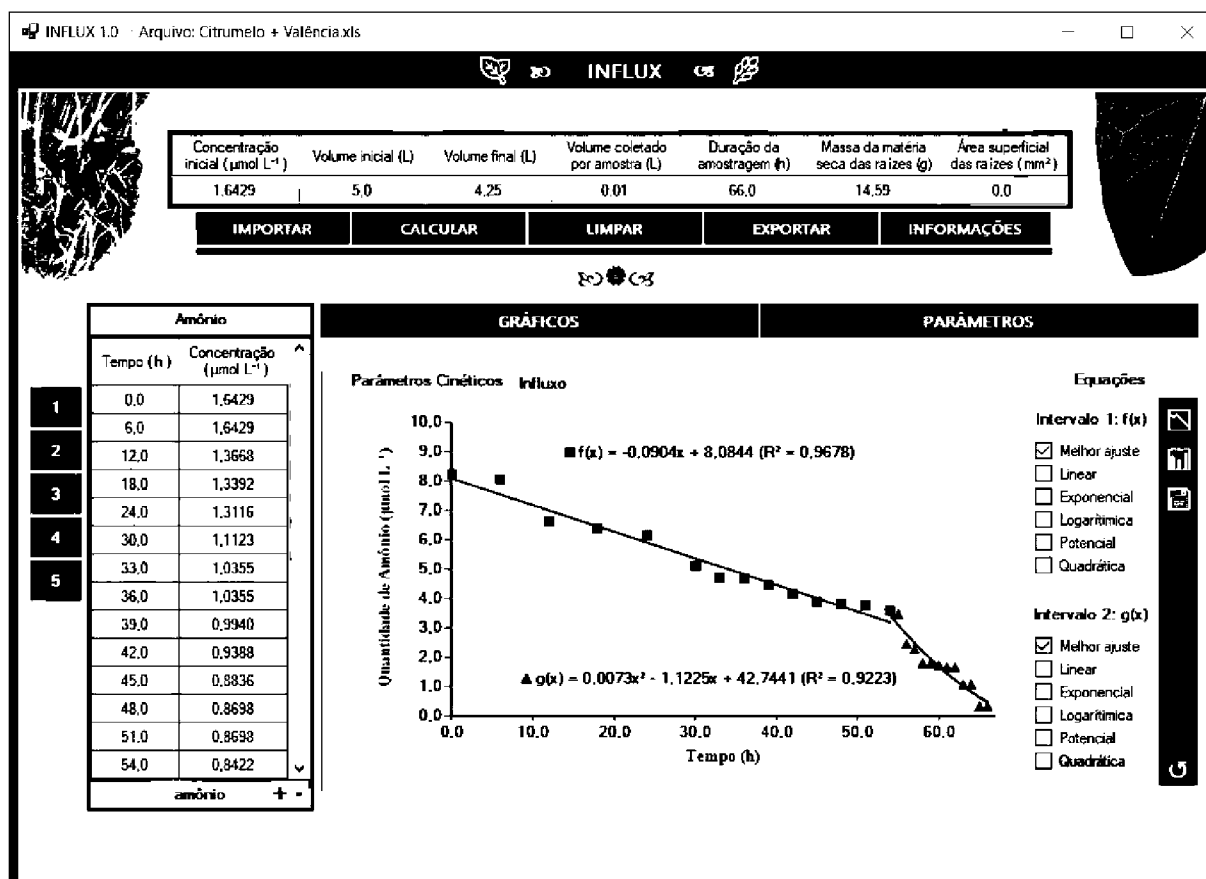
FIGURA 23 – ESQUEMAS DAS ETAPAS EXECUTADAS ATÉ A OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS CINÉTICOS E INFLUXO PELO SOFTWARE INFLUX.



FONTE: O autor (2021).

a) experimentação em laboratório em condições controladas; b) coleta da alíquota da solução deverá ser obtida em intervalos pré-estabelecidos, envolvendo o dia e a noite; c) o volume e a concentração decaem; d) os dados são registrados em uma planilha com formato *xls*; e) os dados são importados pelo software para a determinação dos parâmetros.

FIGURA 24 – TELA INICIAL DO INFLUX NA ANÁLISE DE CITRUMELO SOB VALÊNCIA



FONTE: O Autor (2020).

Dentre os parâmetros avaliados pelo software, tem-se a divisão de estados de absorção, o instante e a concentração do nutriente em que isso ocorre; a velocidade máxima de absorção, considerando a massa da matéria seca e a área superficial das raízes; a quantidade de moles, baseado em modelos matemáticos variados de regressão; a determinação da constante de Michaelis-Menten; o influxo; e as representações gráficas ajustáveis. Para os estudos na área da agronomia e da biologia/botânica, o software INFLUX proporciona:

- I.** automatização de procedimentos matemáticos, com determinação instantânea dos parâmetros cinéticos das culturas;
- II.** possibilita identificar a capacidade de plantas ou cultivares para absorver elementos do solo ou de solução nutritiva;
- III.** contribui na identificação e na seleção de espécies de plantas mais bem adaptadas a determinados tipos de solos.

Executando os dados no software INFLUX é possível obter tanto as informações em tela, como exportá-los para uma planilha contendo todos os parâmetros cinéticos, incluindo todos os dados inseridos. A função foi implementada pois, auxilia a realização de outros tipos de análises estatísticas. Quando o arquivo é exportado, além dos valores dos parâmetros cinéticos, é produzido um gráfico da taxa de influxo comparativa entre os tratamentos.

Nos gráficos são relacionadas a taxa de influxo líquido e a concentração na solução. A caracterização da curva padrão do influxo é obtida com base nas médias das repetições de cada tratamento, possibilitando a comparação visual dos tratamentos de forma mais didática. Como a avaliação é periódica, é possível identificar o horário exato em que ocorre qualquer possível alteração no padrão de absorção.

Até meados das décadas de 80 e 90, ajustar regressões não lineares não era tarefa fácil, o que dificultava estabelecer estimativas e projeções precisas sobre os valores de K_m e v_{max} . Esse fato deu lugar a vários estudos que concentraram seus esforços no desenvolvimento de métodos de linearização da equação de Michaelis-Menten, em que os pontos de intercepção entre as retas eram uma extrapolação de dados experimentais obtidos em laboratório. Contudo, diante das dificuldades matemáticas, algumas distorções ocorreram, especialmente para baixos teores de substrato, tornando as estimativas menos exatas.

A nova metodologia oferece maior versatilidade para a determinação dos parâmetros cinéticos em relação aos métodos anteriores, principalmente devido à possibilidade de se ajustar os modelos de regressão e à determinação da análise de várias repetições. Em relação ao modelo de Claassen e Barber (1974), a determinação do ponto em que ocorre a diminuição não é arbitrária. Contudo deve-se tomar alguns cuidados.

Um aspecto bastante relevante sobre a velocidade máxima de reação, é a determinação do tempo total necessário para que a cultura realize um ciclo. Contudo, quando não se conhece o intervalo necessário para que isso ocorra, a determinação do ponto que caracteriza essa condição, também pode se tornar arbitrária. Existem duas formas de se determinar quando o intervalo não está adequado:

- I. pelas propriedades da equação de regressão;
- II. pelos desvios máximos das repetições.

Na primeira forma, é necessário verificar se o valor de determinação (R^2), da equação anterior e posterior à divisão, são altos e se são significativos. A velocidade máxima da absorção não necessita de um modelo matemático por estudo de regressão para a sua determinação. Mas, não há impeditivos para a consideração de um modelo que descreva o processo de absorção pela planta, desde que satisfeitos os requisitos mencionados. Por padrão, o ajuste do melhor modelo é baseado na velocidade máxima real, obtida pelo estabelecimento da razão entre a concentração inicial do elemento em solução, pelo intervalo de tempo em que o processo se encerra.

Quando os modelos de regressão não apresentam resultados satisfatórios é possível pressupor que o intervalo de tempo não está correto e/ou que outras interações estão agindo sobre o processo de absorção (internos ou externos). Alguns desses eventos podem estar relacionados aos carreadores de alta e baixa afinidade e, até mesmo, à fenômenos eletrofisiológicos (potenciais de ação), principalmente quando os modelos não-lineares apresentam resultados mais próximos ao do valor real obtido para a velocidade máxima. Sendo assim, para que esta última hipótese seja plausível, é necessário que modelos matemáticos consigam descrever com precisão a mudança de comportamento da planta durante todo o processo de absorção avaliado. Isso requer uma mudança do entendimento de como a planta realiza esses processos e isso poderá influenciar diretamente na forma como é vista a curva para a determinação do influxo. A observação de mais de um ciclo faz com que o influxo não apresente uma curva contínua.

O princípio da conservação de energia mecânica estabelece que independente do comportamento da partícula no intervalo de tempo, a velocidade final será a mesma, ou seja, é constante entre relações que apresentem mesmas concentrações e mesmos intervalos. Logo, supor que o comportamento de absorção é diferente da linear apenas para se determinar a velocidade de reação seria uma tarefa desnecessária.

Se imaginarmos um objeto no topo de uma rampa, podemos realizar algumas afirmações. Em um sistema conservativo o objeto apresenta energia potencial

máxima, pois está sujeito ao efeito da gravidade, e a energia cinética é igual a zero. O objeto após se deslocar começa a perder a energia potencial e vai aumentando a energia cinética. No final da rampa, a energia potencial passa a ser zero e a cinética máxima, pois é dependente da energia acumulada, o que aumenta a velocidade, ou seja, a velocidade também será máxima. A mesma analogia pode ser feita para o processo de absorção pelas plantas.

Comportamentos de curvas representativas para um ciclo completo, devem apresentar ajustes significativos e alto valor de coeficiente de determinação (R^2). Quando atende os requisitos mínimos necessários, o tipo da função de regressão obtida pode significar os seguintes comportamentos no intervalo de tempo avaliado. Todavia, alto valor de R^2 não garante que a velocidade máxima determinada pelo modelo seja representativa. Por isso, é aconselhável deixar a opção “Melhor ajuste” selecionada. Quando apresentados em tela os parâmetros pelo software para as curvas referentes aos seguimentos $f(x)$ e $g(x)$, o tipo da equação representa:

Linear: a absorção é constante;

Quadrática: a velocidade de absorção atinge o seu máximo no centro do intervalo ou nas extremidades;

Exponencial: a velocidade de absorção atinge o seu máximo após o centro, mas pode subestimar a velocidade em algumas distribuições;

Logarítmica: a absorção é acelerada antes do centro do intervalo;

Potencial: a absorção é acelerada no início, e em alguns casos pode superestimar a velocidade.

Admitir que a planta absorve de forma linear, como demonstrado por Claassen e Barber (1974) e Ruiz (1985), é coerente com as leis da física, mas é necessário que o sistema seja conservativo. Para verificar se o sistema atende esse critério é necessário que o valor da velocidade máxima obtida pela regressão linear seja exatamente o mesmo daquele obtido pela razão entre a concentração do elemento e o intervalo de tempo (velocidade máxima real). Descartando-se a hipótese da linearidade, testa-se outros modelos obtidos por regressão como, o potencial, o polinomial, o logarítmico e o exponencial.

A segunda forma de avaliação dos dados é a mais indicada, bastando verificar se o valor dos desvios máximos (D_{max}), de pelo menos uma das repetições é negativo. No estudo realizado com as mudas de citros, somente R4 de Citrumelo foi positivo (TABELA 3).

TABELA 3 – DESVIOS MÁXIMOS ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES PROJETADAS E MEDIDAS PARA AS MUDAS DE CITROS DAS REPETIÇÕES AVALIADAS

Repetição	Desvios máximos (D_{max})			
	Amônio	Nitrato	P	K
PORTA ENXERTO CITRUMELO E COPA VALÊNCIA				
R1	-10,143	0,293	-0,333	-1,429
R2	-6,164	-0,476	-0,292	-1,056
R3	-6,056	-0,282	-0,308	-1,247
R4	-	-0,567	-0,351	-1,519
R5	-	-0,189	-0,287	-1,386
CITRUMELO				
R1	-0,280	-6,223	-0,355	-0,981
R2	-0,468	-6,121	-0,324	-1,202
R3	-0,345	-5,638	-0,260	-1,230
R4	-	10,702	-0,306	-1,084
R5	-	-3,549	-0,296	-0,949

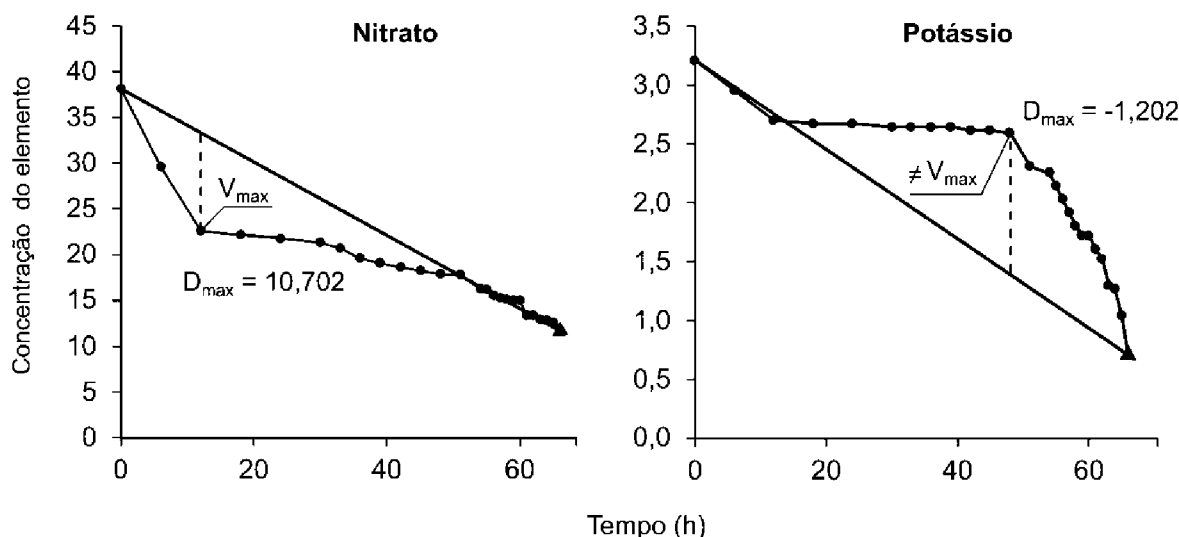
FONTE: O autor (2020).

Quando positivo indica que a curva apresenta concavidade para cima, com velocidade máxima dentro do intervalo avaliado, podendo representar um ciclo completo. Quando negativo, a concavidade é para baixo, o que muda completamente a interpretação da velocidade e de outros parâmetros cinéticos. Nesse caso o ponto obtido em D_{max} não representa a velocidade máxima. Logo o tempo de análise pode não representar o ciclo completo ou, ao contrário, pode haver mais de um ciclo, exigindo análises separadas para os intervalos segmentados.

Quando o desvio é positivo, a velocidade no ponto em que $f(x)$ e $g(x)$ se encontram é máxima (V_{max}), e, quando negativo, a velocidade é diferente da máxima, podendo chegar a ser mínima (V_{min}), dentro do intervalo avaliado (FIGURA 25). Na primeira varredura será ordenado, de forma crescente, os valores de deslocamento (D_i) de cada item do arranjo e verificando se no último valor, contido no módulo, é

positivo ou negativo. Quando negativo, realiza-se uma nova varredura, semelhante à etapa anterior. Se o valor de D_i for positivo, então D_{max} está contido numa partição indivisível.

FIGURA 25 – CONCENTRAÇÕES DE NITRATO E POTÁSSIO EM SOLUÇÃO E PONTO DE MUDANÇA DE COMPORTAMENTO, OBSERVADOS EM MUDAS DE CITRUMELO



FONTE: O Autor (2020).

Como os valores dos desvios não possibilitam estabelecer interpretação sobre os parâmetros cinéticos, é necessário realizar uma análise mais aprofundada dos dados. Para isso são necessárias algumas reflexões e associações. Se um organismo vivo apresenta um hábito de vida errático, cujos processos vitais são desregrados, e insuficientes para atender as necessidades básicas de sua existência, a possibilidade de ocorrerem impactos negativos na sanidade são altos.

O equilíbrio das ações é fundamental para a manutenção da vida. Logo, por mais estranho que seja um hábito, devem ser atendidos requisitos mínimos para que não ocorra queda da funcionalidade do organismo e até mesmo a sua morte.

3.5.2. Indícios de cognição no processo de absorção de nutrientes

A vida necessita de organização para que se mantenha sustentável. Portanto deve haver padrões ao longo do tempo que possam ser detectáveis e quantificáveis. Em uma planta, esses padrões deverão ser encontrados tanto num mecanismo

passivo, como ativo. Nos mecanismos passivos os eventos são condicionados por fatores determinantes, como: transpiração, estágio fenológico, iluminação, hora do dia, concentração de nutrientes, tipos de transportadores, entre outros. Já nos mecanismos ativos os eventos são regidos por um sistema de controle através de comandos determinados por potenciais de ação (Volkov, 2006).

Os sinais provenientes dos potenciais de ação, podem ser associados como chaves mestras. Cada dente (cume) e entalhe desempenha uma função específica, e a união desses vários elementos permite abrir uma fechadura e transpor a porta. Em analogia ao solo e à planta, uma deficiência nutricional pode ser ocasionada por uma série de eventos no ambiente em que a planta se encontra.

A deficiência de N, por exemplo, pode ser identificada por um ou mais dentes de uma chave, ou combinação de dentes e entalhes, contidos numa sequência de sinal, assim como ocorre em fitas de DNA e RNA, em que cada segmento pode ser atribuído à uma característica. Dessa forma, o pico de sinal específico (o dente da chave) irá gerar um estímulo que será sentido por células específicas da planta (parte do mecanismo da fechadura), desencadeando uma ação que causará uma deficiência (abrir a porta).

Quando se defende que plantas apresentam um sistema nervoso central, a comunidade científica e não-científica refuta essa ideia, pois, de imediato, associa-se o sistema nervoso central com o cérebro. Logo, se não há evidência de sua existência, então a premissa não é verdadeira. No entanto, estruturas em organismos diferentes podem ser análogas em suas funções. É possível que certas partes combinadas nas plantas desenvolvam uma ação complexa similar ao cérebro, mesmo apresentando características morfológicas incomuns, podendo ser representado por um conjunto de células localizadas em um determinado local da planta, ou até mesmo sistemas inteiros como as raízes, o caule ou a planta toda.

Baluska e Mancuso (2009b e 2009c) associam os sistemas neuronais com a tradução de informações sensoriais nos impulsos elétricos, os chamados códigos neurais. Para as plantas, os fatores determinantes destes processos são a luz e a gravidade. Além disso, muitas adaptações podem ser consideradas para a sobrevivência de plantas proporcionadas pela evolução, como as respostas motoras conhecidas por tropismos. O gravitropismo da raiz demonstra a capacidade sensorial da planta, sendo realizada em seu ápice.

Há influência destacável dos campos eletromagnéticos de alta frequência e baixa amplitude em plantas, induzindo mudanças rápidas nas células vegetais. Também se observa que, as plantas são notoriamente mais sensíveis aos campos eletromagnéticos de baixa amplitude, quando comparadas aos animais. Paralelos entre a magnetorecepção relacionados ao sensor de luz em animais e plantas podem ser estabelecidos, sendo baseados em propriedades físicas de criptocromos fotoexcitados (por exemplo: a detecção magnética pelas plantas é semelhante aos mecanismos associados aos pássaros) (Baluska e Mancuso, 2009c).

Também é amplamente argumentada a motilidade dos seres inteligentes, relacionando o potencial da movimentação com a capacidade individual do ser. Como critério intuitivo, a movimentação dos seres vivos como motivação para domínios de inteligência é insatisfatória, uma vez que as plantas são capazes de cumprir papéis adaptativos frente às restrições das teorias humanas. Além disso, partimos do pressuposto de que as plantas agem baseadas em estímulos ambientais, acessando o espaço geométrico de maneiras distintas, sem serem sensíveis à exploração do espaço induzida pela mobilidade livre (Garzón e Keijzer, 2009).

Retomando os dados de N, P, K, e do influxo desses nutrientes no processo de absorção pelas mudas de citros, verificou-se, mediante ao tratamento desses dados como instruções computacionais, após discretização, que cada planta da repetição apresentou hábito distinto quanto ao horário e à intensidade de absorção ao longo das 66 horas avaliadas. As plantas R1 e R3 de Citrumelo iniciaram a absorção de amônio às 6h30, enquanto R2 teve absorção expressiva às 18h30 do segundo dia (FIGURA 26).

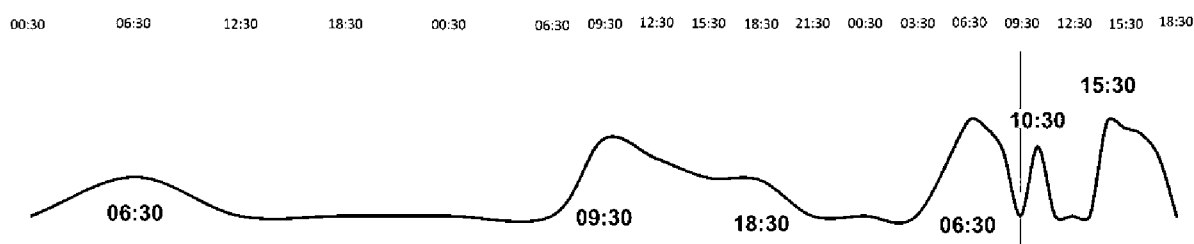
Curiosamente, as plantas R2 e R3 apresentaram atividade que se iniciou às 00h30 do terceiro dia, com pico às 03h30, mostrando comportamento noturno. Para nitrato, R2 e R5, também apresentaram hábito noturno, assim como R1, R2 e R5 em K, e R3 e R5 em P. O mesmo hábito noturno foi observado em Citrumelo com enxerto de Valência, para R4 e R5 em solução de amônio, R2 e R3 em nitrato, R1, R3, R4 e R5 em K e R2 em P (ANEXO 3).

Utilizando o princípio das “Chaves Mestras”, observa-se duas mudas (R4 e R5) que apresentaram pulsos semelhantes (FIGURA 27). No entanto, considerando

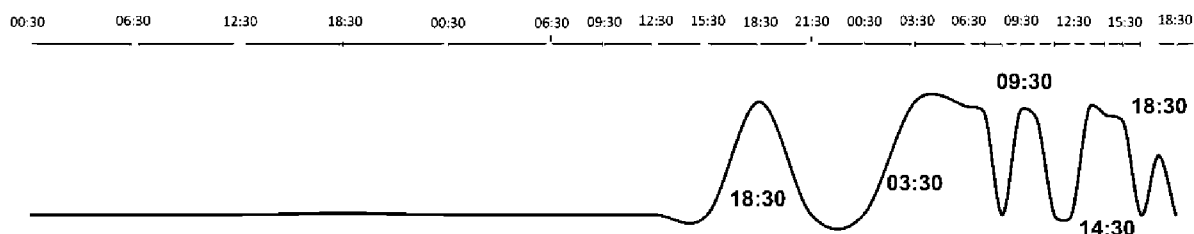
a intensidade relativa do sinal mecânico, percebe-se que há diferenças na quantidade de nutrientes absorvidos (diferenças de D_i), durante o intervalo.

FIGURA 26 – SINAIS PRODUZIDOS EM MUDAS DE CITRUMELO, DURANTE O PROCESSO DE ABSORÇÃO DE AMÔNIO

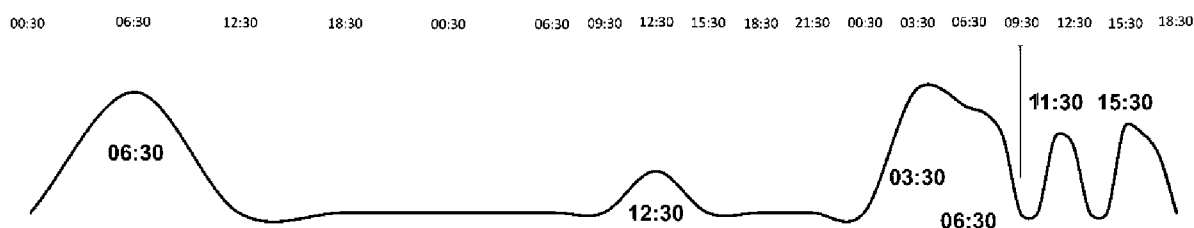
(R1)



(R2)



(R3)

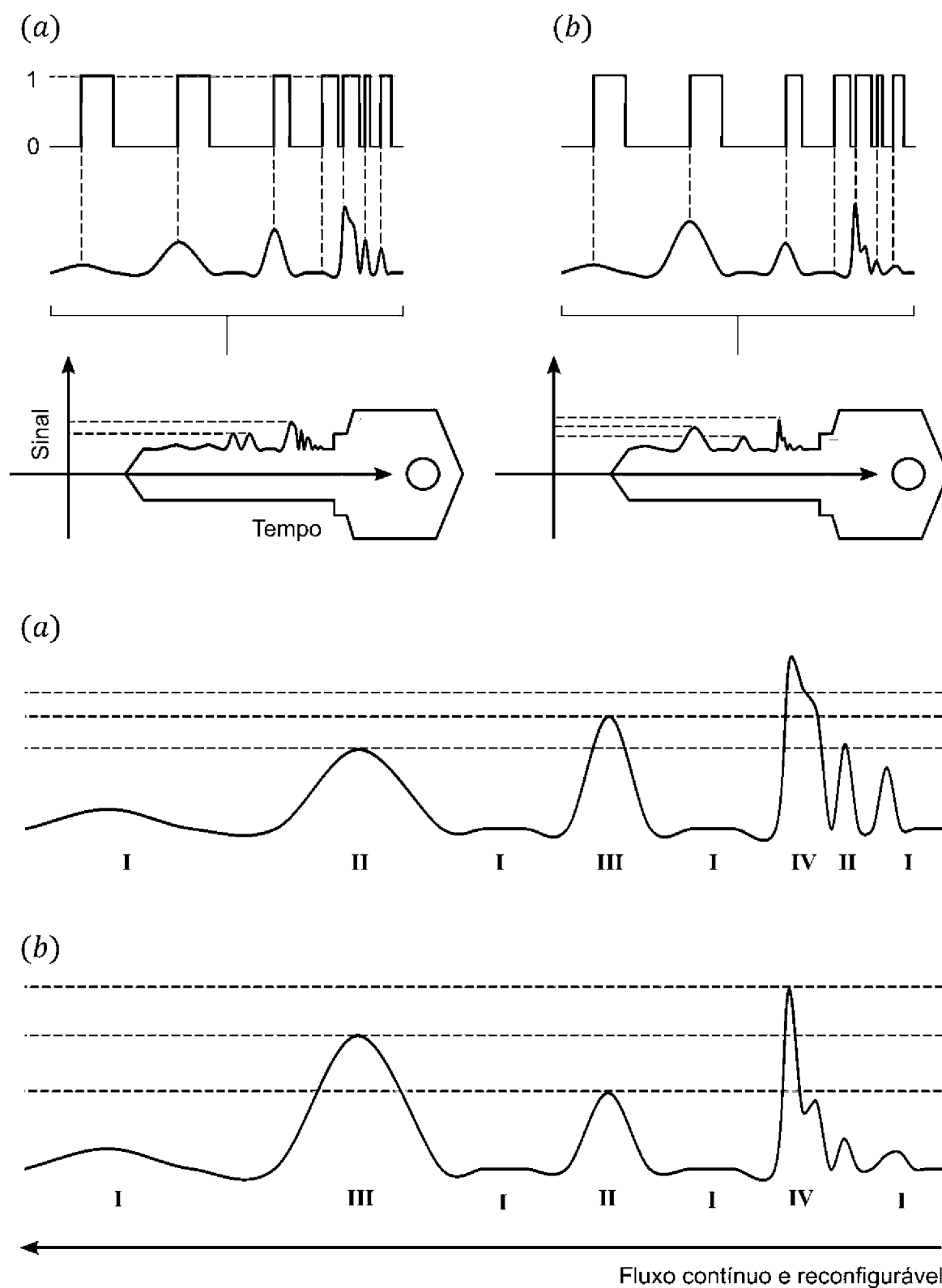


FONTE: O autor (2020).

R1, R2 e R3 = Repetições.

Outro fato curioso é que são constituídos estratos bem definidos para os sinais, os quais parecem ter certos padrões, observados em todas as plantas do experimento, tanto nas repetições que apresentaram hábitos diurnos, como as de hábito noturno. Quanto aos hábitos noturnos, não se encontrou explicações para o fenômeno; no entanto, certos peixes e crustáceos apresentam comportamentos guiados pelo efeito do eletromagnetismo produzido pela Lua (ANEXO 4).

FIGURA 27 – CHAVE MESTRA CONTÍNUA DE PORTA-ENXERTOS (R4 e R5) CITRUMELO SOB COPA DE LARANJEIRA VALÊNCIA PARA A ABSORÇÃO DE AMÔNIO



FONTE: O autor (2020).

a) Repetição 4; b) Repetição 5; I, II, III, IV correspondem à estados relativos às intensidades de requisição.

Tomando R4 de Citrumelo com copa de valência, observa-se nos sinais que existem padrões bem definidos. Admitindo que os potenciais de ação são mais lentos que os neurônios, e que no reino vegetal existem desde plantas minúsculas até gigantescas sequoias, acredita-se a estratificação pode indicar que o sinal mecânico produzido se trata de um sinal composto, onde cada segmento corresponde à uma requisição por parte de uma estrutura (módulos), otimizando o tempo de processamento entre as partes. Um dos mecanismos utilizados pela planta quando a atividade das raízes diminui é a remobilização, cujo processo recorre aos nutrientes como N, P e K, armazenados nos vacúolos (Marschner, 2012; Barth et al., 2018).

Em relação ao comportamento das plantas observado no estudo, é necessário compreender alguns tipos de aprendizagem, a “não associativa” e a “associativa”. A habituação e a sensibilização são os paradigmas mais comuns para o estudo da aprendizagem não associativa. Na habituação ocorre a diminuição na resposta a estímulos apresentados repetidamente. Mas, para que a redução seja considerada um processo de aprendizagem, deve-se descartar a adaptação sensorial e a fadiga motora. Na sensibilização, ocorre o aumento da frequência de uma resposta, podendo ser a curto ou a longo prazo. Quanto mais forte o estímulo, maior a sensibilização, enquanto a repetição tende a diminuir o efeito (Abramson e Chicas-Mosier, 2016).

No condicionamento clássico a aprendizagem é do tipo associativa. A *Mimosa pudica* é uma planta capaz de aprender com os estímulos recebidos. Toques leves nas folhas compostas podem causar o seu fechamento parcial e toques fortes o fechamento total. Aplicando uma série de toques leves e fortes, as folhas podem começar a fechar totalmente em resposta aos toques leves. A planta também se adapta a sua resposta de fechamento para que reabram as folhas após estímulos repetidos (Applewhite, 1972, Abramson e Chicas-Mosier, 2016).

Em ambientes complexos e em constante mudança, recursos alimentares são frequentemente escassos e desigualmente distribuídos no espaço e no tempo. Por isso, fontes de alta qualidade fazem com que plantas explorem melhor o ambiente, aumentando as suas chances de sobrevivência. O alinhamento do ciclo circadiano com os sinais ambientais externos é fundamental para a eficiência no processo de fotossíntese durante o dia, bem como a utilização ideal das reservas durante a noite. As plantas podem apresentar custo energético significativo na coleta de luz quando está desalinhado com o seu ritmo circadiano (Graf et al., 2010; Gagliano et al., 2016).

Embora não considerado inicialmente no projeto, o distanciamento reduzido entre as plantas, pode ter proporcionado um ambiente competitivo para a captura de luz, que aliado à oferta equilibrada de nutrientes em solução, pode ter desencadeado a variação na absorção de nutrientes em horários e intensidades diferentes (FIGURAS 18, 19, 27, 28 e ANEXO 3). Esse comportamento pode estar associado a uma aprendizagem associativa, em que estímulos recebidos durante todo o desenvolvimento da planta, da semente à muda, e ao tratamento recebido durante o experimento, permitindo às plantas adequarem o ritmo como administravam os recursos disponíveis.

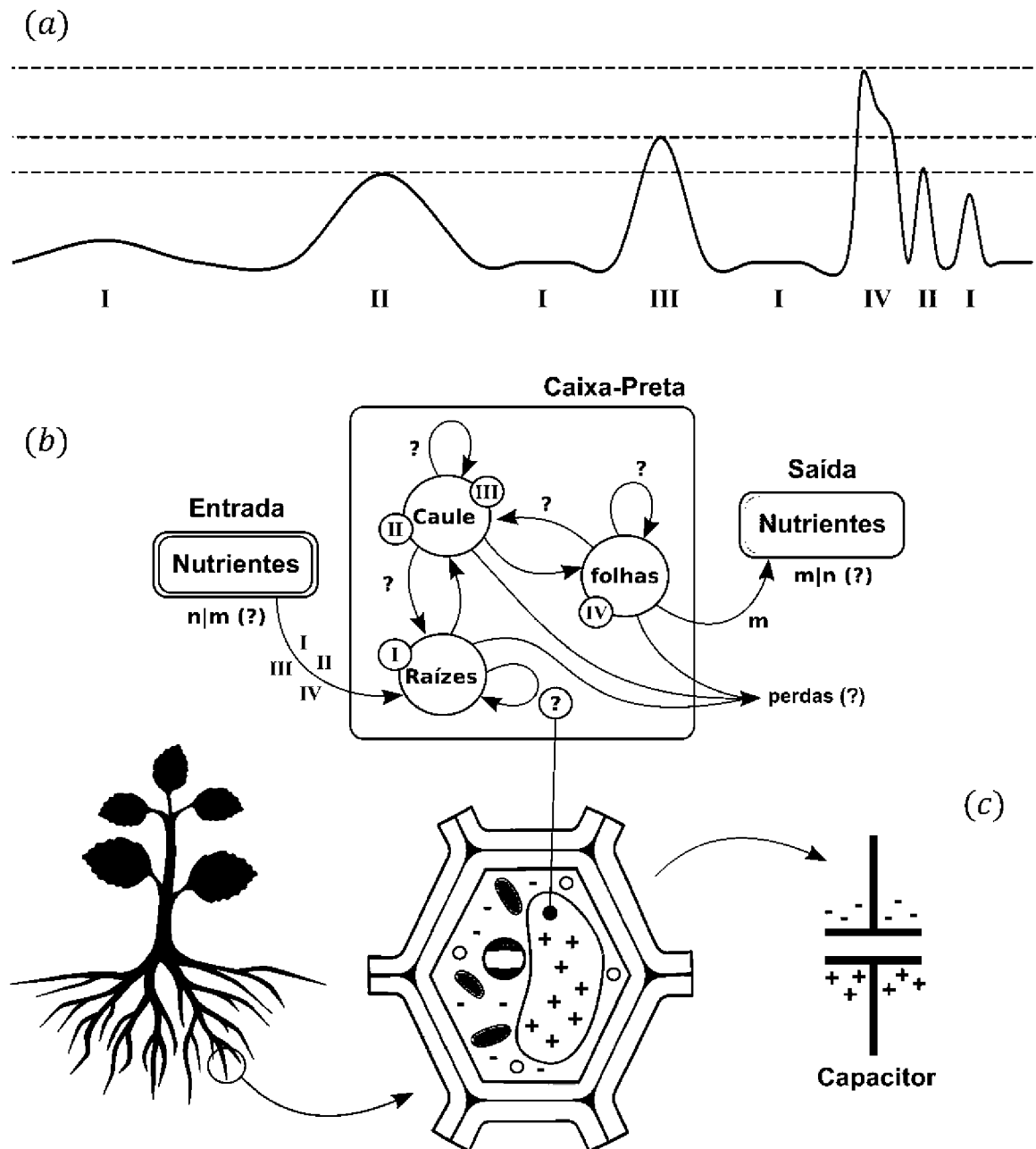
Considerando se tratar de um processo de aprendizagem, para que um sinal percorra por uma certa distância é necessário que a quantidade de energia produzida seja proporcional. As membranas plasmáticas das plantas possibilitam que as células, os tecidos e os órgãos transmitam sinais elétricos em curtas e longas distâncias (Volkov, 2006). Os potenciais de ação cumprem a lei do “tudo ou nada”, ou seja, propagam-se sem atenuação, mas sua geração é limitada por períodos refratários (Trebacz et al., 2006). Os períodos refratários ocorrem na comunicação elétrica de célula para célula e os sinais elétricos podem ser gerados em qualquer local do continuum simplástico (Fromm, 2006, Volkov e Shtessel, 2018).

Nas plantas, há grande quantidade e diversidade de polímeros e outras macromoléculas que são imóveis e eletricamente carregadas, tanto dentro quanto fora das células. Estas moléculas são geralmente rodeadas por uma fase aquosa contendo pequenos íons móveis que geram potencial elétrico, o que é conhecido como potencial Gibbs-Donnan. Na parede celular vegetal, as macromoléculas ricas em grupos carboxílicos, como a pectina, tendem a dissociar H^+ , tornando as paredes um sistema com carga negativa que atrai outros cátions, como o Ca^{2+} (Toledo et al., 2019).

Em eletrônica, quando se deseja retificar uma corrente ou abastecer eletricamente uma estrutura de um componente, faz-se o uso de capacitores. Os capacitores são elementos que armazenam cargas elétricas, oferecendo energia para manter o adequado funcionamento de um circuito. O vacúolo funciona de forma análoga. Tanto o capacitor, quanto o vacúolo armazenam íons internamente, oferecendo-os ao sistema sempre que requisitados. De certa forma, como os sinais estratificados do tipo I foram mais predominantes em todo o intervalo amostrado, é

possível que nesse período parte dos elementos absorvidos tenham sido armazenados nos vacúolos das raízes. Baseando-se nos estudos de sinais, são sugeridas rotas dentro da caixa-preta e possíveis elos que a estratificação pode gerar no sistema (Figura 28).

FIGURA 28 – POSSÍVEIS RELAÇÕES ENTRE OS ESTÍMULOS DETECTADOS COM AS ROTAS DENTRO DA CAIXA-PRETA, E ASSOCIAÇÃO DO VACÚOLO COM UM CAPACITOR



FONTE: O autor (2020).

a) Sinal emitido pela planta R4; b) Grafo com os três segmentos de análise da planta (*input*, *black box* e *output*); c) O vacúolo se comporta como um capacitor.

3.6. CONCLUSÕES

- i) As plantas apresentaram comportamentos distintos em relação à intensidade da absorção de nutrientes e ao horário em que eram mais ativas, apresentando tanto hábitos diurnos, como noturnos;
- ii) os sinais mecânicos são estratificados, havendo intensidades diferentes ao longo do intervalo;
- iii) a observação dos sinais relacionados ao influxo permite determinar os melhores horários e os intervalos para a medição dos parâmetros relacionados;
- iv) não foi possível determinar se o comportamento das plantas foi decorrente de um evento biologicamente programado, de um aprendizado associado ou de uma expressão de livre-arbítrio;
- v) é necessário avaliar o ciclo completo do processo de absorção;
- vi) a escolha dos tipos de equações de regressão para a determinação dos parâmetros cinéticos e do influxo devem ser realizados com cautela.

REFERÊNCIAS

- Abramson CI, Chicas-Mosier AM. Learning in Plants: Lessons from *Mimosa pudica*. *Frontiers in Psychology*, v. 7, n. 417, 2016.
- Applewhite PB. Behavioral plasticity in the sensitive plant, *Mimosa*. *Behavioral Biology*, v. 7, n. 1, p. 47-53, 1972.
- Baluška F, Mancuso S. Plant neurobiology: from stimulus perception to adaptive behavior of plants, via integrated chemical and electrical. *Plant Signaling & Behavior*, v. 4, n. 6, p. 475-476. 2009b.
- Baluska F, Mancuso S. Plants and animals: convergent evolution in action? In: *Plant-environment interactions*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 285-301, 2009c.
- Barth G, Francisco E, Suyama JT, Garcia F. Nutrient Uptake Illustrated for Modern, High-Yielding Soybean. *Continuing Series: Nutrient Decision Support for Soybean Systems - Part 2* Better Crops, v. 102, n. 1, p. 11-14, 2018.
- Claassen N, Barber S. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants. *Plant Physiol*, v. 54, p. 564–568, 1974.

Del Dottore ED, Mondini A, Sadeghi A, Mozzolai B. Swarming Behavior Emerging from the Uptake–Kinetics Feedback Control in a Plant-Root-Inspired Robot. *Applied Sciences*, v. 8, n. 47, p. 1-16, 2018.

Fromm J. Long-Distance Electrical Signaling and Physiological Functions in Higher Plants. In: Volkov AG. *Plant electrophysiology: theory and methods*. Verlag, Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.

Gagliano M, Vyazovskiy VV, Borbély AA, Grimonprez M, Depczynski M. Learning by Association in Plants. *Scientific Reports*, v. 6, n. 38427, 2016.

Garzón PC, Keijzer F. Cognition in plants. In: *Plant-environment interactions*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. p. 247-266.

Graf A, Schlereth A, Stitt M, Smith AM. Circadian control of carbohydrate availability for growth in *Arabidopsis* plants at night. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.107, p. 9458–9463, 2010.

Inostroza-Blancheteau C, Aquea F, Moraga F, Ibañez C, Rengel Z, Reyes-Díaz M. Genetic Engineering and Molecular Strategies for Nutrient Manipulation in Plants, in: NAEEM M, ANSARI AA, GILL SS. *Essential Plant Nutrients: Uptake, Use Efficiency, and Management*. Cham: Springer International Publishing, 2017, p. 405–441.

Marschner P. *Mineral nutrition of higher plants*. 3 ed. London: Academic Press; 2012.

Massa D, Mattson NS, Lieth HJ. Effects of saline root environment (NaCl) on nitrate and potassium uptake kinetics for rose plants: a Michaelis–Menten modelling approach. *Plant Soil*, v. 318, p. 101-115, 2009.

Ruiz H. Estimativa dos parâmetros cinéticos K_m e V_{max} por uma aproximação gráfico-matemática. *Ceres*, v. 32, n. 179, p.79–84, 1985.

Souza GM, Ferreira AS, Saraiva GFR, Toledo GRA. Plant “electrome” can be pushed toward a self-organized critical state by external cues: Evidences from a study with soybean seedlings subject to different environmental conditions. *Plant Signaling & Behavior*, v. 12, n. 3, p. 1-7. 2017.

Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. Artmed Editora; 2017.

Trebacz K, Dziubinska H, Krol E. Electrical Signals in Long-Distance Communication in Plants. In: Baluska F, Mancuso S, Volkmann D. *Communication in plantas. Neuronal aspects of plant life*. Berlin: Springer-Verlag, 2006.

Toledo GRA de, Parise AG, Simmi FZ, Costa AVL, Senko LGS, Debono MW, Souza GM. Plant electrome: the electrical dimension of plant life. *The Theoretical and Experimental Plant Physiology*, v. 31, p. 21-46, 2019.

Van Maarschalkerweerd, M., Husted, S. Recent developments in fast spectroscopy for plant mineral analysis. *Frontiers in Plant Science*, v.24, 2015.

Volkov AG, Shtessel YB. Electrical signal propagation within and between tomato plants. *Bioelectrochemistry*, v. 124, p. 195-205, 2018.

Volkov AG. *Plant electrophysiology: theory and methods*. Verlag, Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.

4. CAPÍTULO III: ESTUDO DO BALANÇO NUTRICIONAL E PROCEDIMENTOS ALTERNATIVOS PARA A DIAGNOSE EM PLANTAS.

4.1. RESUMO

Compreender como as plantas administram os nutrientes é um passo importante para que o manejo e fornecimento de insumos necessários sejam satisfatórios. Sabendo que plantas podem apresentar comportamentos distintos durante a absorção de nutrientes, métodos responsáveis pela análise nutricional devem apresentar a máxima precisão e aplicabilidade possível. Para satisfazer essa condição, os procedimentos adotados necessitam apresentar rigor metodológico e atender aspectos como a realização de estratégias de amostragem de tecido e de solo representativas para planta, o uso de modelos versáteis e que permitam ajustes finos diante de variáveis ambientais e experimentais. A avaliação do estado nutricional tem sido constantemente estudada, principalmente com base na análise de tecido vegetal, mas ainda há muitos desafios para serem contornados. Muitos fatores podem afetar o balanço nutricional das plantas, como as condições do solo, o clima, e aspectos ligados à própria planta. O uso de métodos e cálculos matemáticos para auxiliar os processos de diagnose podem apresentar eficiência reduzida quando submetidos às situações não planejadas. Todo modelo quando destinado para interpretação de dados, normalmente é desenvolvido inicialmente sob condições específicas e limitadas. Quando se deseja validar as informações produzidas, é importante que sejam expandidos os estudos para que sejam asseguradas a sua eficiência, a sua coerência, a sua estabilidade e que as informações representem adequadamente o estado nutricional das plantas. Por isso, o conhecimento avançado da cultura vegetal e a pesquisa de métodos com abordagem de múltiplos cenários, com condições ambientais distintas contribui para a melhoria de procedimentos altamente responsivos. Dessa forma, o objetivo deste capítulo foi aprimorar a norma CND (Diagnose da Composição Nutricional) para que ela fosse responsiva à diferentes condições de dados. Por meio da norma CND padrão e de procedimentos modificados, os quais apresentaram adaptações ou mudanças estruturais, foram estudadas a concordância, a eficácia e a acurácia na determinação dos índices de equilíbrio nutricional em 52 cenários distintos, contemplando diversos arranjos de nutrientes. Dentre os instrumentos de avaliação, foram utilizadas as matrizes de correlação, os índices de concordância por coeficiente de Kappa de Fleiss, os testes de qui-quadrado, e aprendizado de máquina com o uso de métodos de validação cruzada k-fold e de regressão logística. Para todos os procedimentos utilizados foi avaliado o impacto nos resultados diante de dados aberrantes (*outliers*). Como resultado dos testes de calibragem, verificou-se que a não remoção dos *outliers* permitiu que os índices fossem mais estáveis, apresentando valores de Kappa mais altos em todos os cenários testados. Isso ocorreu pelo fato de os dados não variarem quanto o número de amostras nos cenários avaliados. Quanto à acurácia determinada por validação cruzada, os procedimentos que determinaram pelo Ponto Limite de Convergência (PLC) foram mais estáveis e apresentaram maior valor de acerto na predição pelo aprendizado de máquina. Constatou-se que, cada nutriente apresenta um peso específico na norma, devendo serem adotados mecanismos que permitam

ajustar o ponto de equilíbrio real entre os índices, caso bancos de dados não apresentem as mesmas condições consideradas pela norma padrão.

Palavras-chave: Fisiologia vegetal; Nutrição mineral; Diagnose da Composição Nutricional; Aprendizado de máquina; Amostra foliar.

4.2. ABSTRACT

Understanding how plants manage nutrients is an important step for the management and supply of necessary inputs to be satisfactory. Knowing that plants can show different behaviors during nutrient absorption, methods responsible for nutritional analysis must be as accurate and applicable as possible. To satisfy this condition, the adopted procedures need to present methodological rigor and attend to aspects such as the realization of representative tissue and soil sampling strategies for the plant, the use of versatile models that allow fine adjustments in face of environmental and experimental variables. The assessment of nutritional status has been constantly studied, mainly based on the analysis of plant tissue, but there are still many challenges to be overcome. Many factors can affect the nutritional balance of plants, such as soil conditions, climate, and aspects related to the plant itself. The use of mathematical methods and calculations to assist the diagnosis processes can present reduced efficiency when submitted to unplanned situations. Every model, when intended for data interpretation, is usually initially developed under specific and limited conditions. When you want to validate the information produced, it is important to expand the studies to ensure their efficiency, consistency, stability and that the information adequately represents the nutritional status of the plants. Therefore, the advanced knowledge of plant culture and the research of methods with a multiple scenario approach, with different environmental conditions, contributes to the improvement of highly responsive procedures. Thus, the objective of this chapter was to improve the CND (Compositional Nutrient Diagnosis) standard so that it would be responsive to different data conditions. Employed the standard CND norm and modified procedures, which presented adaptations or structural changes, the agreement, efficacy, and accuracy in the determination of nutritional balance indices in 52 different scenarios were studied, contemplating different nutrient arrangements. Among the assessment instruments, we used correlation matrices, Fleiss Kappa coefficient agreement indices, chi-square tests, and machine learning with the use of k-fold cross validation and logistic regression methods. For all procedures used, the impact on the results in the face of aberrant data (outliers) was evaluated. As a result of the calibration tests, it was found that not removing the outliers allowed the indices to be more stable, with higher Kappa values in all tested scenarios. This happened because the data does not vary as the number of samples in the evaluated scenarios. As for the accuracy determined by cross-validation, the procedures determined by the Convergence Endpoints (CE) were more stable and had a higher correctness value in the prediction by machine learning. It was found that each nutrient has a specific weight in the standard, and mechanisms should be adopted to adjust the real equilibrium point between the indices, if databases do not present the same conditions considered by the standard.

Keywords: Plant physiology; Mineral nutrition; Soy; Compositional nutrient diagnosis; Machine learning; Leaf sample.

4.3. INTRODUÇÃO

A análise de solo é um procedimento bastante utilizado na agricultura, mas é necessário empregá-la adequadamente e de forma metódica, devendo-se conhecer os fatores que a limitam. Essas medidas são fundamentais para que os processos rotineiros, como o planejamento da calagem e da adubação sejam mais adequados, e que possibilitem resultados favoráveis para o aumento da produtividade das culturas, com o melhor custo-benefício para o produtor (Rozane et al., 2011).

Em concomitância às análises de solo, as diagnoses foliares demonstram ser soluções efetivas para a determinação das condições do estado nutricional das plantas, bem como, para assegurar e orientar os planos para a adubação das culturas. Após a coleta das folhas e sua análise, torna-se possível comparar os teores de nutrientes das amostras de folhas com os valores pré-estabelecidos em periódicos ou tabelas (Veloso et al., 2020).

A avaliação de estruturas de plantas é de extrema importância para a saudabilidade e a produtividade dos plantios. Os métodos de análise foliar são capazes de assegurar, para uma mesma cultivar, a excelência dos resultados. Alguns exemplos de métodos utilizados podem ser citados: desde o uso de técnicas de diafanização (De Menezes Filho, 2020), modelagens matemáticas (Guimarães et al., 2019; Maia et al., 2020; Hara et al., 2019; Bezerra et al., 2020) até a CND - Diagnose da Composição Nutricional (Parent e Dafir 1992; Silva et al., 2017).

Na busca pela interpretação mais apropriada dos resultados de análises foliares, muitas ações têm sido direcionadas para melhorar os procedimentos de diagnose e de técnicas de manejo para se elevar cada vez mais a produtividade das culturas. Entretanto, muitos fatores são apontados como responsáveis pelas variações no conteúdo de nutrientes, com destaque para as condições do solo e do clima, bem como de aspectos ligados à cultura, como idade (Rozane e Natale, 2014), disponibilidade de água (Rozane et al., 2009a), cultivar, tipo de folha, tempo de cultivo (Rozane et al., 2009b), entre outros.

A análise de tecido vegetal é um critério bastante útil para o manejo de nutrientes em frutíferas (Parent 2011), mas também pode ser utilizada em oleaginosas, como a soja. No entanto, para que a interpretação do estado nutricional de uma cultura seja mais representativa para a região, necessita-se de um

conhecimento mais amplo dos locais nos quais serão realizadas as amostragens. A análise foliar se justifica por ser de baixo custo e eficiente em determinar o estado nutricional da planta (Gott et al., 2014).

Quando os nutrientes se relacionam nos tecidos vegetais, seus teores e proporções mudam relativamente entre si, devido às interações sinérgicas ou antagônicas, que produzem ressonância na composição do tecido (Parent, 2011). Essa situação pode ser detectada se respeitados os princípios básicos da diagnose nutricional, que envolvem a adequada amostragem de folhas de forma a representar com a máxima precisão a área em estudo. Um dos requisitos essenciais para a efetividade da diagnose é a coleta de folhas em um número mínimo de plantas. Para isso, recorre-se à análise estatística, cujos métodos possibilitam a indicação do número suficiente de plantas para diminuir os erros amostrais e a variabilidade dos resultados à um valor aceitável, reduzindo o número de graus de liberdade que exprimem o acaso (Rozane et al., 2007).

O método CND, desenvolvido por Parent e Dafir (1992) permite a análise dos dados na esfera multivariada, onde as relações entre o teor de um determinado nutriente e a média geométrica dos teores dos demais componentes da matéria seca são tratados como forma de expressão do equilíbrio nutricional. Nos cálculos também são previstos os elementos não determinados analiticamente no tecido vegetal, que são denominados de elementos de enchimento. Dessa forma, todo o conteúdo da matéria seca é avaliado pela norma CND, seja de forma direta ou indireta.

Com a execução dos métodos de análise, a acuidade perante os erros de medição ou procedimentos deve ser levada em consideração para garantir a qualificação dos dados e a precisão dos diagnósticos. Além disso, as padronizações das metodologias e o seguimento destas são cruciais para a uniformidade dos dados nas análises e na pós-análise (De Almeida Menezes et al., 2020; Holanda et al., 2019; Steckert e Da Silva, 2019).

Os erros de medição podem ser classificados em 3 principais agrupamentos: sistemático, aleatório e grosseiro (comumente relacionados às leituras erradas, operações inadequadas ou danos ao sistema de medição) (Cabral, 2004; Tabacniks et al., 2003). Loken e Gelman (2017) reforçam que, associados aos erros de medição, variáveis não controladas na pesquisa científica podem propiciar reações em cadeia, não só interferindo nos resultados, mas também nas possíveis replicações de metodologias e procedimentos estabelecidos em futuros estudos.

Admitindo que plantas apresentam comportamentos distintos quanto à intensidade e horários no processo de absorção, e considerando as premissas relacionadas à forma como se diagnostica nutricionalmente uma cultura, este capítulo objetivou estabelecer procedimentos para avaliar o estado nutricional de plantas, sob diferentes cenários, nos quais os arranjos de nutrientes e os procedimentos metodológicos aplicados ao banco de dados são variados.

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado utilizando a cultura da soja (*Glycine max*), provenientes de duas propriedades rurais localizadas, aproximadamente, a 140 km de distância dos municípios de Guarapuava, PR e Palmital, PR durante a safra de verão 2015/2016. O clima da região de Guarapuava segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb, apresentando temperatura média dos meses mais frios abaixo de 18 °C, e a dos meses mais quentes abaixo de 22 °C, sem estação seca definida.

A precipitação pluvial média é de 1.938 mm com frequência de chuva semanal na primavera-verão (Fontoura et al., 2010). Em Palmital, o clima é classificado como Cfa, subtropical, possuindo respectivamente, temperatura média do mês mais frio e quente, abaixo de 18 °C e acima de 22 °C, com chuvas no verão e sem estação seca definida (IAPAR, 2015).

Foram realizadas amostragens de folhas em 60 lavouras comerciais de soja cultivadas em sistema de plantio direto, sendo 15 lavouras em Palmital e 45 em Guarapuava que constituíram o banco de dados do Software CND - Soja. Em cada lavoura foram coletadas folhas de 30 plantas (amostra simples) do terceiro trifólio com pecíolo, na região do ápice para a base na haste principal no estágio de desenvolvimento R2 (Costa & Marquezan, 1982) as quais constituíram a amostra composta que foi enviada imediatamente ao laboratório para análise.

As amostras de folha foram colocadas em sacos de papel, em estufa com ventilação forçada para secagem, à 65 °C, durante 72 h. Posteriormente, o material seco foi triturado em moinho de facas, do tipo Willey (malha de 2 mm), para a determinação dos teores de nutrientes no tecido foliar.

Os teores de nitrogênio (N) e enxofre (S) do material vegetal foram determinados por combustão seca em analisador elementar CNHS (Modelo VARIO

EL III®). Fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram extraídos por digestão nitroperclórica, conforme descrito em Martins & Reissmann (2007), sendo determinados por espectrofotometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (Varian 720-ES), e o Boro (B) por espectrofotometria com azometina-H, segundo Silva (2009). Os resultados das análises laboratoriais para todos os talhões foram comparados por meio do uso de tabelas de referência, para folhas no estágio R2 (TABELA 4).

TABELA 4 - TEORES DE NUTRIENTES ⁽¹⁾ PARA A INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE DE FOLHAS DE SOJA, DO TERCEIRO TRIFÓLIO, À PARTIR DO ÁPICE DO RAMO VEGETATIVO E NO ESTÁDIO R2

Nutriente	Trifólio com pecíolo			Trifólio sem pecíolo		
	Baixo	Suficiente	Alto	baixo	Suficiente	Alto
----- g kg ⁻¹ -----						
N	< 36,8	36,8 a 46,9	46,9 <	< 50,6	50,6 a 62,4	62,4 <
P	< 2,3	2,3 a 3,4	3,4 <	< 2,8	2,8 a 3,9	3,9 <
K	< 17,3	17,3 a 25,7	25,7 <	< 14,4	14,4 a 20,3	20,3 <
Ca	< 6,8	6,8 a 11,8	11,8 <	< 6,2	6,2 a 11,6	11,6 <
Mg	< 2,9	2,9 a 4,7	4,7 <	< 3,0	3,0 a 4,9	4,9 <
S	< 2,1	2,0 a 3,0	3,0 <	< 2,4	2,4 a 3,3	3,3 <
----- mg kg ⁻¹ -----						
Mn	< 28	28 a 75	75 <	< 38	38 a 97	97 <
Cu	< 6	6 a 11	11 <	< 7	7 a 12	12 <
Zn	< 31	31 a 58	58 <	< 41	41 a 78	78 <
Fe	< 59	59 a 120	120 <	< 77	77 a 155	155 <
B	< 33	33 a 14	50 <	< 37	37 a 56	56 <

FONTE: Kurihara et al. (2008).

(1) Faixas obtidas em folhas de soja coletadas nos estados de MS e MT. Para o mesmo estágio, não foram encontradas tabelas referentes ao estado do Paraná.

4.4.1. Diagnose da Composição Nutricional (CND)

A metodologia CND, foi desenvolvida por Parent e Dafir (1992) e se apresenta como uma das mais recentes técnicas analíticas empregadas para a interpretação da composição nutricional de um tecido vegetal. Por ser baseada nas relações

multivariadas entre os nutrientes e por considerar os elementos não determinados pela análise química das folhas, a avaliação do equilíbrio nutricional de uma cultura acaba sendo integrada.

Segundo Parent e Dafir (1992), a composição do tecido vegetal forma um arranjo dimensional de nutrientes (d), isto é, representado por $d + 1$ proporções de nutrientes, constituindo um *simplex* (conjunto de teores nutricionais e o respectivo complemento a 100 %), representado por S^d , no qual são incluídos nutrientes d e um valor de enchimento definido (EQUAÇÃO 23):

$$S^d = \left\{ \begin{array}{l} N > 0; P > 0; K > 0; Ca > 0; [...] Fe > 0; Mn > 0; Zn > 0 \\ N + P + K + Ca + [...] + Fe + Mn + Zn + Rd = 100 \% \end{array} \right\} \quad (23)$$

O número 100 representa o valor total de matéria seca (%); N, P, K, [...] (X_i) são as proporções de nutrientes (%) e Rd é o valor de enchimento somado às proporções de nutrientes para a obtenção de 100 % (10^6 mg), sendo o cálculo realizado pela equação 24 (Khiari et al., 2001c; Parent et al., 2009):

$$Rd = 10^6 \text{ mg} - \sum_{i=1}^d X_i \quad (24)$$

As proporções de nutrientes tornam-se invariantes de escala depois de serem divididos pela média geométrica (G) do $d + 1$ componentes, incluindo Rd (Aitchison, 1982; Parent et al., 2009) (EQUAÇÃO 25):

$$G = \left(\prod_{i=1}^d X_i \right)^{\frac{1}{(d+1)}} = (N \times P \times K \times [...] \times Rd)^{\frac{1}{(d+1)}} \quad (25)$$

As equações logarítmicas naturais ($\ln$), ou razões log centradas dos nutrientes (*clr* ou *centered logratio*), são estabelecidas conforme a Equação 26:

$$clr_{\text{nutriente}} = V_N = \ln \frac{N}{G}; V_P = \ln \frac{P}{G}; V_K = \ln \frac{K}{G}; [...] ; V_{Rd} = \ln \frac{Rd}{G} \quad (26)$$

As variáveis multinutrientes ($V_{nutriente}$) consistem no logaritmo neperiano (ln) do quociente entre a concentração de cada nutriente (mg kg^{-1}) e a média geométrica das concentrações dos constituintes na massa da matéria seca (G). Por definição (Khiari et al., 2001c), a soma dos valores das razões log centradas das variáveis nutrientes, incluindo o Rd , deve ser igual a zero (EQUAÇÃO 27):

$$V_N + V_P + V_K + V_{Ca} + V_{Mg} + [...] + V_{Rd} = 0 \quad (27)$$

Os índices CND são calculados pela diferença entre as variáveis multinutrientes das amostras avaliadas e a média da população de referência ($\overline{V_{nutriente}}$), dividida pelo desvio-padrão ($\sigma_{nutriente}$) desta variável na população de referência (alta produtividade):

$$I_N = \frac{(V_N - \overline{V_N})}{\sigma_N}; I_P = \frac{(V_P - \overline{V_P})}{\sigma_P}; I_K = \frac{(V_K - \overline{V_K})}{\sigma_K}; [...] I_{Rd} = \frac{(V_{Rd} - \overline{V_{Rd}})}{\sigma_{Rd}} \quad (28)$$

Em que: $I_N, I_P, I_K, [...], I_{Rd}$ são índices de balanço dos nutrientes e do enchimento para determinar o CND. A independência entre os dados é garantida pela transformação logarítmica centrada (Aitchison, 1982).

Os índices de balanço dos nutrientes são utilizados para determinar o índice geral de equilíbrio ($CND-r^2$) (EQUAÇÃO 29).

$$CND - r^2 = I_N^2 + I_P^2 + I_K^2 + [...] + I_{Rd}^2 \quad (29)$$

Cada amostra caracteriza-se por seu raio, r , calculado a partir dos índices de nutrientes CND. A soma de quadrados independentes $d + 1$ com variáveis normais produz uma nova variável com distribuição qui-quadrado (χ^2) com $d + 1$ graus de liberdade (Ross, 1987). Os índices CND são independentes e o valor $CND-r^2$ deve ter a distribuição χ^2 .

A função de distribuição do χ^2 fornece uma vantagem para o CND sobre o DRIS, como um modelo de sustentação genérico para bases de dados pequenas. Como definido pelas equações 9 e 10, quanto mais próximo de zero os índices de CND, e por consequência o $CND-r^2$ ou os valores de χ^2 , mais elevada a probabilidade de se obter rendimento elevado (Khiari et al., 2001a).

A Distância de Mahalanobis (D^2) é calculada pela equação 11. COV é a matriz de covariância inversa dos valores de clr para todos os nutrientes, e T é a indicação de que a matriz deve ser transposta (Parent, 2011). O teste de χ^2 foi calculado com base na distância D^2 , sendo excluídas as amostras cujo valor foi inferior a 1 %.

$$D^2 = \sum_{i=1}^d (clr_i - \overline{clr}_i)^T COV^{-1} (clr_i - \overline{clr}_i) \quad (30)$$

Organizando a produtividade do conjunto amostral de maneira decrescente, foi estabelecida a função cúbica pela relação entre a produtividade ($t\ ha^{-1}$) do conjunto amostral e a variância acumulada (função cumulativa) dos valores de D^2 , em que a determinação da derivada segunda (ponto de inflexão) permitiu separar as subpopulações de baixa e alta produtividade (Khiari et al., 2001b).

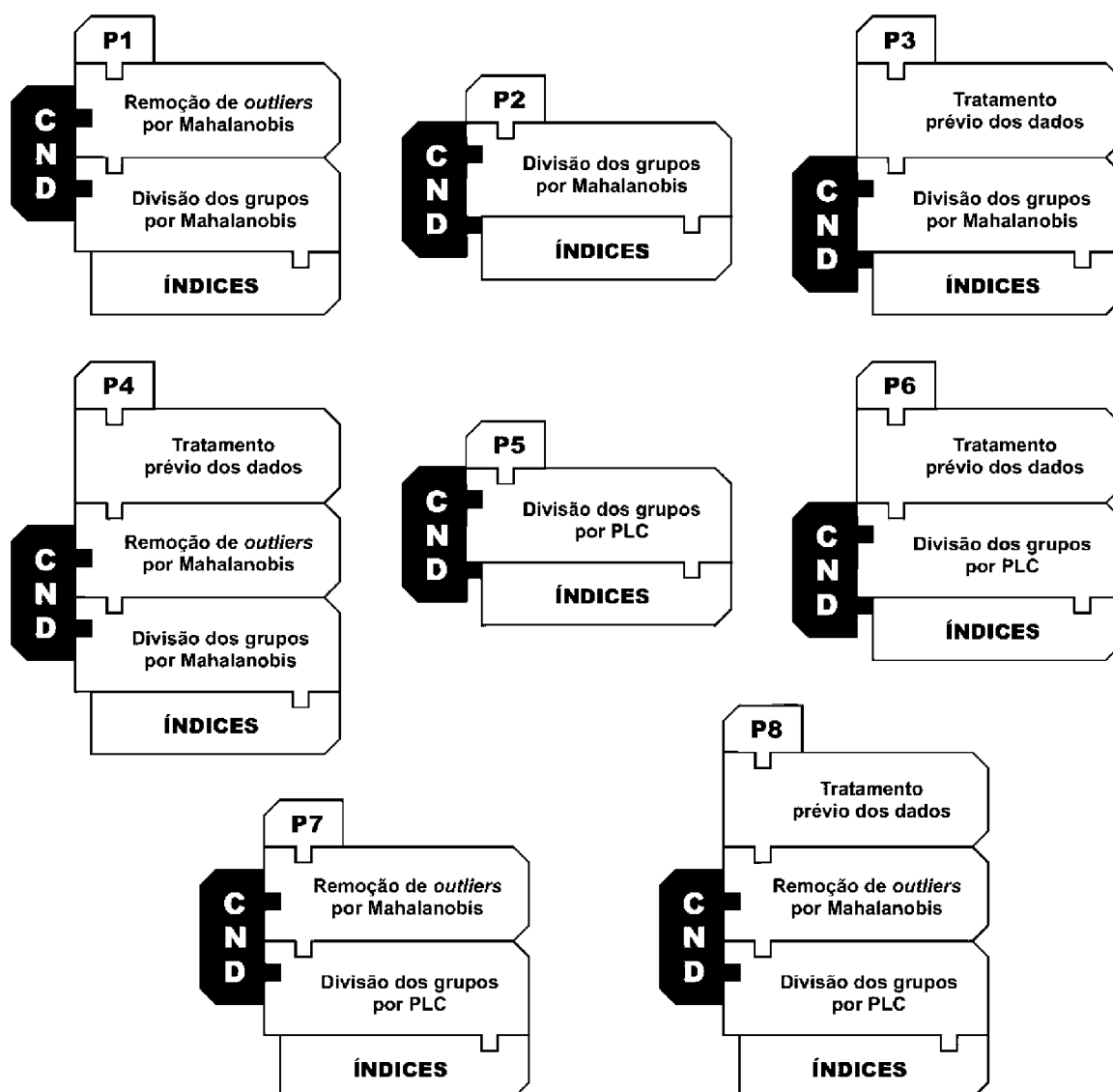
4.4.2. Avaliação da concordância e da eficácia da norma CND para múltiplos cenários

Os dados coletados das amostras foliares, de todos os talhões, foram submetidos à norma CND padrão, a três procedimentos adaptados e quatro modificados. Cada método foi aplicado em arranjos (d) distintos, variando de 11 a 5 nutrientes por conjunto, sendo o arranjo inicial, com 11 nutrientes, composto por N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Zn, Fe e B.

Pela norma padrão, a divisão dos talhões em grupos de alta e baixa produtividade, bem como a exclusão de *outliers*, são realizadas indiretamente pelo método da distância de Mahalanobis. Os procedimentos adaptados P2, P3 e P4, a divisão dos talhões foram semelhantes à norma padrão, mas variaram conforme a remoção dos *outliers* e o tratamento inicial do banco de dados.

Nos procedimentos modificados (P5 a P8), as divisões dos talhões em alta e baixa produtividade foram realizadas pelo método do ponto limite de convergência (PLC). As diferenças entre os procedimentos consistiram na combinação entre a remoção de *outliers* pela distância de Mahalanobis (indiretamente) e o tratamento prévio do banco de dados. A organização das etapas de todos os procedimentos estudados, podem ser observados na Figura 29.

FIGURA 29 –PROCEDIMENTOS (P) UTILIZADOS PARA A AVALIAÇÃO DA NORMA CND



FONTE: O autor (2020).

PLC = Ponto limite de convergência.

Como a norma CND não é totalmente automatizada, não foi possível realizar todas as 1486 combinações possíveis (sem repetições) para os 11 elementos presentes nas amostras. Para observar todas as combinações possíveis para os 8 métodos, seriam necessários 11888 testes. Objetivando reduzir o número de testes, optou-se por suprimir o elemento com o maior coeficiente de variação à cada redução de arranjo. Assim, a quantidade (q) de nutrientes possíveis (n) para cada arranjo foi de $q = n - 1$ e o seu tamanho foi de $d = n - 2$. Dessa forma, cada método foi aplicado

em 52 cenários parametrizados, totalizando 416 testes. Essa quantidade de testes corresponde a 3,5 % de todas as combinações possíveis.

Na primeira adaptação (P2) dos procedimentos preconizados pela norma CND, não houve remoção de dados aberrantes, ou *outliers*. Na segunda adaptação (P3), também não foram removidos os *outliers*, mas o banco de dados recebeu um pré-tratamento estatístico dos teores dos nutrientes (T'_n), onde valores receberam uma suavização para minimizar a alta variabilidade¹⁴ dos dados, por um leve processo de transformação, sendo subtraído ou adicionado¹⁵ de cada elemento, uma alíquota de sua massa, com base na razão entre a diferença do teor com a sua média do meu banco de dados ($\overline{T}_n$), pelo seu desvio padrão (σ_{T_N}) (EQUAÇÃO 31).

$$T'_n = T_n - \left(\frac{T_n - \overline{T}_n}{\sigma_{T_N}} \right) \quad (31)$$

A terceira adaptação (P4), teve a remoção dos *outliers* e o pré-tratamento do banco de dados. A intenção desse mecanismo é reduzir o coeficiente de variação dos teores de nutrientes das amostras, uma vez que pode ser causada por diversos fatores, desde um erro de paralaxe, até problemas na coleta das amostras, e a natureza do problema nem sempre pode ser determinada.

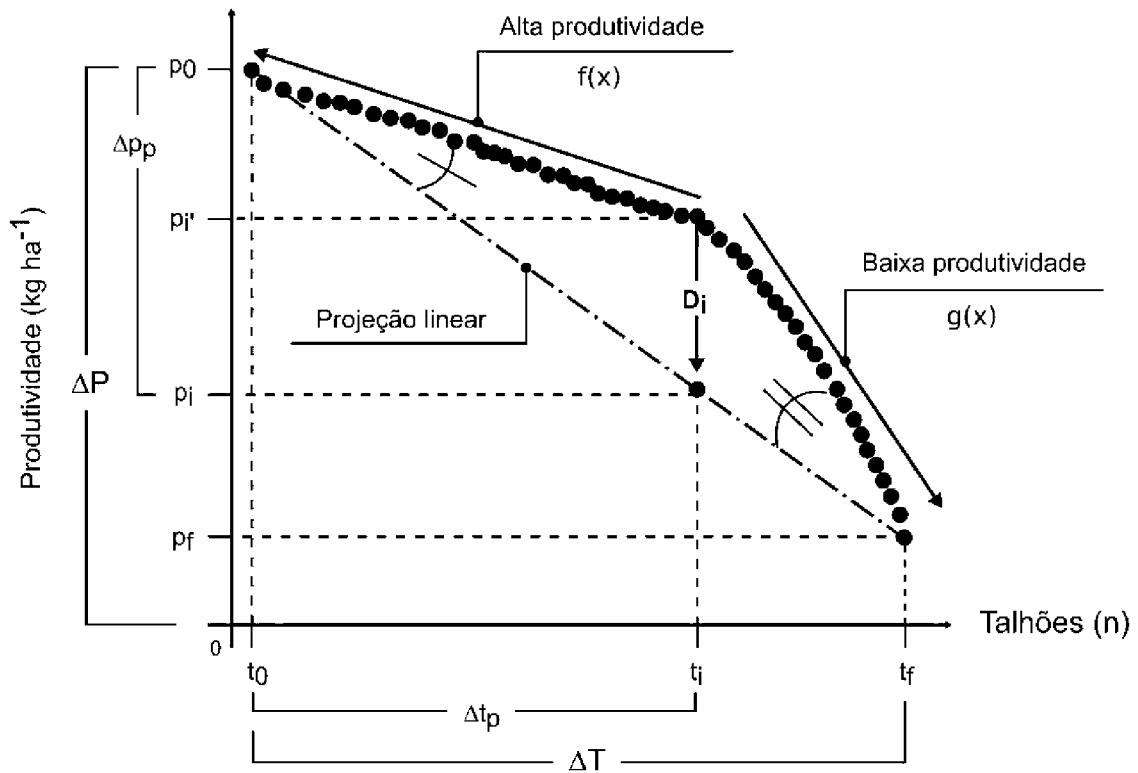
Na primeira modificação da norma CND (P5), somente houve a divisão dos talhões pelo método PLC. Esse método também foi utilizado no capítulo II desta tese, e seu processo consiste em determinar o ponto em que o conjunto de dados converge, ou seja, quando a distribuição desses dados segue o mesmo sentido, direção e coeficiente de inclinação (vetor)¹⁶. Após o ponto limite, seguem os dados do outro grupo, que são divergentes em relação ao primeiro grupo, mas convergentes em relação ao seu conjunto (FIGURA 30 e EQUAÇÃO 32). Para o uso do método, os dados necessitam estar organizados em ordem crescente ou decrescente.

¹⁴ Altas variabilidades podem ser causados por erros amostrais ou a presença de *outliers*. Essa condição pode mascarar e até comprometer os resultados obtidos em modelos matemáticos, como a própria norma CND, causando erro na interpretação da situação avaliada.

¹⁵ Como o resultado da alíquota pode dar um valor negativo, o valor inicial do teor do nutriente acabará recebendo um incremento no teor.

¹⁶ Situações particulares necessitam de uma avaliação mais aprofundada. Quando o coeficiente de determinação (R^2) é baixo e/ou a equação que representa o vetor não é significativa, é possível que um conjunto apresente, pelo menos, mais de um ponto limite de convergência. Nesses casos é necessário o estudo da distribuição dos dados por particionamento, que pode ser realizado reaplicando o método de PLC nas divisões obtidas pela primeira operação.

FIGURA 30 – USO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA (PLC) PARA A SEPARAÇÃO DOS TALHÕES EM GRUPOS DE ALTA E BAIXA PRODUTIVIDADE



FONTE: O autor (2020).

p_0 = Produtividade inicial; p_i = produtividade no instante i ; p_f = produtividade final; $p_{i'}$ = projeção da produtividade no instante i ; $p_{f'}$ = projeção na produtividade final; t_0 = talhão inicial; t_i = talhão no instante i ; t_f = último talhão; Δp_p e Δt_p = variação da produtividade e do talhão no intervalo avaliado (i); D_i = distância (desvio) da produtividade em relação a projeção.

$$D \Big|_{i=1}^n = \left| \frac{\cos \left(\frac{t_f - t_0}{\sqrt{(t_f - t_0)^2 + (p_0 - p_f)^2}} \right) \cdot \left\{ (t_f - t_i) - tg \left\{ 90 - \left| \cos^{-1} \left(\frac{t_f - t_0}{\sqrt{(t_f - t_0)^2 + (p_0 - p_f)^2}} \right) \right| \right\} \cdot (p_i - p_0) \right\}}{\left(\frac{t_f - t_0}{\sqrt{(t_f - t_0)^2 + (p_0 - p_f)^2}} \right)} \right| \quad (32)$$

▮ Onde o valor de PLC corresponde ao D_i com o maior desvio em relação a projeção linear dos dados no intervalo analisado ($D_{máx}$). n = número de talhões amostrados.

Na segunda modificação da norma CND (P6), houve o tratamento prévio dos dados e, na terceira (P7), o processo de remoção de *outliers* foi semelhante ao da norma padrão (P1) e das formas adaptadas (P2 a P4). A última modificação (P8) foi a mais completa, recebendo tratamento prévio dos dados e remoção dos *outliers*.

Para a análise de concordância, foram realizados o teste Kappa de Fleiss. Também conhecido por coeficiente de Kappa (k), a análise foi proposta por Jacob Cohen em 1960, para mensurar o grau de concordância entre proporções derivadas de amostras dependentes (Fleiss, 1981). O cálculo do coeficiente é determinado pelo número de respostas semelhantes, com base na proporção observada (p_o) e na proporção esperada (p_e) (EQUAÇÃO 33) e os valores de concordâncias obtidos podem ser interpretados pela Tabela 5.

$$k = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e} \Rightarrow \begin{cases} p_o = \frac{1}{Nn(n-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k n_{ij}(n_{ij} - 1) \\ p_e = \sum_{j=1}^k \left(\frac{1}{Nn} \sum_{i=1}^N n_{ij} \right)^2 \end{cases} \quad (33)$$

Em que: n_{ij} = valor na linha i e coluna j ; k = número de categorias; N = número total de amostras; n = número total de julgamentos.

TABELA 5 – ESCALA DE CONCORDÂNCIA KAPPA

Kappa	Concordância
< 0,00	Péssima
0,00 < k ≤ 0,20	Ruim
0,20 < k ≤ 0,40	Razoável
0,40 < k ≤ 0,60	Bom
0,60 < k ≤ 0,80	Muito boa
0,80 < k ≤ 1,00	Excelente

FONTE: Fleiss (1981)

A análise de concordância representa a capacidade de meios de avaliação apresentarem resultados idênticos para um mesmo objeto de estudo. Todavia, para

que sejam favorecidas as coletas, as análises e a interpretação dos dados, o modelo analítico deve ser realizado antes da elaboração do projeto (Miot, 2016). Por isso, o método serve como calibragem, auxiliando na verificação se a norma CND padrão e as formas adaptadas e modificadas são aptas para apresentar índices concordantes para os múltiplos arranjos de nutrientes aos quais foram submetidos.

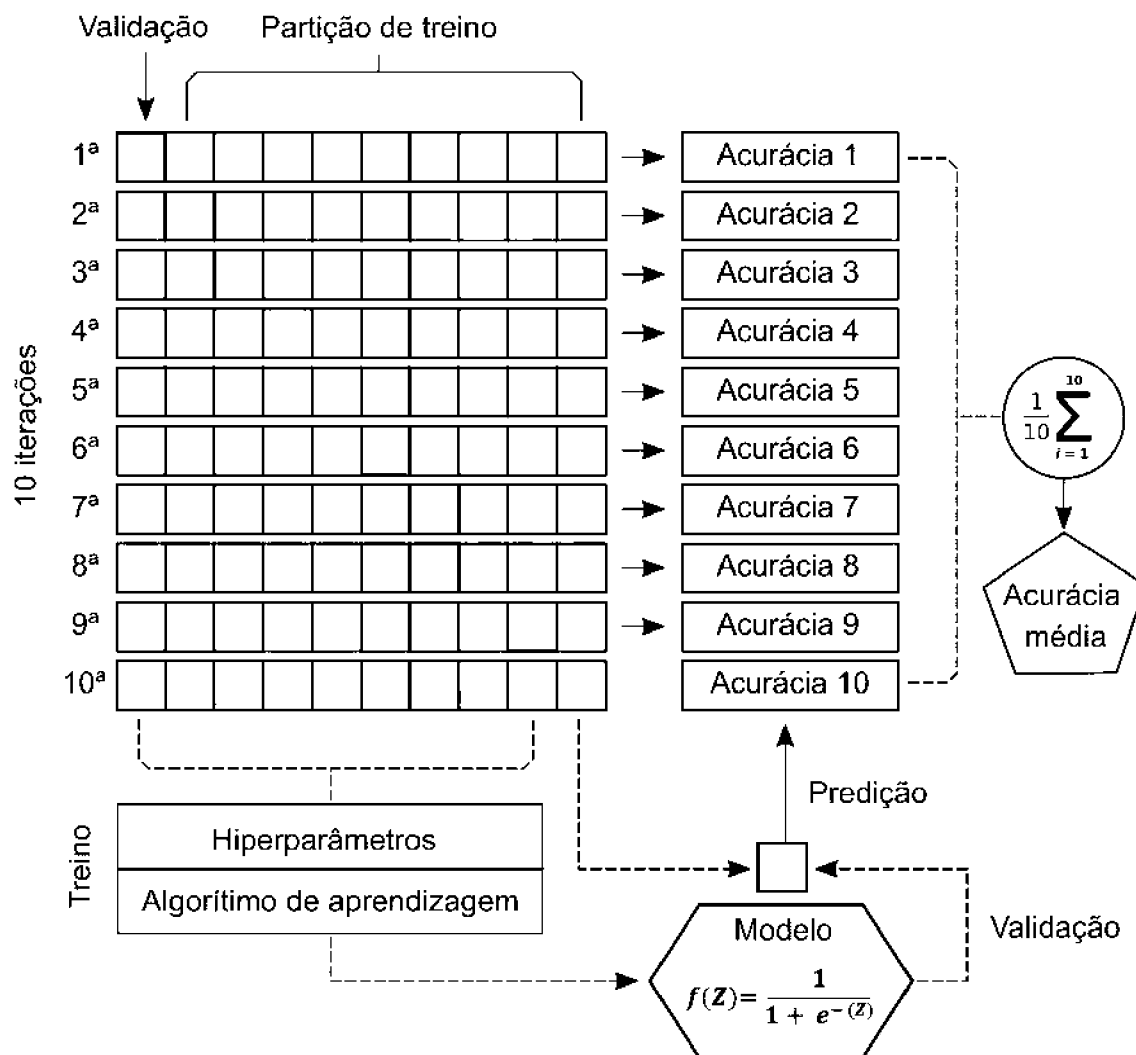
As informações qualitativas observadas nos 52 cenários foram testadas em todos os procedimentos, utilizando o teste de qui-quadrado (EQUAÇÃO 34). O método considera a relação das frequências esperadas (f_e) e observadas (f_o) de cada evento. A frequência esperada para cada nutriente foi de 30 ocorrências para teores em excesso ou em falta. A amplitude do valor do índice de cada nutriente não foi considerada, pois o índice CND fornece valores adimensionais.

$$\chi^2 = \sum \chi^{2'} = \sum_{i=1}^n \frac{(f_{o_i} - f_{e_i})^2}{f_{o_i}} \quad (34)$$

4.4.3. Análise de desempenho por Validação Cruzada

Após a avaliação dos talhões pelo uso da norma CND padrão e pelas formas adaptadas, foram realizadas as validações dos dados para atribuir a eficiência de todos os procedimentos. Para isso, os valores de produtividade, os índices de balanço nutricional CND- r^2 e a divisão dos talhões em grupos de alta e baixa produtividade, foram submetidos à validação cruzada K -fold (*K-fold cross-validation*). Como as variáveis de produtividade e os índices não são diretamente relacionados, foram tratadas como variáveis independentes e os grupos como variáveis dependentes.

A validação cruzada K -fold é um caso especial de validação cruzada em que há iteração sobre um conjunto de dados definido k vezes. Em cada rodada ocorre a divisão de um conjunto de dados em k partes, nas quais uma parte é usada para validação e as $k - 1$ partes restantes são mescladas em um subconjunto de treinamento para avaliação de modelo (Raschka, 2018). A representação da Figura 31 demonstra o processo de validação em 10 iterações, com 10 partições cada, que foram utilizadas para avaliar os processos relacionados à norma CND.

FIGURA 31 – REPRESENTAÇÃO DA VALIDAÇÃO CRUZADA K-FOLD ($K = 10$)

FONTE: O autor (2020).

Para o treinamento das partições, na validação cruzada foi usado o modelo criado por regressão logística (EQUAÇÃO 35). Essa técnica estatística é utilizada para descrever o comportamento de uma variável dependente do tipo binária ou dicotômica, por meio de variáveis independentes, categóricas ou não, permitindo prever a ocorrência de um evento.

Com uma abordagem distinta da regressão múltipla, a regressão logística não pressupõe a existência de homogeneidade de variância e normalidade de resíduos. Logo, é destinada à aferir a probabilidade de ocorrência do evento e à identificar as características pertencentes de cada grupo determinado pela variável categórica

(Fávero et al., 2009). Dessa forma, considerou-se para a variável dependente, o valor de “1” para alta produtividade e “0” para baixa produtividade.

$$f(Z) = \frac{1}{1 + e^{-(Z)}} \Rightarrow$$

$$Z = \text{logit} = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + [\dots] + \beta_k X_k \Rightarrow \quad (35)$$

$$f(Z) \Big|_{-\infty}^{+\infty} = \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{p}{1-p}\right)_i}} \Rightarrow Se \begin{cases} Z = +\infty, f(+\infty) \rightarrow 1 \\ Z = -\infty, f(-\infty) \rightarrow 0 \end{cases}$$

Em que: p = Probabilidade de um evento de interesse ocorrer; X = Vetor de variáveis explicativas (independentes); α e β = Parâmetros do modelo; $\left(\frac{p}{1-p}\right)$ = a chance (*odds*) de ocorrência do evento de interesse.

Assim como ocorre na análise de regressão linear e múltipla, é essencial que o modelo encontrado represente adequadamente os dados e que os índices sejam significativos. Para os modelos produzidos pela regressão logística, além de serem testados a representatividade dos índices, também foram determinados os melhores modelos dentre os procedimentos adotados, utilizou-se os Critérios de Informação de Akaike (AIC) e o Critério de Informação Bayesiano (BIC) (EQUAÇÕES 36, 37 e 38). Quanto menor o valor de AIC e BIC, melhor o modelo (Akaike, 1974; Schwarz, 1978).

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2}{2\sigma^2}\right] = \quad (36)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2\right]$$

$$AIC = -2 \log [L(\hat{\theta})] + 2m \quad (37)$$

$$BIC = -2 \log [L(\hat{\theta})] + m \log(n) \quad (38)$$

Em que: $L(\theta)$ = representa a probabilidade do conjunto de dados, dado o vetor parâmetro $\theta (\beta_0, \beta_1, \sigma^2)$; $L(\hat{\theta})$ = estimador de máxima verossimilhança; m = número de parâmetros estimados; n = número de observações da amostra.

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Submetendo os dados coletados dos 109 talhões de soja à análise da normalidade pelo teste de Shapiro Wilk, incluindo os dados de produtividade e os teores dos nutrientes das amostras foliares, verificou-se que apenas o elemento K apresentou dados normais ($W = 0,98963$ e $p - \text{valor} = 0,5736$). Apesar dessa informação não ser necessariamente uma condição, pelo fato da própria norma CND apresentar processos de transformação dos dados, é importante que sejam realizadas análises preliminares mais aprofundadas. A estatística descritiva do banco de dados, é apresentada nas Tabelas 6 e matriz de correlação na Figura 32.

TABELA 6 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS BRUTOS DOS 109 TALHÕES DE SOJA

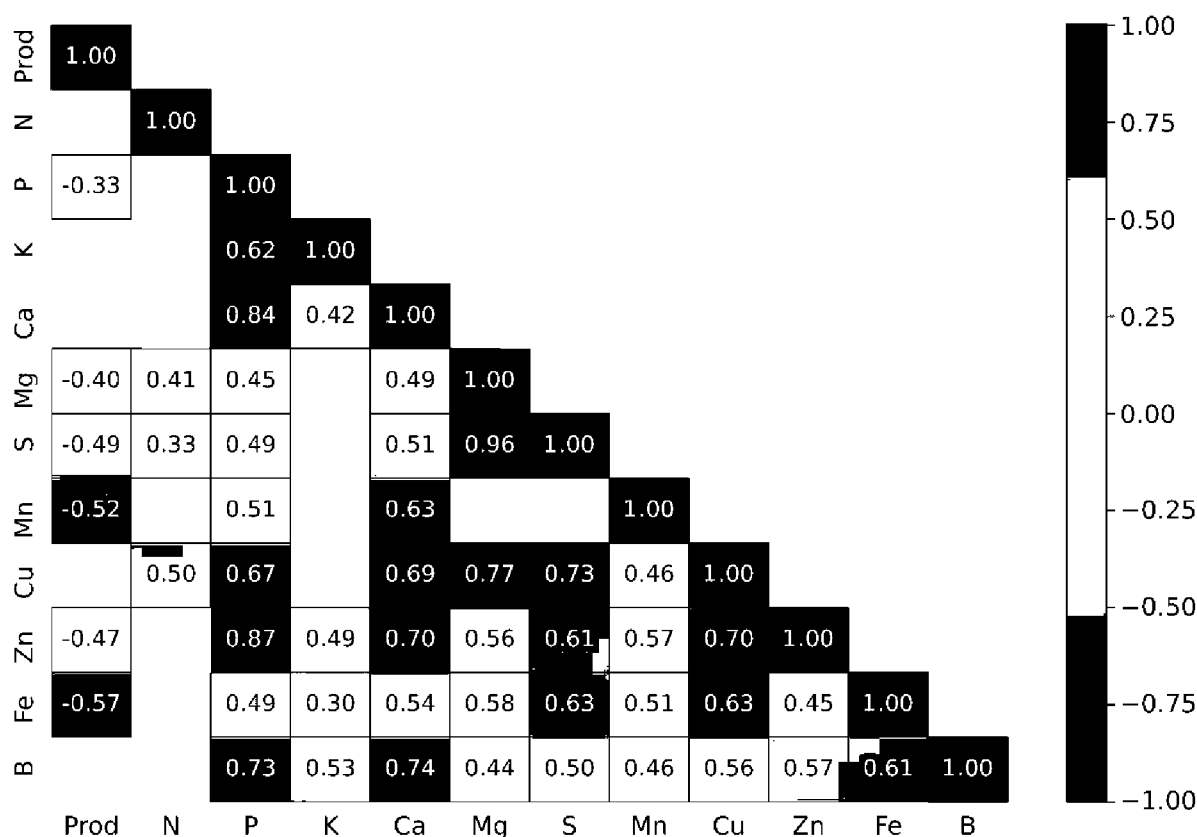
Variável	Máximo	Mínimo	Média	Q_1	Q_2	Q_3	σ	CV (%)
Prod	6016,47	1926,11	4990,85	4475,00	5428,06	5605,00	934,40	18,72
N	57,00	37,27	43,98	41,61	43,41	45,21	3,66	8,32
P	4,53	0,85	2,52	1,89	2,45	3,08	0,78	30,97
K	35,91	10,75	22,39	18,91	22,20	26,18	5,05	22,56
Ca	15,07	4,29	8,76	6,50	8,50	10,67	2,70	30,78
Mg	5,00	0,62	1,70	0,96	1,13	1,69	1,19	69,92
S	2,70	0,18	0,84	0,33	0,51	0,87	0,74	87,56
Mn	99,23	14,65	32,24	20,70	28,46	39,96	15,33	47,56
Cu	23,50	2,13	6,74	4,31	6,41	8,02	3,22	47,72
Zn	49,20	10,74	23,43	16,41	20,97	30,70	9,17	39,13
Fe	274,26	18,99	74,73	34,88	56,85	82,26	58,94	78,86
B	78,70	12,54	33,20	24,35	31,10	39,51	11,95	35,99

FONTE: O autor (2020).

N, P, K, Ca, Mg e S ($g\ kg^{-1}$); Mn, Cu, Zn, Fe e B ($mg\ kg^{-1}$); Prod = Produtividade; ⁽¹⁾ não submetido ao tratamento prévio; Q_1 = primeiro quartil (25 %); Q_2 = segundo quartil ou mediana (50 %); Q_3 = terceiro quartil (75 %); σ = desvio padrão da amostra; CV = coeficiente de variação.

Verifica-se que pela mediana (Q_2) que a maior parte dos talhões apresenta produtividade superior à média do banco de dados (TABELA 6). O valor da mediana é inferior a 9,78 % do valor da maior produtividade e superior a 64,5 % do valor da menor produtividade, evidenciando o alto potencial do cultivo da soja no estado do Paraná.

FIGURA 32 - MATRIZ DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE OS TEORES DE NUTRIENTES NO TECIDO FOLIAR E A PRODUTIVIDADE DOS 109 TALHÕES DE SOJA



FONTE: O autor (2020).

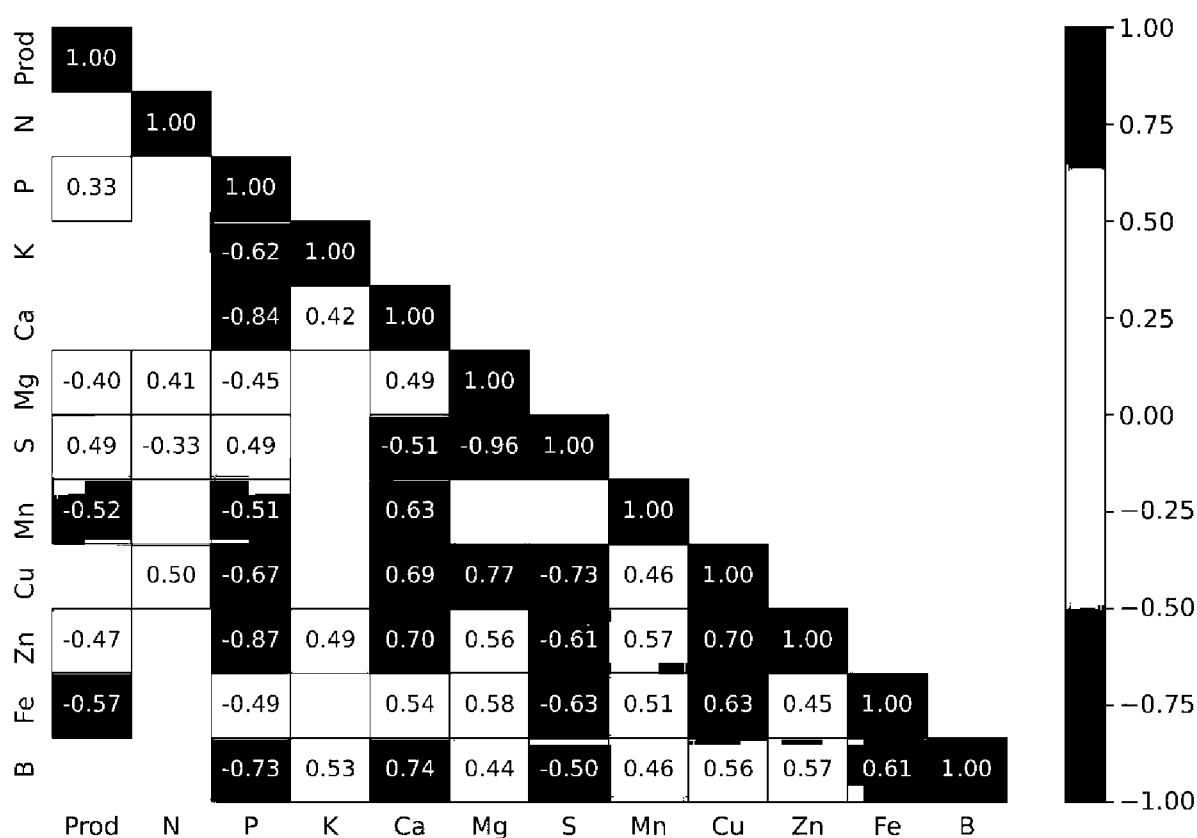
Prod = Produtividade; Valores significativos a 5 %.

Selecionando os valores presentes nos intervalos entre o primeiro (25 %) e o terceiro quartil (75 %), a partir da relação de interpretação dos teores de nutrientes para amostras de folhas de soja com pecíolo proposta por Kurihara et al. (2008), verifica-se que somente o N apresentou teores considerados suficientes para a cultura. Como a fixação biológica do N por bactérias do gênero *Bradyrhizobium* é a principal forma de entrada do elemento para a cultura (SBCS/NEPAR, 2017), os teores adequados e o menor coeficiente de variação, acabam sendo bons indicativos da eficiência do processo simbiótico.

P, Ca, Mn, Cu, Zn, Fe e B variaram de suficiente para baixo, enquanto os teores de K variaram de suficiente para alto. Mg e S apresentaram teores baixos, bem como os maiores coeficientes de variação, junto com o Fe (S = 87,56 %, Fe = 78,86 % e Mg = 69,92 %).

As correlações lineares¹⁷ de todos os nutrientes em relação à produtividade foram negativas, o que acaba gerando estranheza, posto que a amplitude entre a maior e a menor produtividade foi elevada (4090,36 kg ha⁻¹). Porém, os valores dos nutrientes S, Mg e Fe apresentaram elevada variabilidade, o que acabou camuflando as reais relações com a produtividade, como demonstrado na Figura 33, após o tratamento dos dados.

FIGURA 33 - MATRIZ DE COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE OS TEORES DE NUTRIENTES AJUSTADOS NO TECIDO FOLIAR E A PRODUTIVIDADE DOS 109 TALHÕES DE SOJA



FONTE: O autor (2020).

Prod = Produtividade; Valores significativos a 5 %.

Como observado nas matrizes de correlação (FIGURAS 32 e 33), a leve diminuição da variabilidade dos dados interferiu na maneira como os elementos se relacionam (TABELA 7). Todas as relações existentes para S foram alteradas. P também sofreu mudanças expressivas, assim como as relações com a produtividade. Nessas mudanças, foram mantidas as proporções, mas passaram a divergir no

¹⁷ Dancey e Reidy (2006) apresentam uma classificação para interpretação coeficiente de correlação linear de Pearson (r), sendo: fraco (0,10 - 0,30); moderado (0,40 - 0,60); forte (0,70 - 1,0).

sentido. A correlação entre Mg e S, por exemplo, mudou de forte correlação sinérgica, para forte correlação antagônica.

TABELA 7 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS SUAVIZADOS (TRANSFORMADOS) DOS 109 TALHÕES DE SOJA, APÓS O TRATAMENTO PRÉVIO DA VARIABILIDADE

Variável	Máximo	Mínimo	Média	Q_1	Q_2	Q_3	σ	CV (%)
Prod	6016,47	1926,11	5428,06	4475,00	4990,85	5605,00	934,40	18,72
N	53,44 ↓	39,10 ↑	43,98	42,26 ↑	43,57 ↑	44,88 ↓	2,66 ↓	6,05 ↓
P	2,99 ↓	1,96 ↑	2,52	2,37 ↑	2,54 ↑	2,70 ↓	0,22 ↓	8,68 ↓
K	33,23 ↓	13,05 ↑	22,39	19,60 ↑	22,24 ↑	25,43 ↓	4,05 ↓	18,09 ↓
Ca	12,73 ↓	5,95 ↑	8,76	7,34 ↑	8,60 ↑	9,96 ↓	1,70 ↓	19,36 ↓
Mg	2,22 ↓	1,53 ↑	1,70	1,58 ↑	1,61 ↑	1,70 ↑	0,19 ↓	11,07 ↓
S	1,08 ↓	0,19 ↑	0,84	0,84 ↑	0,96 ↑	1,03 ↑	0,26 ↓	30,85 ↓
Mn	94,86 ↓	15,79 ↑	32,24	21,45 ↑	28,71 ↑	39,46 ↓	14,33 ↓	44,46 ↓
Cu	18,29 ↓	3,57 ↑	6,74	5,06 ↑	6,51 ↑	7,62 ↓	2,22 ↓	32,88 ↓
Zn	46,39 ↓	12,13 ↑	23,43	14,18 ↓	21,23 ↑	29,90 ↓	8,17 ↓	34,86 ↓
Fe	270,88 ↓	19,94 ↑	74,73	35,55 ↑	57,15 ↑	82,13 ↓	57,94 ↓	77,52 ↓
B	74,89 ↓	14,27 ↑	33,20	25,09 ↑	31,28 ↑	38,98 ↓	10,95 ↓	32,97 ↓

FONTE: O autor (2020).

↓↑ = Diminuiu ou aumentou em relação aos dados brutos; N, P, K, Ca, Mg e S ($g\ kg^{-1}$); Mn, Cu, Zn, Fe e B ($mg\ kg^{-1}$); Prod = Produtividade (não submetido ao tratamento prévio); Q_1 = primeiro quartil (25 %); Q_2 = segundo quartil ou mediana (50 %); Q_3 = terceiro quartil (75 %); σ = desvio padrão da amostra; coeficiente de variação.

A amostragem mais adequada é aquela que melhor representa as áreas e os cultivos avaliados (Rozane et al., 2009a). Uma escolha equivocada sobre o material representativo e do número de amostras, podem promover um erro experimental significativo e comprometer o diagnóstico do estado nutricional da cultura. Mas, nem sempre é possível determinar qual é o melhor método a ser seguido, e qual o menor erro embutido no processo.

Outro ponto que merece destaque é que a determinação dos teores dos elementos é realizada com base em toda a matéria seca amostrada. Nem todos os elementos das folhas estão prontamente disponíveis ou fazem parte de alguma estrutura ou composto, como é o caso dos elementos em trânsito no pecíolo e aqueles que estão retidos no vacúolo. O vacúolo pode ocupar até 95 % do volume foliar (Taiz et al., 2017), e contém a maior parte dos íons K^+ (cuja concentração está alta em parte das amostras) e Ca^{2+} , bem como de açúcares, ácidos orgânicos e outros compostos,

os quais são transportados contra os gradientes eletroquímicos (Taiz, 1992), mas o fato de estar alojado na célula do tecido amostrado, não significa que o seu conteúdo será utilizado pela própria folha, ou que exista um direcionamento fixo.

Para a amostragem sugere-se que sejam coletadas amostras foliares em pleno florescimento das plantas. As coletas das amostras de soja ocorreram quando a cultura estava no estágio R2, período reprodutivo com florescimento pleno. Nesse estágio fenológico existe a possibilidade de ocorrer um processo denominado de remobilização de nutrientes. Tendo em vista o alto rendimento produtivo da cultura no Paraná, ultrapassando os 6 mil kg ha⁻¹, esse fenômeno fisiológico é algo que deve ser considerado em trabalhos futuros.

Além do crescimento vegetativo, a remobilização é um processo importante para o desenvolvimento reprodutivo, pois a atividade da raiz e a absorção de nutrientes geralmente diminuem, principalmente como resultado da redução no fornecimento de carboidratos às raízes. Esse processo baseia-se em várias ações fisiológicas e bioquímicas, que utilizam desde os nutrientes armazenados nos vacúolos, até a quebra de proteínas (Marschner, 2012). Pelas folhas, caules e pecíolos, o processo oferece uma contribuição significativa de N, P, K, S, Cu e Zn, para os grãos, enquanto Mg, B e Fe apenas são remobilizados das folhas (Barth et al., 2018).

A matriz de correlação somente leva em consideração as relações duais, o que, de certa forma, não reflete a complexidade das interações entre os nutrientes na planta, tampouco possibilita associar seguramente com o solo. O uso dessa análise deve ser realizado com cautela, pois a qualidade da amostragem e a perícia laboratorial podem afetar diretamente a precisão dos resultados da análise foliar.

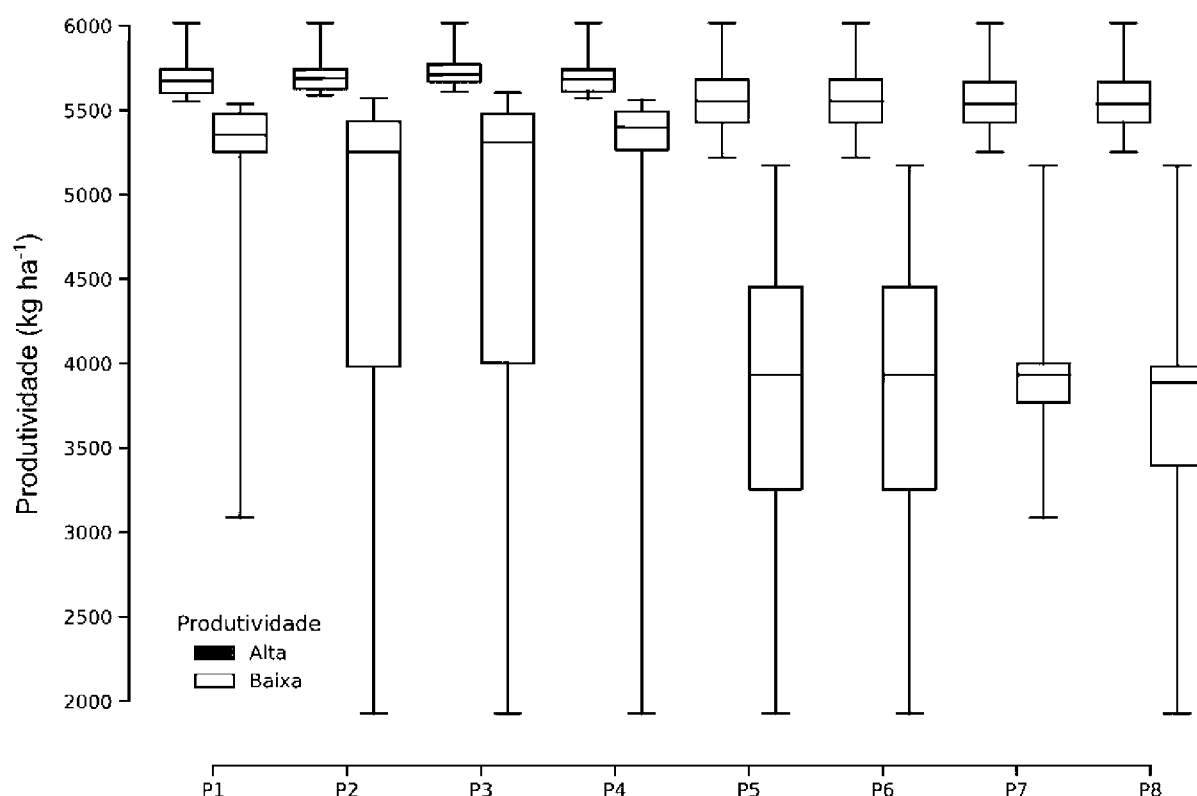
Segundo Rozane et al. (2013), a análise multivariada empregada nos cálculos do CND permite que a distância de Mahalanobis (D^2), presente na norma, exclua os dados em desequilíbrio. Por isso, o CND acaba sendo a melhor alternativa na análise das relações, pois considera todos os nutrientes, incluindo aqueles não determinados na análise (valor de enchimento), além de oferecer procedimentos que controlam a dispersão dos dados.

Os estudos das inter-relações dos nutrientes no tecido vegetal e as possíveis associações com o solo, são bastante escassos na literatura. Hinsinger et al. (2011)

destacam que as complexidades das interações no solo são quase impossíveis de se explorar apenas por meios experimentais. Por conta disso, a modelagem acaba sendo uma abordagem alternativa poderosa para aprofundar a compreensão desses processos e como eles afetam a nutrição das plantas.

A divisão dos 109 talhões, em alta e baixa produtividade, por todos os procedimentos, é demonstrada na Figura 34. Os procedimentos que utilizaram o método PLC (P5 a P6) apresentaram maiores distanciamentos entre as medianas das subpopulações de alta e baixa produtividade, destacando melhor as diferenças desses grupos. Isso ocorreu porque somente foi considerada a variável produtividade no processo de divisão, separando os elementos nos grupos mediante as similaridades de padrões espaciais, conforme as diretrizes da geometria analítica.

FIGURA 34 – DIVISÃO DOS TALHÕES EM ALTA E BAIXA PRODUTIVIDADE OBTIDOS PELOS PROCEDIMENTOS PARA ARRANJO COM 11 NUTRIENTES ¹



FONTE: O autor (2020).

⁽¹⁾ d = {N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Zn, Fe e B}; P1 = Procedimento padrão; P2 = Sem remoção de *outliers*; P3 = Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P4 = Com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*; P5 = PLC, sem remoção de *outliers*; P6 = PLC, com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P7 = PLC, com remoção de *outliers*; P8 = PLC, com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*.

Apesar de distintos entre si, as 4 variantes que usaram o mesmo método PLC apresentaram medianas, tanto para os grupos de alta produtividade, como os de baixa, semelhantes, tornando-o mais coeso em relação à norma CND padrão e às suas adaptações (P1 a P4). Essa condição facilita a criação de modelos computacionais mais precisos para a predição da produtividade, tanto por aprendizado de máquina, quanto por algoritmos condicionais.

Na Tabela 8, são apresentadas as equações obtidas por regressão linear para os grupos de alta e baixa produtividade obtidas por todos os procedimentos. Todas as equações foram significativas à 0,1 %, mas P1 e P4 apresentaram desempenho inferior para os grupos de baixa produtividade.

TABELA 8 – MODELOS ESTATÍSTICOS POR REGRESSÃO LINEAR, PARA AS PRODUTIVIDADES DE SOJA, COM BASE NOS PROCEDIMENTOS ADOTADOS E ARRANJO COM 11 NUTRIENTES

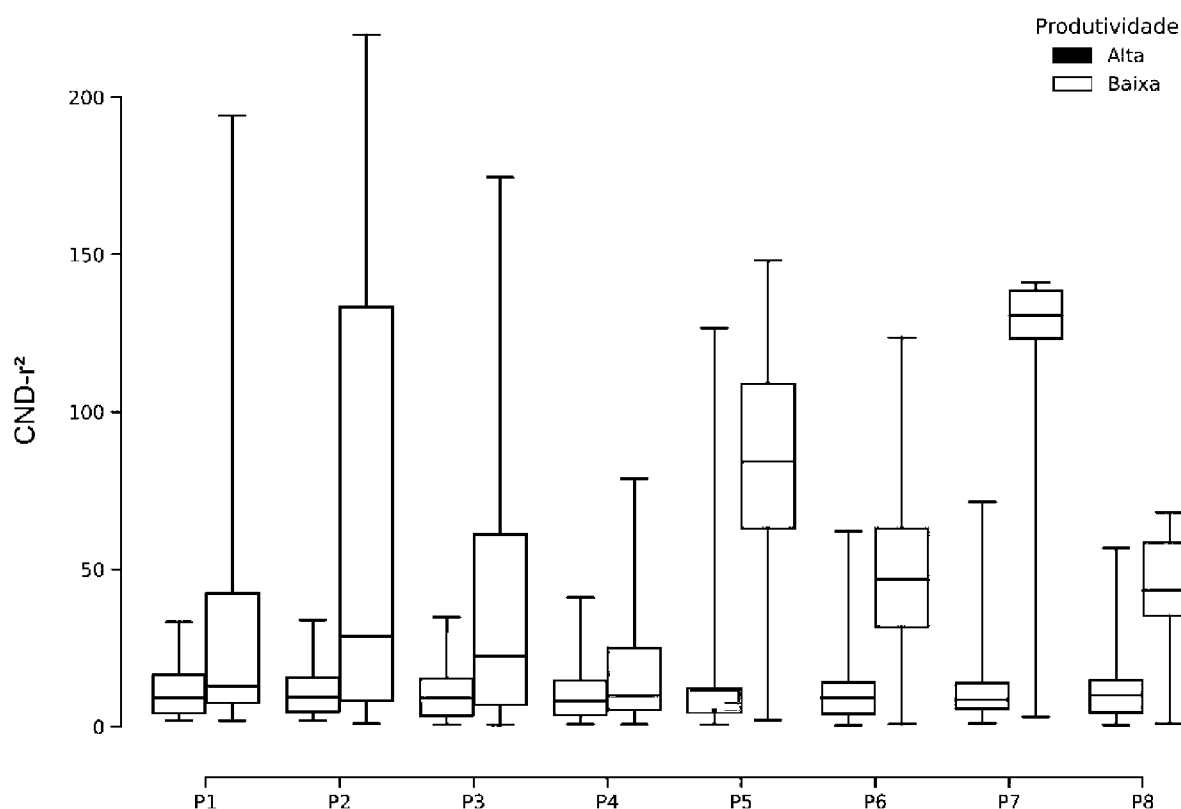
Procedimento	Alta produtividade	Baixa produtividade
P1	$y_1 = 5886,059 - 11,4152x_1^{***}$ ($R^2 = 0,8699$)	$y_2 = 7317,743 - 40,087x_2^{***}$ ($R^2 = 0,584$)
P2	$y_1 = 5889,020 - 10,454x_1^{***}$ ($R^2 = 0,8677$)	$y_2 = 7540,207 - 40,031x_2^{***}$ ($R^2 = 0,8451$)
P3	$y_1 = 5906,764 - 12,1456x_1^{***}$ ($R^2 = 0,861$)	$y_2 = 7240,794 - 36,431x_2^{***}$ ($R^2 = 0,8234$)
P4	$y_1 = 5894,873 - 12,2165x_1^{***}$ ($R^2 = 0,8648$)	$y_2 = 7405,032 - 43,495x_2^{***}$ ($R^2 = 0,543$)
P5 e P6	$y_1 = 5857,0751 - 8,2302x_1^{***}$ ($R^2 = 0,9672$)	$y_2 = 10672,70 - 74,55x_2^{***}$ ($R^2 = 0,9687$)
P7	$y_1 = 5847,370 - 8,728x_1^{***}$ ($R^2 = 0,9557$)	$y_2 = 18433,73 - 199,04x_2^{***}$ ($R^2 = 0,8367$)
P8	$y_1 = 5847,370 - 8,728x_1^{***}$ ($R^2 = 0,9557$)	$y_2 = 21211,78 - 241,65x_2^{***}$ ($R^2 = 0,7797$)

FONTE: O autor (2020).

*** = significativo a 0,1 %; x_1 e x_2 = posição do talhão de alta e baixa produtividade (variável ordinal), respectivamente, do banco de dados, cujos valores de produtividade foram organizados de forma decrescente; P1 = Procedimento padrão; P2 = Sem remoção de *outliers*; P3 = Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P4 = Com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*; P5 = PLC, sem remoção de *outliers*; P6 = PLC, com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P7 = PLC, com remoção de *outliers*; P8 = PLC, com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*.

Na Figura 35 é demonstrada a relação entre os valores dos índices de balanço nutricional para os grupos de produtividade. Nela, observamos pelos quartis (25, 50 e 75 %) que alguns dados nos procedimentos P1 ao P4 apresentaram semelhanças entre os grupos. Já os procedimentos que usaram PLC conseguiram, aparentemente, separar melhor os talhões de alta e baixa produtividade. Devido ao menor volume de ocorrências, o valor máximo para o grupo de alta produtividade e o mínimo do grupo de baixa, pode ser considerado como zona de transição.

FIGURA 35 – ÍNDICES DE BALANÇO NUTRICIONAL (CND- r^2) DOS TALHÕES DE ALTA E BAIXA PRODUTIVIDADE, OBTIDOS PELOS PROCEDIMENTOS PARA ARRANJO COM 11 NUTRIENTES



FONTE: O autor (2020).

P1 = Procedimento padrão; P2 = Sem remoção de *outliers*; P3 = Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P4 = Com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*; P5 = PLC, sem remoção de *outliers*; P6 = PLC, com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P7 = PLC, com remoção de *outliers*; P8 = PLC, com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*.

Pela variável CND- r^2 , não foi possível elaborar modelos significativos para prever a qualidade dos talhões, mas, o seu baixo desempenho era algo esperado (TABELA 9). A essência da norma CND é avaliar o equilíbrio nutricional da cultura e, o quanto a relação com a produtividade pode ser explicada pelo fator nutricional, mas

de forma categórica. Muitos fatores¹⁸ externos podem estar associados ao equilíbrio dos nutrientes no tecido vegetal. Logo, a representação por regressão linear pode acabar sendo prejudicada pela grande variabilidade dos dados.

TABELA 9 - MODELOS ESTATÍSTICOS POR REGRESSÃO LINEAR, PARA OS ÍNDICES DE BALANÇO NUTRICIONAL (CND-r²) EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE DOS TALHÕES DE SOJA, COM BASE NOS PROCEDIMENTOS ADOTADOS E ARRANJO COM 11 NUTRIENTES

Procedimento	Alta produtividade	Baixa produtividade
P1	$y_1 = -14,7222 + 0,004562x_1^{ns}$ (R ² = 0,004769)	$y_2 = 500,3025 - 0,08913x_2^{***}$ (R ² = 0,8482)
P2	$y_1 = 11,2495 - 0,000052x_1^{ns}$ (R ² = 0,0000005729)	$y_2 = 247,011 - 0,03865x_2^{***}$ (R ² = 0,2882)
P3	$y_1 = -69,94488 + 0,01416x_1^{ns}$ (R ² = 0,02169)	$y_2 = 140,098 - 0,02129x_2^{***}$ (R ² = 0,2386)
P4	$y_1 = 2,831934 + 0,001468x_1^{ns}$ (R ² = 0,0002902)	$y_2 = 111,715 - 0,0181x_2^{***}$ (R ² = 0,4393)
P5	$y_1 = 59,6287 - 0,008773x_1^{ns}$ (R ² = 0,009842)	$y_2 = 54,7164 + 0,07588x_2^{ns}$ (R ² = 0,02723)
P6	$y_1 = 9,839 + 0,0002055x_1^{ns}$ (R ² = 0,00001227)	$y_1 = 29,05226 + 0,005955x_2^{ns}$ (R ² = 0,02652)
P7	$y_1 = 16,4932 - 0,000982x_1^{ns}$ (R ² = 0,0002817)	$y_2 = 318,8262 - 0,05073x_2^{**}$ (R ² = 0,6114)
P8	$y_1 = 1,782608 + 0,001667x_1^{ns}$ (R ² = 0,0009402)	$y_2 = 52,7108 - 0,002761x_2^{ns}$ (R ² = 0,01186)

FONTE: O autor (2020).

*** = significativo a 0,1 %; ** = significativo a 1 %; ns = não significativo; x_1 e x_2 = posição do talhão de alta e baixa produtividade (variável ordinal), respectivamente, do banco de dados, cujos valores de produtividade foram organizados de forma decrescente; P1 = Procedimento padrão; P2 = Sem remoção de *outliers*; P3 = Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P4 = Com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*; P5 = PLC, sem remoção de *outliers*; P6 = PLC, com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P7 = PLC, com remoção de *outliers*; P8 = PLC, com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*.

¹⁸ Segundo Tisdale et al. (1985), 52 fatores podem afetar o crescimento e a produtividade das culturas.

Em virtude dos problemas anteriormente citados, a melhor forma para se avaliar a efetividade da norma CND na caracterização dos talhões, é através da regressão logística (TABELA 10). Admitindo que há duas categorias de produtividade (variável dependente dicotômica) e que o índice é adimensional, o modelo deve ser capaz de prever a qualidade desses talhões por meio dos valores de CND-r².

TABELA 10 - MODELOS ESTATÍSTICOS POR REGRESSÃO LOGÍSTICA, PARA OS ÍNDICES DE BALANÇO NUTRICIONAL (CND-r²) NA DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA PRODUTIVIDADE (ALTA OU BAIXA) DOS TALHÕES DE SOJA, COM BASE NOS PROCEDIMENTOS ADOTADOS E NO ARRANJO COM 11 NUTRIENTES

Procedimento	Função logística	AIC	BIC	Dispersão
P1	$f(Z) = \frac{1}{1 + e^{-(0,33253 - 0,03138X)}}$ ^{ns}	97,01	101,70	
P2	$f(Z) = \frac{1}{1 + e^{-(0,19853 - 0,04304X)}}$ ^{ns}	109,46	114,84	
P3	$f(Z) = \frac{1}{1 + e^{-(0,16889 - 0,04700X)}}$ ^{ns}	108,45	113,83	
P4	$f(Z) = \frac{1}{1 + e^{-(0,04570 - 0,03319X)}}$ ^{ns}	102,06	106,75	
P5	$f(Z) = \frac{1}{1 + e^{-(3,58447 - 0,08423X)}}$ ^{***}	52,35	57,73	
P6	$f(Z) = \frac{1}{1 + e^{-(3,91707 - 0,13270X)}}$ ^{***}	65,34	70,72	
P7	$f(Z) = \frac{1}{1 + e^{-(5,03658 - 0,06856X)}}$ ^{***}	17,85	22,54	
P8	$f(Z) = \frac{1}{1 + e^{-(4,52528 - 0,11449X)}}$ ^{***}	35,68	40,37	

FONTE: O autor (2020).

Critérios de Informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC) = Quanto menor o valor, melhor o modelo; *** = significativo a 0,1 % pelo teste de Wald; ns = não significativo; P1 = Procedimento padrão; P2 = Sem remoção de *outliers*; P3 = Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P4 = Com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*; P5 = PLC, sem remoção de *outliers*; P6 = PLC, com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P7 = PLC, com remoção de *outliers*; P8 = PLC, com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*.

A aplicação da regressão logística supera os problemas observados em variáveis dependentes dicotômicas, nas suposições de linearidade, normalidade, homoscedasticidade e estimativas de mínimos quadrados ordinários, que acabam se tornando ineficientes pelos métodos de regressão linear (Menard, 2001). Seguindo esses princípios, a produtividade foi organizada em ordem decrescente, sendo atribuído o valor binário aos grupos (alta: $f(z) = 1$ e baixa: $f(z) = 0$), conforme a orientação estabelecida pela divisão feita pelos procedimentos.

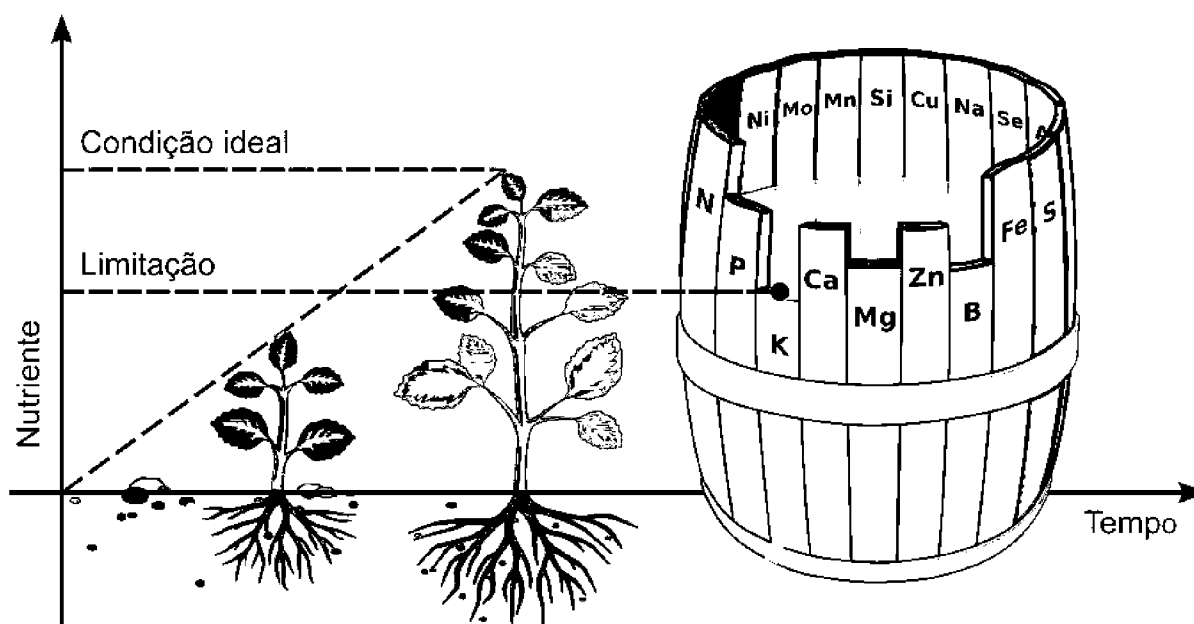
Aplicando a regressão logística, verificou-se que P1 ao P4 não foram significativos, ou seja, com o valor do CND- r^2 não foi possível prever se o talhão avaliado era de alta ou de baixa produtividade. Isso reforça o que foi visualizado no diagrama de caixa da figura 34 e o fato de que a divisão não foi representativa. Todavia, todos os procedimentos baseados no método PLC (P5 a P8) apresentaram ajustes significativos a 0,1 %, oferecendo ótimas alternativas para a predição dos talhões considerando o valor do CND. A separação dos grupos por concordâncias mostrou que a divisão pelo método ocorre de forma mais controlada e representativa.

A divisão dos grupos pela equação com base na distância de Mahalanobis, atua sobre o banco de dados de maneira seletiva, cujos valores de produtividade são separados, tendo como fator de divisão o ponto de inflexão da função cumulativa. Pelo método do PLC, os dados são separados quando há convergência entre valores, indicando que o conjunto segue o mesmo coeficiente de inclinação, constituindo o vetor de direção e intensidade. A diferença entre os vetores separados pelo limite de convergência, confere as discordâncias que permitem identificar a qualidade da produtividade (alta ou baixa) dos talhões de todo o conjunto amostral.

Na norma CND é prevista a existência de outros elementos presentes na matéria seca das amostras foliares, em que todos os elementos da amostra representam um peso considerável para os cálculos. Todavia, por considerar a existência de todos os nutrientes necessários para a manutenção existencial da planta (mesmo que indiretamente), a norma CND deve ser eficaz no diagnóstico quando o valor de um nutriente não é informado. Essa condição torna necessária a avaliação, tanto da norma padrão como das formas adaptadas e modificadas, em tamanhos de arranjos nutricionais variados. Mas, antes, são necessárias algumas reflexões sobre o equilíbrio nutricional estabelecido pela norma.

A linha que separa a zona de excesso e a de falta de nutrientes, para os índices do CND, não se refere meramente a um ponto neutro. Os índices negativos e positivos não indicam somente a falta ou excesso dos seus respectivos nutrientes. O índice de balanço nutricional também não é somente uma representação da somatória dos índices. Sob um olhar mecanicista, podemos associar esses parâmetros à Lei do Mínimo, enunciada por Justus von Liebig em 1840, cujos índices permitem direcionar a atenção para alguns dos problemas enfrentados pela planta (FIGURA 36).

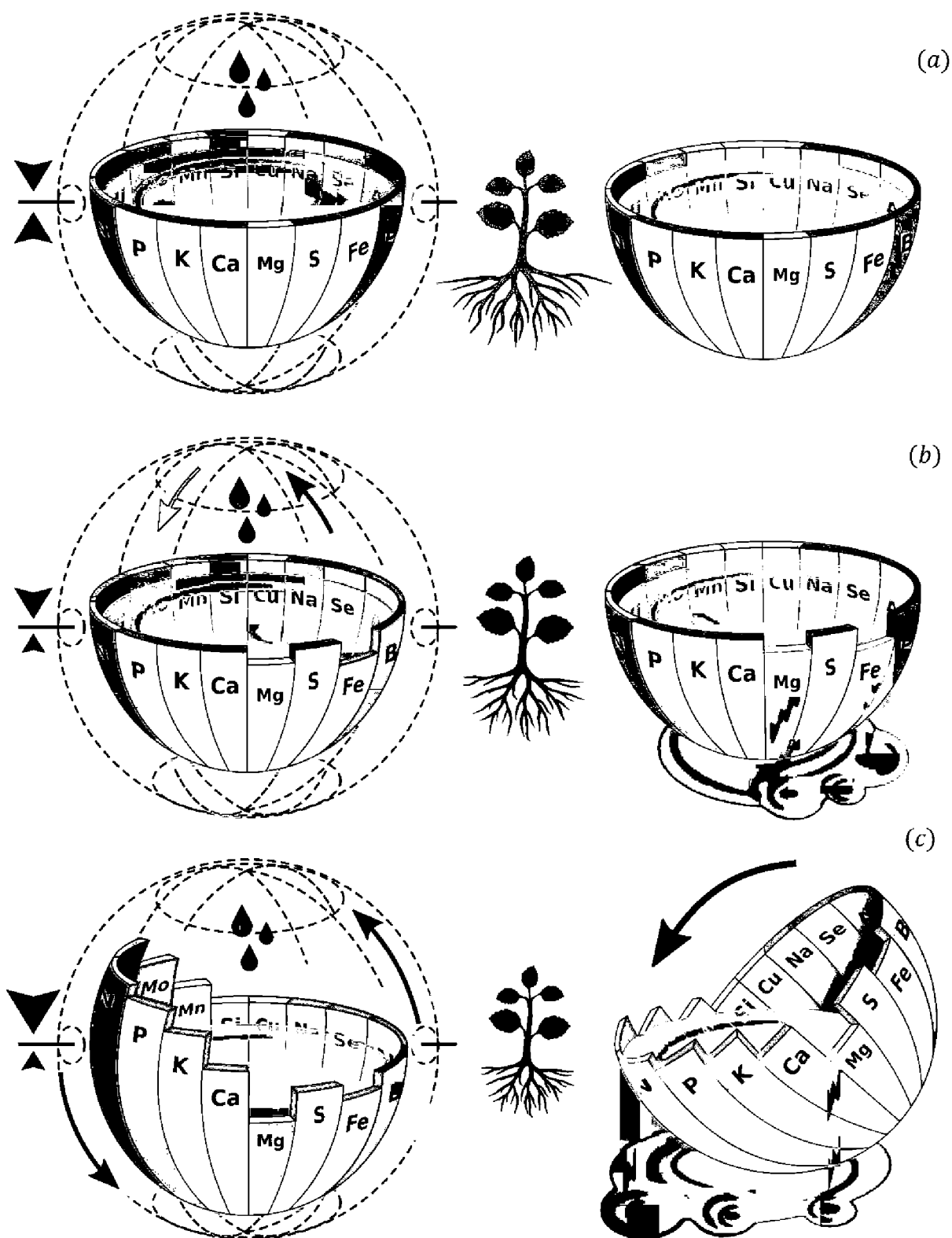
FIGURA 36 – LEI DO MÍNIMO DE JUSTUS VON LIEBIG (1840)



FONTE: O autor (2020).

Entretanto, a lei do mínimo considera como ponto limitante para a cultura, o elemento mais deficiente ou escasso, para o desenvolvimento da planta, o que não reflete uma verdade absoluta. Em decorrência da complexidade das interações dos nutrientes na planta, uma representação mais apropriada, seguindo o contexto de equilíbrio adotado pelo CND, esse mesmo barril deveria estar sobre uma superfície irregular, na qual o ponto limitante poderia ser mais de um nutriente. Mas, por se tratar de uma representação pouco intuitiva, o mesmo esquema poder ser explicado por uma semiesfera oca, na qual os elementos em excesso também seriam responsáveis pelo desequilíbrio nutricional (FIGURA 37).

FIGURA 37 - PRINCÍPIO DO EQUILÍBRIO NUTRICIONAL NA LIMITAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO VEGETAL – REGRA DOS MÍNIMOS E MÁXIMOS LOCAIS



FONTE: O autor (2020).

Ilustração inspirada na lei do mínimo de Liebig (1840) e no *Simplex* abordado na norma CND de Parent e Dafir (1992). (a) Equilíbrio nutricional; (b) Deficiência nutricional com leve desequilíbrio da esfera; (c) Desequilíbrio acentuado causado pelo excesso e falta de nutrientes.

Os índices do CND simbolizam a regra do mínimo aperfeiçoada, a qual é associada a um fator de ajuste de posição, em que o equilíbrio percebido relaciona o estado nutricional da planta em três dimensões no espaço (x, y e z). Sendo assim, a norma representa uma regra de mínimos e máximos locais envolvendo todos os nutrientes (índices de cada nutriente), e de mínimo ou máximo global (índice CND- r^2). Logo, análises bivariadas, como a correlação linear entre dois elementos, não possibilitam definir o real estado nutricional da cultura.

Como notado anteriormente na análise das correlações, e nas determinações dos modelos por regressão logística, a ineficiência na qualidade dos dados pode contribuir para o peso de cada nutriente avaliado, comprometendo a eficiência da norma CND padrão. Um possível ajuste de peso para os cálculos da norma CND pode ser iniciado por estudos de translocação ou remobilização de nutrientes para outras áreas da planta. Por essa razão, talhões mais produtivos podem acabar divergindo quanto aos índices, mesmo apresentando condições de solo parecidas.

O teor de um nutriente no tecido vegetal depende da relação entre a sua absorção e a sua diluição ao longo do desenvolvimento da planta. Partindo de uma condição limitante pela falta de nutrientes (deficiência), no instante em que a disponibilidade e a absorção começam a aumentar, chega-se a um ponto cujo incremento não será mais convertido em desempenho (equilíbrio). Porém, quando as quantidades começam a acumular em demasia, o crescimento ou a produtividade podem sofrer declínio (toxicidade) (Taiz et al., 2017).

Ainda não é possível estabelecer pela norma, faixas para determinar limites para o desenvolvimento da cultura. Mas, é possível determinar se os dados utilizados são coesos e/ou se a norma está conseguindo avaliar com acurácia os dados. Uma forma de avaliar o impacto que os pesos¹⁹ dos nutrientes têm na norma, é confrontar os índices obtidos pela norma CND quando se realiza a remoção de alguns nutrientes da relação do banco de dados.

Além do teste com 11 nutrientes, foram testados para os 8 procedimentos conjunto de dados com 10, 9, 8, 7, 6 e 5 nutrientes. Por se tratar de arranjos com múltiplas combinações possíveis (11888 testes), optou-se pela exclusão de um dos elementos disponíveis do conjunto, por ordem decrescente de coeficiente de variação

¹⁹ Entenda-se por pesos, a relação entre os teores relativos dos nutrientes e as suas características amostrais, como a variabilidade dos dados e os erros experimentais.

(CV: $S = 87,56 \% > Fe = 78,86 \% > Mg = 69,92 \% > Cu = 47,72 \% > Mn = 47,56 \%$) e, assim, reduziu para 416 testes combinados. Antes do teste de acurácia, foi testado o nível de concordâncias entre os índices de um grupo com arranjo de tamanho d com o de tamanho $d - 1$. Em cada arranjo, foram realizadas combinações de nutrientes, mas com remoções momentâneas (TABELA 11, ANEXO 5).

TABELA 11 – COMBINAÇÕES DOS ARRANJOS TESTADOS EM TODOS OS PROCEDIMENTOS

$d = 11 \Rightarrow \{N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Zn, Fe \text{ e } B\}$					
$d = 10$	$d = 9$ ($S \notin d$)	$d = 8$ ($Fe \notin d$)	$d = 7$ ($Mg \notin d$)	$d = 6$ ($Cu \notin d$)	$d = 5$ ($Mn \notin d$)
$N \notin d$	$N \notin d$	$N \notin d$	$N \notin d$	$N \notin d$	$N \notin d$
$P \notin d$	$P \notin d$	$P \notin d$	$P \notin d$	$P \notin d$	$P \notin d$
$K \notin d$	$K \notin d$	$K \notin d$	$K \notin d$	$K \notin d$	$K \notin d$
$Ca \notin d$	$Ca \notin d$	$Ca \notin d$	$Ca \notin d$	$Ca \notin d$	$Ca \notin d$
$Mg \notin d$	$Mg \notin d$	$Mg \notin d$	$Mn \notin d$	$Mn \notin d$	$Zn \notin d$
$S \notin d$	$Mn \notin d$	$Mn \notin d$	$Cu \notin d$	$Zn \notin d$	$B \notin d$
$Mn \notin d$	$Cu \notin d$	$Cu \notin d$	$Zn \notin d$	$B \notin d$	-
$Cu \notin d$	$Zn \notin d$	$Zn \notin d$	$B \notin d$	-	-
$Zn \notin d$	$Fe \notin d$	$B \notin d$	-	-	-
$Fe \notin d$	$B \notin d$	-	-	-	-
$B \notin d$	-	-	-	-	-

FONTE: O autor (2020).

$\notin$ = não pertence; $\nsubseteq$ = não contido.

O teste de calibragem pela determinação do coeficiente Kappa de Fleiss mostrou que os 8 procedimentos apresentaram desempenhos muito bons ou excelentes. Esse resultado indica que podem ser testadas as eficácias dos procedimentos na determinação dos índices e verificadas as acurácias dos modelos na predição da qualidade da produtividade nos múltiplos cenários (TABELA 12 e ANEXO 5).

Embora não tenha sido utilizada a análise para o processo de amostragem, quando o objeto do teste não é um método (como o que foi avaliado), mas sim um avaliador, Silva e Paes (2012) indicam que a concordância total não ocorre na vida

prática. Por isso, quando se deseja evitar a ocorrência de possíveis erros no processo de amostragem, por exemplo, é importante que os operadores recebam o treinamento adequado e que seja avaliada a qualidade do material coletado, periodicamente.

TABELA 12 – COEFICIENTES KAPPA DE FLEISS (k), QUALIDADES DAS CONCORDÂNCIAS E TESTE DE QUI-QUADRADO (χ^2) DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS, PARA A NORMA CND PADRÃO E PROCEDIMENTOS ADAPTADOS (P1 AO P4), E PARA A NORMA CND COM DIVISÃO DOS GRUPOS DE PRODUTIVIDADE PELO MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E AS SUAS VARIAÇÕES (P5 AO P6)

Métodos	Índices CND					
	IN	IP	IK	ICa	IZn	IB
P1 - Procedimento padrão						
k	0,807 (E)	0,787 (Mb)	0,919 (E)	0,864 (E)	0,833 (E)	0,857 (E)
χ^2	47,60 ^{ns}	119,70 *	37,03 ^{ns}	121,97 *	95,47 *	99,00 *
P2 - Sem remoção de outliers						
k	0,792 (Mb)	0,666 (Mb)	0,869 (E)	0,716 (Mb)	0,851 (E)	0,780 (Mb)
χ^2	48,83 ^{ns}	278,77 *	58,63 ^{ns}	237,07 *	164,67 *	150,70 *
P3 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers						
k	0,840 (E)	0,951 (E)	0,795 (Mb)	0,667 (Mb)	0,900 (E)	0,811 (E)
χ^2	85,60 ^{ns}	44,17 ^{ns}	119,93 ^{ns}	169,37 *	29,87 ^{ns}	120,00 ^{ns}
P4 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers						
k	0,830 (E)	0,945 (E)	0,865 (E)	0,807 (E)	0,890 (E)	0,908 (E)
χ^2	55,90 ^{ns}	8,10 ^{ns}	48,87 ^{ns}	44,17 ^{ns}	26,43 ^{ns}	26,30 ^{ns}
P5 - Sem remoção de outliers						
k	0,913 (E)	0,682 (Mb)	0,813 (E)	0,731 (Mb)	0,812 (E)	0,789 (Mb)
χ^2	22,10 ^{ns}	269,10 *	47,67 ^{ns}	218,87 *	190,50 *	144,70 *
P6 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers						
k	0,857 (E)	0,966 (E)	0,737 (Mb)	0,674 (Mb)	0,940 (E)	0,841 (E)
χ^2	63,80 ^{ns}	17,33 ^{ns}	116,33 ^{ns}	218,87 *	24,13 ^{ns}	77,60 ^{ns}
P7 - Com remoção de outliers						
k	0,949 (E)	0,810 (E)	0,853 (E)	0,861 (E)	0,789 (Mb)	0,863 (E)
χ^2	8,77 ^{ns}	136,33 *	18,90 ^{ns}	93,63 *	106,10 *	75,50 ^{ns}
P8 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers						
k	0,858 (E)	0,919 (E)	0,807 (E)	0,818 (E)	0,852 (E)	0,913 (E)
χ^2	19,70 ^{ns}	12,03 ^{ns}	58,23 ^{ns}	34,10 ^{ns}	26,33 ^{ns}	17,87 ^{ns}

FONTE: O autor (2020).

Qualidade da concordância: (E) excelente; (Mb) muito boa; * = significativo a 5 %; ns = não significativo.

Relacionando os índices dos arranjos menores (com d variando do 10 a 5), com o arranjo de referência ($d = 1$), constatou-se que os procedimentos divergiram quanto à acurácia nas análises realizadas nos variados cenários (Tabela 12). Pelo teste do qui-quadrado²⁰, P8 e P4 foram eficazes em todas as variações de arranjos, apresentando índices IN, IP, IK, ICa, IZn e IB semelhantes aos índices da referência inicial. Essa versatilidade pode proporcionar segurança adicional para o produtor. Não houve mudança na indicação do sentido da limitação por P8 e P4, e, por consequência, na interpretação das condições dos talhões pelas normas.

Como o objetivo dessa análise foi a eficácia em todos os cenários, os procedimentos que não atingiram o objetivo, em ordem decrescente²¹ foram: P6 > P3 > P7 > P5 > P2 > P1 (Tabela 12 e ANEXO 6). É importante destacar que divergências de interpretação nos procedimentos para os índices podem camuflar ou comprometer o desempenho de práticas agrícolas que visem conter uma deficiência nutricional, ou que busquem aumentar o desempenho cultura.

Apesar dos riscos causados pela ineficácia dos vários procedimentos, nos variados cenários avaliados, os testes mostraram que a variabilidade dos dados dificultou a determinação dos índices. A variabilidade, muitas vezes, pode estar associada à erros experimentais. Por conta disso, para amostragem bem representativa, recomenda-se que parcelas experimentais sejam homogêneas e independentes entre si, para que não sejam geradas incertezas, que possam dificultar a tomada de decisão (Guimarães, 2008).

As ocorrências dos efeitos das qualidades dos dados, foram verificadas desde a análise da matriz de correlação de Pearson, até os resultados dos diferentes procedimentos adotados para a avaliação do equilíbrio nutricional. Assim como para os melhores procedimentos obtidos (P8 e P4), o tratamento preliminar dos dados, para a redução da variabilidade, também beneficiou a eficácia de P6 e P3. Esses procedimentos somente não foram efetivos para a determinação do cálcio (ICa).

²⁰ Quando χ^2 não são significativos (*ns*), significa que as frequências observadas foram similares às frequências esperadas, de todos os arranjos subquantificados em relação ao inicial com 11 nutrientes. A interpretação muda de sentido, quando o resultado é significativo, indicando que houve diferenças estatística a 5%, ou seja, quando a análise inicial considerou pelo índice que o nutriente estava em excesso, nos arranjos menores foram indicados a deficiência, e vice-versa.

²¹ Por haver equidade nos resultados entre alguns procedimentos pelo teste do qui-quadrado, como ocorreu em P8 = P7, P6 = P3 e P5 = P2, o critério de desempate foi o valor de coeficiente Kappa de Fleiss.

Outro aspecto relevante nas análises de eficácia é que o método PLC também contribuiu para diminuir o efeito da alta variabilidade sobre a norma. Nesse sentido, os procedimentos variantes do método ficaram uma posição acima das adaptações da norma padrão ($P8 > P4$; $P6 > P3$; $P7$ e $P5 > P2$ e $P1$). Com menor escala de impacto, com exceção de $P1$ e $P2$, as eliminações de *outliers* permitiram aos procedimentos resultados superiores.

O último teste de desempenho aplicado aos procedimentos, foi a avaliação da acurácia pelos modelos criados com base nos índices $CND-r^2$ e na produtividade dos talhões de soja, de maneira associada e isolada (TABELA 13, FIGURAS 38 e 39). Por meio da validação cruzada *k-fold* e da regressão logística, verificou-se que a eficiência aumenta quando o teste é aplicado associando-se os valores de produtividade, com os índices de equilíbrio.

Na maioria dos arranjos os procedimentos que usaram o método PLC foram superiores estatisticamente à $P1$, $P2$, $P3$ e $P4$. Isso significa que pelo aprendizado de máquina foi possível prever por amostragem, se um talhão era de alta ou baixa produtividade, reforçando os princípios da norma a qual associa um menor valor de $CND-r^2$ à uma qualidade produtiva melhor.

Nas Figuras 40 e 41 são apresentadas a acurácia dos procedimentos ao longo dos arranjos. $P2$ e $P3$, não apresentaram redução de acurácia em qualquer dos testes, diferentemente de $P1$ e $P4$. Esse fato ocorreu devido à remoção de dados. Para o aprendizado de máquina do tipo supervisionado²², quanto mais informações o banco de dados apresentar para as classes ou grupos avaliados, mais informações estarão disponíveis para a modelagem e remodelagem, bem como para as partições de treinamento e validação pelo sistema.

Os procedimentos $P5$ e $P6$ apresentaram acurácias constantes pelos testes de validação relacionando somente a quantidade de soja produzida por área, como também da sua relação com o $CND-r^2$ (FIGURAS 41). Somente apresentou uma diminuição após o arranjo com 8 nutrientes. Contudo, os valores foram superiores aos quatros primeiros procedimentos ($P1$ a $P4$).

²² O objetivo do aprendizado supervisionado é compreender a relação que ocorre entre as entradas e as saídas fornecidas, para classificar ou organizar, os dados dentro de um conjunto de categorias pré-estabelecidas (Rolim et al., 2017).

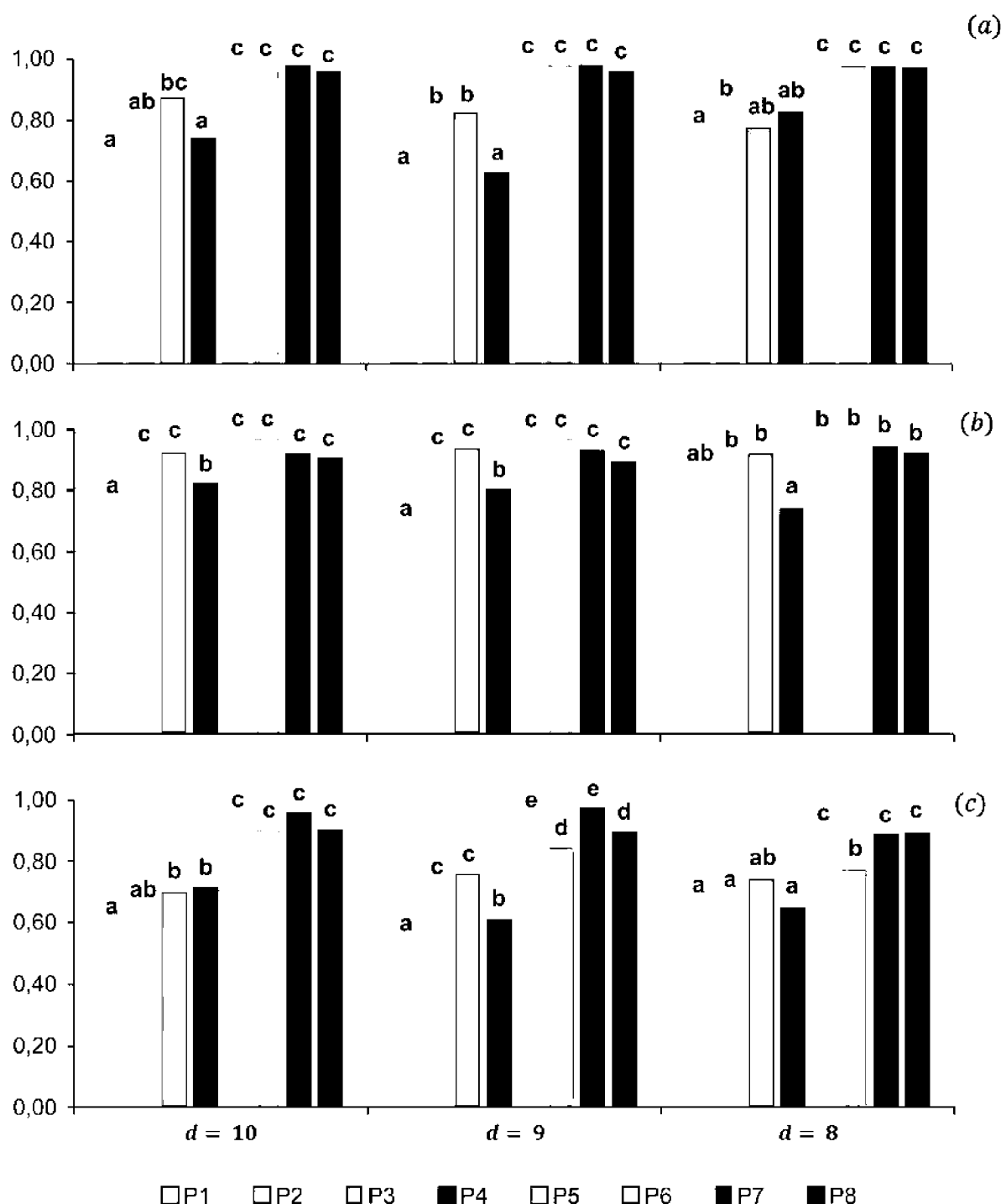
TABELA 13 – ACURÁCIA DOS PROCEDIMENTOS REALIZADOS, NA DETERMINAÇÃO DA CATEGORIA DE PRODUÇÃO ⁽¹⁾, COM BASE NA PRODUTIVIDADE ⁽²⁾ E NO ÍNDICE DE BALANÇO NUTRICIONAL ⁽²⁾ (CND-r²), EM TODOS OS ARRANJOS

Procedimentos	ACURÁCIA ⁽³⁾						
	<i>d</i> = 11 ⁽²⁾	<i>d</i> = 10	<i>d</i> = 9	<i>d</i> = 8	<i>d</i> = 7	<i>d</i> = 6	<i>d</i> = 5
Produtividade e CND-r²							
P1	56 %	68 %	62 %	75 %	75 %	73 %	84 %
P2	96 %	81 %	81 %	84 %	86 %	79 %	79 %
P3	84 %	88 %	83 %	78 %	83 %	77 %	86 %
P4	73 %	74 %	63 %	83 %	79 %	80 %	88 %
P5	99 %	98 %	98 %	98 %	97 %	97 %	98 %
P6	98 %	98 %	98 %	98 %	97 %	96 %	99 %
P7	99 %	98 %	98 %	98 %	98 %	97 %	99 %
P8	99 %	96 %	96 %	98 %	96 %	96 %	99 %
Produtividade							
P1	68 %	75 %	67 %	86 %	85 %	89 %	93 %
P2	92 %	93 %	91 %	90 %	91 %	93 %	91 %
P3	85 %	93 %	94 %	92 %	92 %	89 %	92 %
P4	72 %	83 %	81 %	74 %	78 %	85 %	93 %
P5	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %
P6	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %	97 %
P7	95 %	92 %	93 %	95 %	92 %	92 %	93 %
P8	97 %	91 %	90 %	93 %	93 %	91 %	95 %
CND-r²							
P1	49 %	58 %	52 %	65 %	69 %	68 %	72 %
P2	63 %	64 %	71 %	67 %	70 %	67 %	69 %
P3	75 %	70 %	76 %	74 %	72 %	67 %	71 %
P4	60 %	72 %	61 %	65 %	68 %	69 %	71 %
P5	94 %	94 %	94 %	89 %	82 %	80 %	74 %
P6	89 %	90 %	85 %	77 %	80 %	78 %	69 %
P7	97 %	96 %	98 %	89 %	83 %	79 %	73 %
P8	92 %	90 %	90 %	90 %	85 %	76 %	70 %

FONTE: O autor (2020).

⁽¹⁾ Baixa ou alta produtividade: variável dependente e categórica; ⁽²⁾ Variável independente ⁽³⁾ Valor médio das acurácias médias de cada teste obtidos por Validação Cruzada K-fold e Regressão logística; P1 = Procedimento padrão; P2 = Sem remoção de *outliers*; P3 = Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P4 = Com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*; P5 = PLC, sem remoção de *outliers*; P6 = PLC, com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P7 = PLC, com remoção de *outliers*; P8 = PLC, com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*.

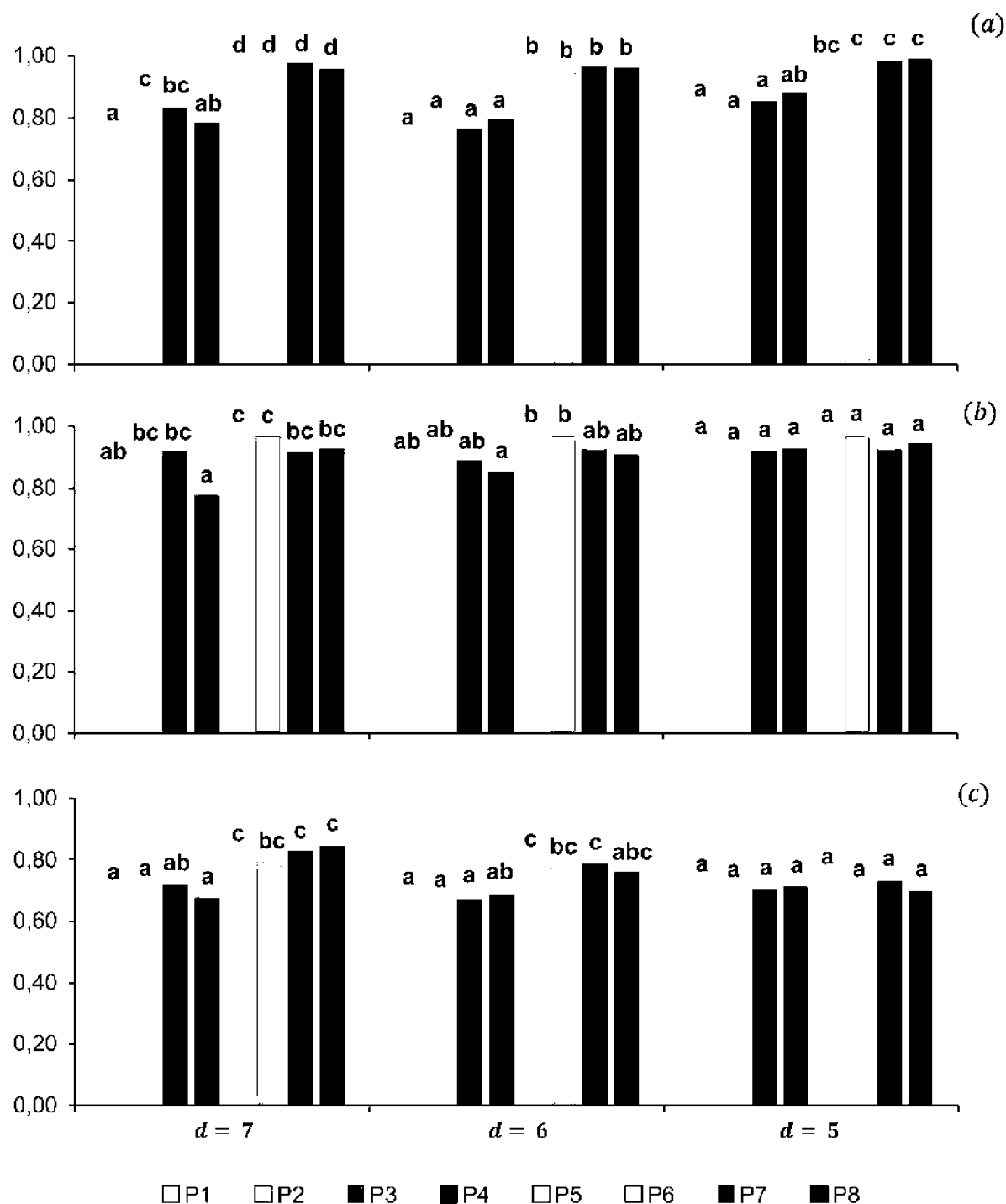
FIGURA 38 – ACURÁCIA MÉDIA DOS VARIADOS ARRANJOS DE NUTRIENTES ($d = \{10, 9 \text{ e } 8\}$) EM RELAÇÃO A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS



FONTE: O autor (2020).

Variáveis independentes: (a) CND- r^2 e produtividade da soja ($kg\ ha^{-1}$), (b) produtividade da soja ($kg\ ha^{-1}$) e (c) CND- r^2 ; P1 = Procedimento padrão; P2 = Sem remoção de *outliers*; P3 = Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P4 = Com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*; P5 = PLC, sem remoção de *outliers*; P6 = PLC, com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P7 = PLC, com remoção de *outliers*; P8 = PLC, com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*.

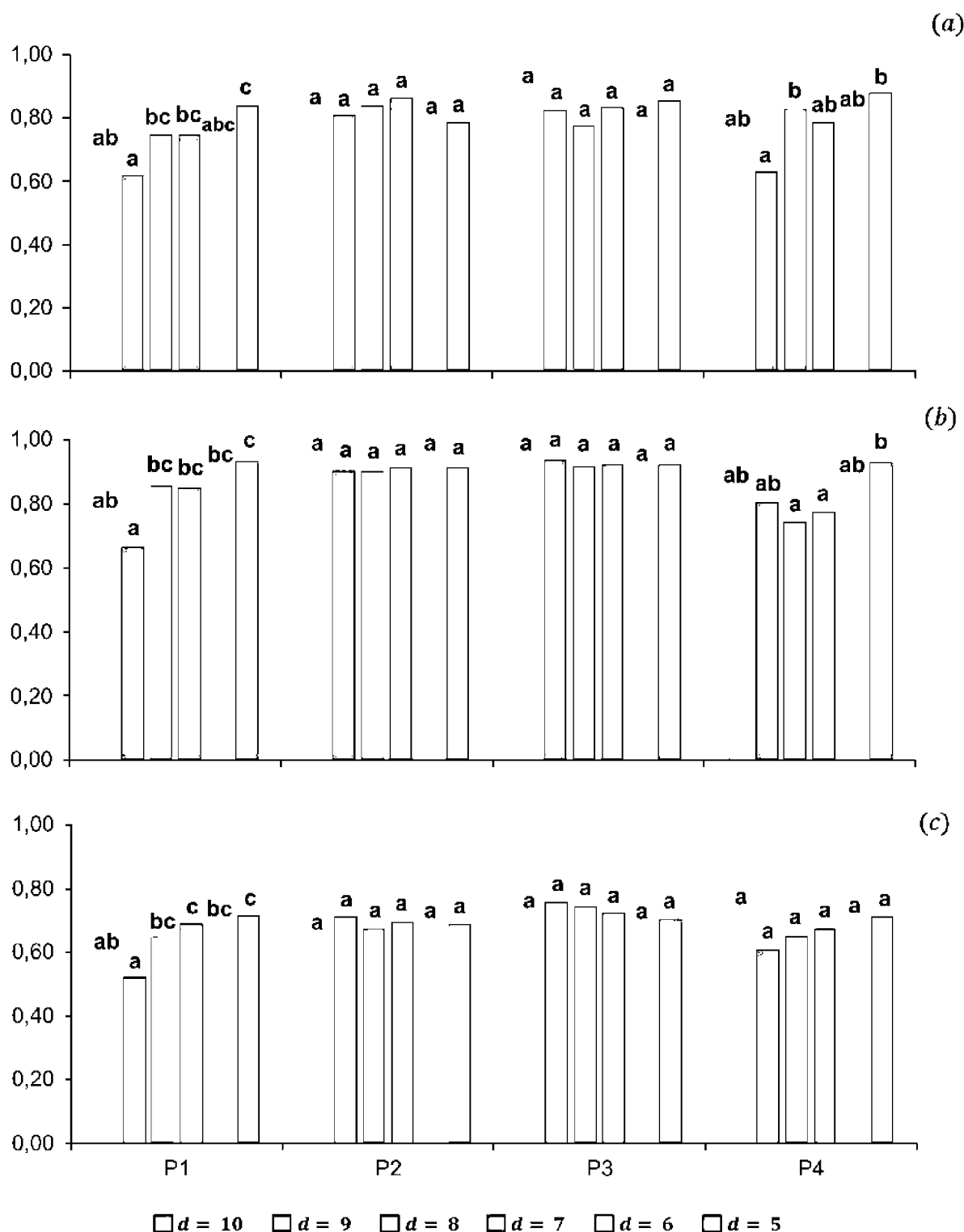
FIGURA 39 – ACURÁCIA MÉDIA DOS VARIADOS ARRANJOS DE NUTRIENTES ($d = \{7, 6 \text{ e } 5\}$) EM RELAÇÃO A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS



FONTE: O autor (2020).

Variáveis independentes: (a) CND- r^2 e produtividade da soja ($kg\ ha^{-1}$), (b) produtividade da soja ($kg\ ha^{-1}$) e (c) CND- r^2 ; P1 = Procedimento padrão; P2 = Sem remoção de *outliers*; P3 = Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P4 = Com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*; P5 = PLC, sem remoção de *outliers*; P6 = PLC, com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P7 = PLC, com remoção de *outliers*; P8 = PLC, com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*.

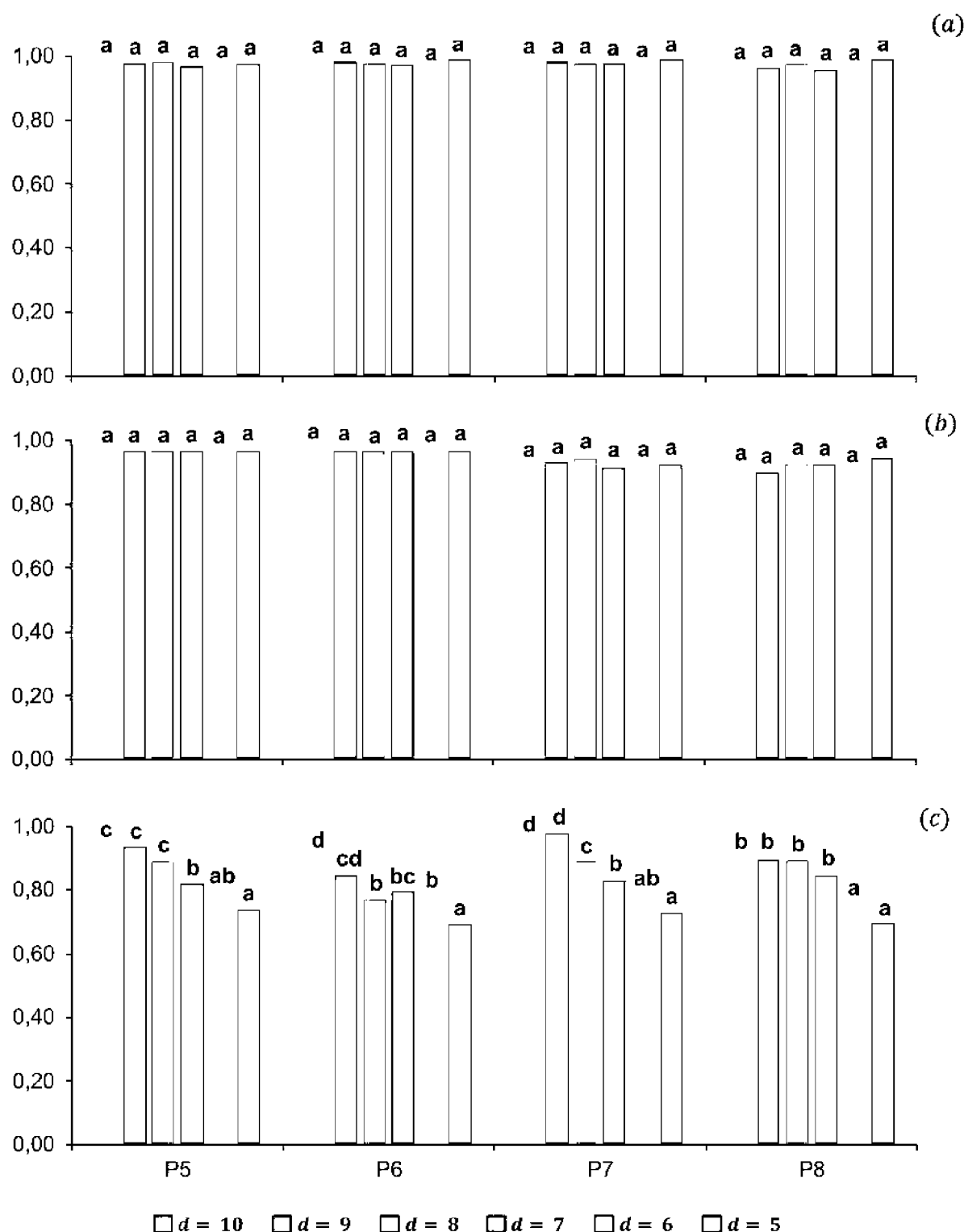
FIGURA 40 – ACURÁCIA MÉDIA DA NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS ($P = \{P1, P2, P3 \text{ e } P4\}$) EM RELAÇÃO AOS VARIADOS ARRANJOS DE NUTRIENTES



FONTE: O autor (2020).

Variáveis independentes: (a) CND- r^2 e produtividade da soja ($kg\ ha^{-1}$), (b) produtividade da soja ($kg\ ha^{-1}$) e (c) CND- r^2 ; P1 = Procedimento padrão; P2 = Sem remoção de *outliers*; P3 = Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P4 = Com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*.

FIGURA 41 – ACURÁCIA MÉDIA DA NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS (P = {P5, P6, P7 e P8}) EM RELAÇÃO AOS VARIADOS ARRANJOS DE NUTRIENTES



FONTE: O autor (2020).

Variáveis independentes: (a) CND- r^2 e produtividade da soja ($kg\ ha^{-1}$), (b) produtividade da soja ($kg\ ha^{-1}$) e (c) CND- r^2 ; P5 = PLC, sem remoção de *outliers*; P6 = PLC, com tratamento prévio dos dados e sem remoção de *outliers*; P7 = PLC, com remoção de *outliers*; P8 = PLC, com tratamento prévio dos dados e remoção de *outliers*.

4.6. CONCLUSÕES

- i) A matriz de correlação de Person não foi capaz de apresentar informações confiáveis, por demonstrar forte divergência das relações entre os nutrientes após o processo de redução da variabilidade dos dados;
- ii) o tratamento prévio dos dados, associados ao método PLC, reduziu o efeito da variabilidade, fazendo com que os procedimentos portadores desses mecanismos obtivessem os melhores resultados de eficácia e acurácia. A norma CND padrão foi o procedimento que mais foi prejudicado pela variabilidade;
- iii) os procedimentos que não removeram os *outliers* foram mais estáveis em todos os 52 cenários testados;
- iv) os testes de calibragem mostraram que os procedimentos foram concordantes, mas é necessária a expansão dos cenários avaliados, devendo, também, serem comparados os índices de magnésio, enxofre, manganês, zinco e ferro;
- v) devem ser utilizados outros métodos para a remoção dos dados aberrantes e de tratamento da variabilidade. Isso se torna necessário uma vez que o processo de amostragem e a forma como os nutrientes são quantificados, nem sempre são variáveis controladas ou conhecidas;
- vi) análises aprofundadas de técnicas de amostragem para a soja e de estudos da remobilização dos nutrientes no estágio R2, podem contribuir para a análise do equilíbrio nutricional e estabelecer margens para a interpretação dos índices.
- vii) caso os resultados dos índices não se mantenham concordantes em análises futuras, uma alternativa é avaliar a possibilidade da introdução de fatores de correção para o ajustamento dos dados. Cada nutriente apresenta um peso específico e relativo, mas ainda não há controle por mecanismo, previsto na norma, que permita ajustar o ponto de equilíbrio real entre os índices, conforme a remoção de nutrientes.

REFERÊNCIAS

Aitchison J. The statistical analysis of compositional data. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), v. 44, n. 2, p. 139-160, 1982.

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. IEEE transactions on automatic control. Notre Dame, v.19, n6, p. 717-723, 1974

Barth G, Francisco E, Suyama JT, Garcia F. Nutrient Uptake Illustrated for Modern, High-Yielding Soybean. Continuing Series: Nutrient Decision Support for Soybean Systems - Part 2 Better Crops, v. 102, n. 1, p. 11-14, 2018.

Bezerra RCA, Leite MLMV, Almeida MCR, Lucena LRR, Simões VJLP, Sales AT. Estimativa de área da lâmina foliar de Digitaria pentzii sob diferentes alturas de corte. Ciência Animal Brasileira, v. 21, 2020.

Cabral P. Erros e incertezas nas medições. 2004. Disponível em: <<http://www.peb.ufrj.br/cursos/ErrosIncerteza.pdf>>. Acesso: em 18 de janeiro de 2021.

Costa JA, Marquezan E. Características dos estádios de desenvolvimento da soja. Campinas: Fundação Cargill, 1982. 30p.

Dancey CP, Reidy J. Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows. Porto Alegre: Artmed; 2006.

De Almeida Menezes G, Nascimento JF, Menezes JESA, Feitosa CRS, Souza NF, Batista ACON. Aplicação de ferramentas de gestão da qualidade em Laboratório de Ensino em um Curso de Graduação em Química. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 8, p. 58743-58756, 2020.

De Menezes Filho ACP. Uso das técnicas por diafanização e modelagem matemática em 3D como métodos de contribuição e identificação foliar de Protium ovatum Engl. Revista Arquivos Científicos (IMMES), v. 3, n. 1, p. 78-87, 2020.

Fávero LP, Belfiore P, Silva FL da; Chan BL. Análise de dados – Modelagem multivariada para tomada de decisões. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

Fleiss JL. Statistical methods for rates and proportions. New York: John Wiley; 1981. p. 212-36.

Fontoura SMV, Vieira RCB, Bayer C, Ernani PB, Moraes RP. Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em latossolo sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 6, p. 1907-1914, 2010.

Gott RM, Aquino LA de, Carvalho AMX de, Santos, LPD, Nunes PHMP, Coelho, BS. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, n. 18, p.1110-1115, 2014.

Guimarães MJM, Filho MAC, Junior FAG, Silva MAM, Alves CVO, Lopes I. Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar de mandioca. Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, v. 62, 2019.

Guimarães PRB. Métodos quantitativos estatísticos. 1ed. Curitiba: IESDE Brasil SA; 2008.

Hara AT, Gonçalves ACA, Maller A, Hashiguti HT, Oliveira JM. Ajuste de modelo de predição de área foliar do feijoeiro em função de medidas lineares. *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 27, n. 2, p. 179-186, 2019.

Hinsinger P, Brauman A, Devau N, Gérard F, Jourdan C, Laclau JP, Cadre EL, Jaillard B, Plassard C. Acquisition of phosphorus and other poorly mobile nutrients by roots. Where do plant nutrition models fail? *Plant and Soil*, v. 348, p. 29–61, 2011.

Holanda SF, Rabelo BL, Bandeira IB, Ferreira EO. ERROS PRÉ-ANALÍTICOS E SUAS CONSEQUÊNCIAS NO DIAGNÓSTICO. *Mostra Científica em Biomedicina*, v. 3, n. 2, 2019.

IAPAR. Instituto Agrônômico do Paraná. Cartas climáticas do Paraná. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>>. Acesso em: 01 Dez. 2015.

Khiari L, Parent LÉ, Tremblay N. Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. *Agronomy Journal*, v. 93, p. 809-814, 2001a.

Khiari L, Parent LÉ, Tremblay N. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. *Agronomy Journal*, v. 93, p. 802-808, 2001b.

Khiari L, Parent LÉ, Tremblay N. The phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato. *Agronomy Journal*, v. 93, p. 815-819, 2001c.

Kurihara CH, Staut LA, Maeda S. Faixas de suficiência de nutrientes em folhas de soja, em Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, definidas pelo uso do método DRIS de diagnose do estado nutricional. In: *Reunião de Pesquisa de soja da Região Central do Brasil*, 30., 2008, Londrina. Resumos... Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Embrapa Soja. Documentos, 304).

Loken E, Gelman A. Measurement error and the replication crisis. *Science*, v. 355, n. 6325, p. 584-585, 2017.

Maia CE, Da Silva Neto JM, Braga AQC. Estimativa da área foliar do meloeiro irrigado em função do número de folhas. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 11, n. 2, p. 85-91, 2020.

Marschner P. Mineral nutrition of higher plants. 3 ed. London: Academic Press; 2012.

Martins APL, Reismann CB. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. *Scientia agraria*, 8:1-17, 2007.

Menard S. Applied logistic regression analysis. 2 ed. Sage University Papers Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, n. 07-106. Thousand Oaks, CA : Sage, 2001.

Miot HA. Análise de concordância em estudos clínicos e experimentais. *Jornal Vascular Brasileiro*, v. 15, n. 2, p. 89-92, 2016.

Parent LÉ, Dafir M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.117, p. 239-242, 1992.

Parent LÉ. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.33, p. 321-334, 2011.

Parent LÉ, Natale W, Ziadi N. Compositional nutrient diagnosis of corn using the Mahalanobis distance as nutrient imbalance index. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 89, p. 383-390, 2009.

Raschka S. Model Evaluation, Model Selection, and Algorithm Selection in Machine Learning. arXiv preprint arXiv:1811.12808, 2018.

Rolim V, Ferreira R, Costa E. Monitoring Educational Forums using Machine Learning (Utilização de Técnicas de Aprendizado de Máquina para Acompanhamento de Fóruns Educacionais). *Brazilian Journal of Computers in Education (Revista Brasileira de Informática na Educação - RBIE)*, v. 25, n. 3, p. 112-130, 2017.

Rozane DE, Natale W. Calagem, adubação e nutrição mineral de anonáceas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 36, p. 166-175, 2014.

Rozane DE, Natale W, Parent LE, Parent SÉ, Souza HÁ, Amorim DA. População de referência no diagnóstico da composição nutricional (CND) em Mangueiras. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013, Florianópolis. *Ciência do Solo: Para que e para quem? Programa & Resumos*. Florianópolis: Epagri e SBSCS, 2013.

Rozane DE, Natale W, Prado R de M, Barbosa JC. Amostragem para diagnose do estado nutricional de mangueiras. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 29, p. 371-376, 2007.

Rozane DE, Natale W, Prado R de M, Barbosa JC. Tamanho da amostra foliar para avaliação do estado nutricional de goiabeiras com e sem irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*; v. 13, p. 233-239, 2009a.

Rozane DE, Romualdo LM, Centurion JF, Barbosa JC. Dimensionamento do número de amostras para avaliação da fertilidade do solo. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, p.109-116, 2011.

Rozane DE, Souza, HA de, Prado R de M, Natale W, Franco CF, Leal RM. Influência do cultivar, do tipo de folha e do tempo de cultivo na medida indireta da clorofila (SPAD) em mudas de goiabeira. *Ciência e Agrotecnologia*; v. 33, p.1538-1543, 2009b.

SBSCS/NEPAR, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Núcleo do Paraná. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. Curitiba: SBSCS/NEPAR. 2017. 482 p.

SCHWARZ, G. Estimating the dimensional of a model. *Annals of Statistics*, Hayward, v. 6, n. 2, p. 461-464, 1978.

Silva FC. Manual de análises química de solo, plantas e fertilizantes. 2.ed. Brasília: Embrapa Informática Agropecuária. 2009. 627p.

Silva FDS, Silva NO, Oliveira TF, Reis MR, Aquino LA. Índices foliares na cultura da cenoura pelo método de diagnose da composição nutricional. Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics), p. 399-407, 2017.

Silva R de S, Paes AT. Por dentro da estatística. Educação Continuada em Saúde Einstein, n.10, v. 4, p.165-6, 2012.

Steckert C, Da Silva AP. Aplicabilidade de ferramentas da qualidade no controle de falhas do laboratório clínico. Inova Saúde, v. 9, n. 1, p. 115-128, 2019.

Tabacniks MH, Shibulska E, Olguin GS, Olguin S. Conceitos básicos da teoria de erros. 2003. Disponível em: <http://fap.if.usp.br/~tabacnik/tutoriais/tabacniks_concbasteorerr_rev2007.pdf>. Acesso em: 18 de janeiro de 2021.

Taiz L. The plant vacuole. Journal Experimental Biology, v. 172, p. 113-122, 1992.

Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. Artmed Editora; 2017.

Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD. Soil fertility and fertilizers. 4ed. New York : Macmillam, 1985. 754p.

Veloso CAC, Botelho SM, Viégas IJM, Rodrigues JELF. Amostragem e diagnose foliar. Embrapa Amazônia Oriental-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E), 2020.

5. CONCLUSÃO GERAL

- i)* Por meio dos experimentos realizados na Tese, foi possível identificar comportamentos seletivos entre mudas de citros em que apresentavam diferentes intensidades, ritmos e horários de maior atividade no processo de absorção de nutrientes;
- ii)* compreender a neurobiologia vegetal exige muito mais do que conhecer os seus princípios fisiológicos, é necessário conhecer de maneira integrada como o sistema vegetal reage e se adapta ao ambiente ao longo do tempo;
- iii)* a neurobiologia necessita de estudos multidisciplinares para que os avanços sejam mais expressivos;
- iv)* para a melhoria dos processos em que visam ganhos substanciais na qualidade de uma cultura vegetal, é necessário desenvolver modelos e mecanismos versáteis;
- v)* caso as repetições de um conjunto amostral não sejam homogêneas quanto à idade, ao ritmo e ao hábito de absorção de nutrientes, é recomendado avaliar os parâmetros cinéticos e o influxo das plantas de forma individual;
- vi)* Não é recomendado utilizar equações de regressão para se determinar os parâmetros cinéticos, quando o sistema não é conservativo;
- vii)* Pelo método PLC foi possível realizar estudos para os parâmetros cinéticos e para a norma CND, de forma superior aos métodos padrão.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitos argumentos foram levantados sobre o fato de as plantas não apresentarem cérebro. Mas como visto na revisão de literatura, a não existência de uma estrutura similar não implica que estruturas diferentes morfologicamente possam realizar tarefas complexas como a do cérebro. Existem muitas lacunas sobre os locais em que estão dispostas essas estruturas especializadas. Mas, é importante destacar, que estudos fisiológicos, em geral, também carecem de mais estudos para que sejam desvendadas muitas rotas biológicas.

Para a tese, o ideal seria ter sido utilizado a mesma cultura para avaliação dos parâmetros cinéticos, influxo e o equilíbrio nutricional. Dessa forma, seria possível estabelecer mais relações pertinentes dentro da caixa-preta, enriquecendo a análise e os argumentos expostos. Contudo, diante da complexidade dos experimentos e limitações técnicas, não foi possível proceder dessa maneira.

É importante destacar que existem muitas relações indiretas que necessitam ser mais exploradas. Como, por exemplo, o fluxo iônico no sentido das raízes até as folhas e das folhas até às raízes, associados com os sinais elétricos, mecânicos e hidráulicos produzidos, e como isso afeta o comportamento das plantas. Também é essencial determinar a qualidade desses sinais com base nas concentrações de nutrientes (solo e folhas), horário do dia e as variáveis climáticas, e qual o impacto que o desequilíbrio nutricional promove na intensidade dos potenciais de ação.

A próxima etapa do Projeto Noûsciber será a abstração dos sinais observados em séries temporais, a fim de identificar a matriz geradora dos sinais. Também será desenvolvido um robô sentinela capaz de detectar e investigar biofisicamente os sinais elétricos produzidos pelas plantas, e avaliar as condições e as características do sistema água-solo-planta-atmosfera, utilizando o sistema eletrofisiológico como sensor natural.

REFERÊNCIAS

- Abramson CI, Chicas-Mosier AM. Learning in Plants: Lessons from *Mimosa pudica*. *Frontiers in Psychology*, v. 7, n. 417, 2016.
- Ahmad I, Maathuis FJM. Cellular and tissue distribution of potassium: physiological relevance, mechanisms and regulation. *Journal of Plant Physiology*, v. 171, p. 708–714. 2014.
- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*. Notre Dame, v.19, n6, p. 717-723, 1974.
- Akpınar BA, Avsar B, Lucas SJ, Budak H. Plant abiotic stress signaling. *Plant Signaling & Behavior*, v. 7, n. 11, p.1450-5. 2012.
- A.I. - Inteligência Artificial – “*A.I. Artificial Intelligence*”. Direção: Spielberg S. Produção: Kennedy K, Spielberg S, Curtis B, Amblin Entertainment, Stanley Kubrick Productions. Estados Unidos: Warner Bros. 2001.
- Aitchison J. The statistical analysis of compositional data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, v. 44, n. 2, p. 139-160, 1982.
- Albert JS, Crampton WGR. Electoreception and electrogenesis. In: Evans DH, Claiborne JB. (eds). *The Physiology of Fishes*, 3ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. Cap 12, 429-470p.
- Anand S, Das A, Frederick S. Human Relationship in the Technological Era with Special Reference to Isaac Asimov’s Select Fiction: A Posthumanistic Perspective. *Online International Interdisciplinary Research Journal*, Volume-09, 2019.
- Anderson SL. Asimov’s “Three Laws of Robotics” and Machine Metaethics. In: *Science fiction and philosophy: from time travel to superintelligence*. John Wiley & Sons, 2016
- Anger K. Patterns of growth and chemical composition in decapod crustacean larvae. *Invertebrate Reproduction & Development*, v. 33, n. 2-3, p. 159-176, 1998.
- Applewhite PB. Behavioral plasticity in the sensitive plant, *Mimosa*. *Behavioral Biology*, v. 7, n. 1, p. 47-53, 1972.
- Aung K, Jiang Y, He SY. The role of water in plant–microbe interactions. *The Plant Journal*, v. 93, p. 771–780. 2018.
- Assassin’s Creed: Valhalla. Direção: Ismail A, Baptizat E. Produção: Laferrière. Ubisoft. Sony PS5. 2020.
- Bakhtin, M. *Estética da criação verbal*. 5 ed. São Paulo : WMF Martins Fontes, 2010. 512 p.

Baluška F, Mancuso S. Deep evolutionary origins of neurobiology: Turning the essence of neural upside-down. *Communicative & integrative biology*, v. 2, n. 1, p. 60-65, 2009a.

Baluška F, Mancuso S. Plant neurobiology: from stimulus perception to adaptive behavior of plants, via integrated chemical and electrical. *Plant Signaling & Behavior*, v. 4, n. 6, p. 475-476. 2009b.

Baluskas F, Mancuso S. Plants and animals: convergent evolution in action? In: *Plant-environment interactions*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 285-301. 2009c.

Barlow PW. Reflections on 'plant neurobiology'. *Biosystems*, v. 92, n. 2, p. 132-147, 2008.

Barth G, Francisco E, Suyama JT, Garcia F. Nutrient Uptake Illustrated for Modern, High-Yielding Soybean. Continuing Series: Nutrient Decision Support for Soybean Systems - Part 2 *Better Crops*, v. 102, n. 1, p. 11-14, 2018.

Beilby MJ, Casanova MT. The Characean Plant. In: BEILBY, Mary J.; CASANOVA, Michelle T. (Orgs.). *The Physiology of Characean Cells*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, p. 1-42.

Berardinelli A. A forma do ensaio e suas dimensões. *Remate de Males*, v. 31, n. 1-2, p. 25-33, 2011.

Bezerra RCA, Leite MLMV, Almeida MCR, Lucena LRR, Simões VJLP, Sales AT. Estimativa de área da lâmina foliar de *Digitaria pentzii* sob diferentes alturas de corte. *Ciência Animal Brasileira*, v. 21, 2020.

Braga TBM, Farinha MG. Heidegger: em busca de sentido para a existência humana. *Revista da Abordagem Gestáltica: Phenomenological Studies*, v. 23, n. 1, p. 65-73, 2017.

Boeuf G, Le Bail PY. Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture*, v. 177, n. 1-4, p. 129-152, 1999.

Bodznick D, Montgomery JC. The physiology of low-frequency electrosensory systems. In: BULLOCK, T.H.; HOPKINS, C.D.; POPPER, A.N. & FAY, R.R. (eds). *Electroreception*. New York: Springer, 2005. 132-153p.

Brenner ED, Stahlberg R, Mancuso S, Vivanco J, Baluška F, Volkenburgh EV. Plant neurobiology: an integrated view of plant signaling. *Trends in plant science*, v. 11, n. 8, p. 413-419, 2006.

Burdon-Sanderson JS. Note on the electrical phenomena which accompany irritation of the leaf of *Dionaea muscipula*. *Proceedings of the Royal Society of London*, v. 21, n. 139-147, p. 495-496, 1873.

Cabral P. Erros e incertezas nas medições. 2004. Disponível em: <<http://www.peb.ufrrj.br/cursos/ErrosIncertezas.pdf>>. Acesso: em 18 de janeiro de 2021.

Cahill J F, McNickle GG, Haag JJ, Lamb EG, Nyanumba SM, Clair CCS. Plants integrate information about nutrients and neighbors. *Science*, v. 328, n. 5986, p. 1657-1657, 2010.

Calvo P, Baluška F, Sims A. “Feature detection” vs. “predictive coding” models of plant behavior. *Frontiers in psychology*, v. 7, p. 1505, 2016.

Calvo P, Friston K. Predicting green: really radical (plant) predictive processing. *Journal of the Royal Society Interface*, v. 14, n. 131, 2017.

Calvo P, Gagliano M, Souza GM, Trewavas A. Plants are intelligent, here’s how. *Annals of botany*, v. 125, n. 1, p. 11-28, 2020.

Calvo P. The philosophy of plant neurobiology: a manifesto. *Synthese*, v. 193, n. 5, p. 1323-1343, 2016.

Calvo P, Sahi V, Trewavas A. Are plants sentient? *Plant, Cell & Environment*, v. 40, n. 11, p. 2858-2869, 2017a.

Calvo P, Sahi V, Trewavas A. Could Plants Be Sentient? *BioRxiv*, p. 121731, 2017b.

Carnarini A, Kaiser C, Merchant A, Richter A, Wanek W. Root exudation of primary metabolites: mechanisms and their roles in plant responses to environmental stimuli. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, n. 157, p. 1-19. 2019.

Carpenter AD. Embodied intelligent (?) souls: plants in Plato’s *Timaeus*. *Phronesis*, v. 55, n. 4, p. 281-303, 2010

Chamovitz DA. Plants are intelligent; now what? *Nature plants*, v. 4, n. 9, p. 622-623, 2018.

Chang YJ et al. Modelling the growth of crustacean species. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, v. 22, n. 1, p. 157-187, 2012.

Claassen N, Barber S. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants. *Plant Physiol*, v. 54, p. 564–568, 1974.

Clarke D, Whitney H, Sutton G; *et al.* Detection and Learning of Floral Electric Fields by Bumblebees. *Science*, v. 340, n. 6128, p. 66–69, 2013.

Clarke R. Asimov's laws of robotics: implications for information technology-Part I. *Computer*, v. 26, n. 12, p. 53-61, 1993.

Clarke R. Asimov's laws of robotics: Implications for information technology-Part II. *Computer*, v. 27, n. 1, p. 57-66, 1994.

Cole JC, Smith MW, Penn CJ, Cheary BS, Conaghan KJ. Nitrogen, phosphorus, calcium, and magnesium applied individually or as a slow release or controlled release fertilizer increase growth and yield and affect macronutrient and micronutrient concentration and content of field-grown tomato plants. *Scientia Horticulturae*, v.211, p.420-430. 2016.

Corey DD. Voegelin and Aristotle on Nous: What is Noetic Political Science? *The Review of Politics*, v. 64, n. 01, p. 57-79, 2002.

Costa JA, Marquezan E. Características dos estádios de desenvolvimento da soja. Campinas: Fundação Cargill, 1982. 30p.

Costa MFV, Arauz VAR. LIMITES E POSSIBILIDADES DAS PERSONAGENS AUTÔMATAS EM “EU, ROBÔ”, DE ISAAC ASIMOV. 2018. Disponível em: <http://www.filologia.org.br/xxii_cnlf/completo/limites_e_possibilidades_MONIZE.pdf>. Acesso em: 21 de dezembro de 2020.

Cupani A. O. Filosofia da tecnologia: um convite. 3. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2016. 233 p.

Cúri SMF. Estudo sobre o noûs em Homero, Hesíodo e Lírica. PUC-SP. 2000, p. 45. (Dissertação de Mestrado).

Cvrčková F, Lipavská H, Žárský V. Plant intelligence: why, why not or where? *Plant Signaling & Behavior*, v. 4, n. 5, p. 394-399, 2009.

Czech-Damal NU, Liebschner A, Miersch L, Klauer G, Hanke FD, Marshall C, Dehnhardt G, Hanke W. Electoreception in the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*). *Proceedings of the Royal Society B*, v. 279, p. 663-668, 2012.

Dancey CP, Reidy J. Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows. Porto Alegre: Artmed; 2006.

Davenport TH, Ronanki R. Artificial intelligence for the real world. *Harvard business review*, v. 96, n. 1, p. 108-116, 2018.

De Almeida Menezes G, Nascimento JF, Menezes JESA, Feitosa CRS, Souza NF, Batista ACON. Aplicação de ferramentas de gestão da qualidade em Laboratório de Ensino em um Curso de Graduação em Química. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 8, p. 58743-58756, 2020.

De Los Ríos-Méndez J, Kanamori GA, Landaeta MF. Lunar influences in the diet habits and selectivity of larval clingfish *Gobiesox marmoratus*. *Journal of fish biology*, v. 95, n. 3, p. 833-846, 2019.

De Menezes Filho ACP. Uso das técnicas por diafanização e modelagem matemática em 3D como métodos de contribuição e identificação foliar de *Protium ovatum* Engl. *Revista Arquivos Científicos (IMMES)*, v. 3, n. 1, p. 78-87, 2020.

Detroit: Become Human. Direção: Cage D. Produção: Buhl S. Quantic Dream. 2018. Sony PS4. 1 Blu-Ray.

Del Dottore ED, Mondini A, Sadeghi A, Mozzolai B. Swarming Behavior Emerging from the Uptake–Kinetics Feedback Control in a Plant-Root-Inspired Robot. *Applied Sciences*, v. 8, n. 47, p. 1-16, 2018.

Eu, robô – “I, robot”. Direção: Proyas A. Produção: Davis J, Smith W, Lassiter J, Mediastream IV, Davis Entertainment, Laurence Mark Productions, Overbrook Entertainment, Canlaws productions. Estados Unidos: Twentieth Century Studios. 2004.

Evert RF, Eichhorn SE. Raven: biologia vegetal. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

Fávero LP, Belfiore P, Silva FL da; Chan BL. Análise de dados – Modelagem multivariada para tomada de decisões. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

Fermaniuk CL. The Smart Plant: A Look into the Controversy Behind Plant Intelligence. *MacEwan University Student eJournal*, v. 4, n. 1, 2020.

Fim dos Tempos – “The Happening”. Direção: Shyamalan MN. Produção: Shyamalan MN, Mendel B, Mercer S, Twentieth Century Studios, Spyglass Entertainment. Estados Unidos: Twentieth Century Studios. 2008.

Flannery MC. Do plants have to be intelligent? *The American Biology Teacher*, v. 64, n. 8, p. 628-633, 2002.

Firn R. Plant intelligence: an alternative point of view. *Annals of Botany*, v. 93, n. 4, p. 345-351, 2004.

Fleiss JL. Statistical methods for rates and proportions. New York: John Wiley; 1981. p. 212-36.

Fontoura SMV, Vieira RCB, Bayer C, Ernani PB, Moraes RP. Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 6, p. 1907-1914, 2010.

Freeth T, Bitsakis Y, Moussas X, Seiradakis JH, Tselikas A, Mangou H, Zafeiropoulou M, Hadland R, Bate D, Ramsey A, Allen M, Crawley A, Hockley P, Malzbender T, Gelb D, Ambrisco W, Edmunds MG. Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism. *Nature*, v. 444, p. 587-591, 2006.

Freeth T, Jones A, Steele JM, Bitsakis Y. Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism. *Nature*, v. 454, p. 614-617, 2008.

Fromm J. Long-Distance Electrical Signaling and Physiological Functions in Higher Plants. In: Volkov AG. *Plant electrophysiology: theory and methods*. Verlag, Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.

Gagliano M, Vyazovskiy VV, Borbély AA, Grimonprez M, Depczynski M. Learning by Association in Plants. *Scientific Reports*, v. 6, n. 38427, 2016.

Garzón PC, Keijzer F. Cognition in plants. In: *Plant-environment interactions*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. p. 247-266.

God of War. Direção: Barlog C. Produção: Wang ED, Llewellyn S, Cox C, Fong E. Santa Monica Studio. 2018. Sony PS4. 1 Blu-Ray.

Gott RM, Aquino LA de, Carvalho AMX de, Santos, LPD, Nunes PHMP, Coelho, BS. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, n. 18, p.1110-1115, 2014.

Graf A, Schlereth A, Stitt M, Smith AM. Circadian control of carbohydrate availability for growth in *Arabidopsis* plants at night. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.107, p. 9458–9463, 2010.

Guimarães MJM, Filho MAC, Junior FAG, Silva MAM, Alves CVO, Lopes I. Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar de mandioca. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v. 62, 2019.

Guimarães PRB. Métodos quantitativos estatísticos. 1ed. Curitiba: IESDE Brasil SA; 2008.

Hara AT, Gonçalves ACA, Maller A, Hashiguti HT, Oliveira JM. Ajuste de modelo de predição de área foliar do feijoeiro em função de medidas lineares. *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 27, n. 2, p. 179-186, 2019.

Harris J. Reading the minds of those who never lived. Enhanced beings: The social and ethical challenges posed by super intelligent AI and reasonably intelligent humans. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics*, v. 28, n. 4, p. 585-591, 2019.

He W, Li Z, Chen CLP. A survey of human-centered intelligent robots: issues and challenges. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, v. 4, n. 4, p. 602-609, 2017.

Hedrich R, Salvador-Recatalà V, Dreyer I. Electrical wiring and long-distance plant communication. *Trends in Plant Science*, v. 21, n. 5, p. 376-387. 2016.

Hinsinger P, Brauman A, Devau N, Gérard F, Jourdan C, Laclau JP, Cadre EL, Jaillard B, Plassard C. Acquisition of phosphorus and other poorly mobile nutrients by roots. Where do plant nutrition models fail? *Plant and Soil*, v. 348, p. 29–61, 2011.

Hofmann V, Sanguinetti-Scheck JI, Künzel S, Geurten B, Gómez-Sena L, Engelmann J. Sensory flow shaped by active sensing: sensorimotor strategies in electric fish. *The Journal of Experimental Biology*, v. 216, p. 2487-2500, 2013.

Holanda SF, Rabelo BL, Bandeira IB, Ferreira EO. ERROS PRÉ-ANALÍTICOS E SUAS CONSEQUÊNCIAS NO DIAGNÓSTICO. *Mostra Científica em Biomedicina*, v. 3, n. 2, 2019.

Horizon: Zero Dawn. Direção: Jonge M de. Produção: Muller L. Guerrilla Games. Sony PS4. 2017. 1 Blu-Ray.

IAPAR. Instituto Agrônômico do Paraná. Cartas climáticas do Paraná. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>>. Acesso em: 01 Dez. 2015.

Inostroza-Blancheteau C, Aquea F, Moraga F, Ibañez C, Rengel Z, Reyes-Díaz M. Genetic Engineering and Molecular Strategies for Nutrient Manipulation in Plants, in: NAEEM M, ANSARI AA, GILL SS. Essential Plant Nutrients: Uptake, Use Efficiency, and Management. Cham: Springer International Publishing, 2017, p. 405–441.

Interestelar – “Interstellar”. Direção: Nollan C. Produção: Thomas E, Nollan C., Obst L, Legendary Pictures, Syncopy Films, Lynda Obst Productions. Estados Unidos: Warner Bros. 2014.

James O, Tunzelmann E von, Franklin P, Thorne KS. Gravitational lensing by spinning black holes in astrophysics, and in the movie Interstellar. *Classical and Quantum Gravity*, v. 32, p. 1-41, 2015a.

James O, Tunzelmann E von, Franklin P, Thorne KS. Visualizing Interstellar's Wormhole. *American Journal of Physics*, v. 83, n. 486, 2015b.

Johnson JA. Dr. Frankenstein, I Presume? Revising the Popular Image of Frankenstein. *Literature and Medicine*, v. 36, n. 2, p. 287-311, 2018.

Jonsson B, Jonsson N. Early environment influences later performance in fishes. *Journal of Fish Biology*, v. 85, n. 2, p. 151-188, 2014.

Jubaer SMOF. The of artificial intelligence and Isaac Asimov's three laws of advanced mechanics in the United State of America. 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Shah_Jubaer/publication/344461915_The_Artificial_intelligence_and_Isaac_Asimov's_three_laws_of_advanced_mechanics_in_the_United_State_of_America/links/5f78ad52299bf1b53e0c1944/The-Artificial-intelligence-and-Isaac-Asimovs-three-laws-of-advanced-mechanics-in-the-United-State-of-America.pdf>. Acesso em: 21 de dezembro de 2020.

Kajiura SM, Holland KN. Electoreception in juvenile scalloped hammerhead and sandbar sharks. *The Journal of Experimental Biology*, v. 205, p. 3609-3621, 2002.

Khiari L, Parent LÉ, Tremblay N. Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. *Agronomy Journal*, v. 93, p. 809-814, 2001a.

Khiari L, Parent LÉ, Tremblay N. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. *Agronomy Journal*, v. 93, p. 802-808, 2001b.

Khiari L, Parent LÉ, Tremblay N. The phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato. *Agronomy Journal*, v. 93, p. 815-819, 2001c.

Kumar A, Memo M, Mastinu A. Plant behaviour: an evolutionary response to the environment? *Plant Biology*, v. 22, n. 6, p. 961-970, 2020.

Kurihara CH, Staut LA, Maeda S. Faixas de suficiência de nutrientes em folhas de soja, em Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, definidas pelo uso do método DRIS de diagnose do estado nutricional. In: *Reunião de Pesquisa de soja da Região Central do Brasil*, 30., 2008, Londrina. Resumos... Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Embrapa Soja. Documentos, 304).

Lingham-Soliar T. The vertebrate integument volume 1: origin and evolution. Heidelberg; New York; Dordrecht; London: Springer, 2014. 268p.

Lihoreau M, RAINE NE. Bee positive: the importance of electroreception in pollinator cognitive ecology. *Frontiers in Psychology*, v. 4, 2013.

Loken E, Gelman A. Measurement error and the replication crisis. *Science*, v. 355, n. 6325, p. 584-585, 2017.

Long WC. A new quantitative model of multiple transitions between discrete stages, applied to the development of crustacean larvae. 2016. Disponível em: <<https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/12544>>. Acesso em: 14 de novembro de 2020.

Lopes WES. Gilbert Simondon e uma filosofia biológica da técnica. *Scientiæ Studia*, v. 13, n. 2, p. 307-34, 2015.

Lu H, Li Y, Chen M, Kim H, Serikawa S. Brain intelligence: go beyond artificial intelligence. *Mobile Networks and Applications*, v. 23, n. 2, p. 368-375, 2018.

Macedo FCO, Dziubinska H, Trebacz K.; *et al.* Action potentials in abscisic acid-deficient tomato mutant generated spontaneously and evoked by electrical stimulation. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 37, n. 10, p. 207, 2015.

Maia CE, Da Silva Neto JM, Braga AQC. Estimativa da área foliar do meloeiro irrigado em função do número de folhas. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 11, n. 2, p. 85-91, 2020.

Marder M. Plant intelligence and attention. *Plant signaling & behavior*, v. 8, n. 5, p. e23902, 2013.

Marder M. Plant intentionality and the phenomenological framework of plant intelligence. *Plant signaling & behavior*, v. 7, n. 11, p. 1365-1372, 2012.

Marino-Cicinelli S. "The Fantastic Reality: Two Separate Worlds? Analysis of The Perception In Front Of An Alternative World". *Brumal. Revista de investigación sobre lo fantástico*, [online], v. 7, n. 1, p. 231-47, 2019.

Marschner P. Mineral nutrition of higher plants. 3 ed. London: Academic Press; 2012.

Martinez CB, García E de la P. Thermosensation. In: GALIZIA, C.G. & LLEDO, P.M. *Neurosciences - from molecule to behavior: a university textbook*. Verlag; Berlin; Heidelberg: Springer, cap 19, p. 409-426, 2013.

Martins APL, Reismann CB. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. *Scientia agraria*, 8:1-17, 2007.

Massa D, Mattson NS, Lieth HJ. Effects of saline root environment (NaCl) on nitrate and potassium uptake kinetics for rose plants: a Michaelis–Menten modelling approach. *Plant Soil*, 318, 101-115, 2009.

Matrix – “*The Matrix*”. Direção: Wachowski L, Wachowski L. Produção: Silver J, Village Roadshow, Silver Pictures. Estados Unidos: Warner Bros. 1999.

Menard S. *Applied logistic regression analysis*. 2 ed. Sage University Papers Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, n. 07-106. Thousand Oaks, CA : Sage, 2001.

Miot HA. Análise de concordância em estudos clínicos e experimentais. *Jornal Vascular Brasileiro*, v. 15, n. 2, p. 89-92, 2016.

Mouritsen H. The Magnetic Senses. In: Galizia CG, Lledo PM. *Neurosciences - from molecule to behavior: a university textbook*. Verlag; Berlin; Heidelberg: Springer, cap 19, p. 409-426, 2013.

Moyes CD, Schulte PM. *Princípio da fisiologia animal*. 2ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 756p.

Murphy R, Woods DD. Beyond Asimov: the three laws of responsible robotics. *IEEE intelligent systems*, v. 24, n. 4, p. 14-20, 2009.

Nelson ME, Maciver MA. Sensory acquisition in active sensing systems. *Journal of Comparative Physiology A*, v. 192, n. 6, p. 573-586, 2006.

Newland PL, Hunt E, Sharkh SM, Hama N, Takahata M, Jackson CW. Static electric field detection and behavioural avoidance in cockroaches. *The Journal of Experimental Biology*, v. 211, p. 3682-3690, 2008.

Northfield R. The accuracy of Asimov. *Engineering & Technology*, v. 14, n. 6, p. 66-67, 2019.

Oblivion. Direção: Kosinski J. Produção: Kosinski J, Chermin P, Clark D, Levine B, Henderson D. Estados Unidos: Universal Pictures. 2013

Orlov AA, Golubtsov VD, Baron VD, Pavlov DS. Bioelectric Fields of the African Marbled Lungfish *Protopterus aethiopicus* (Sarcopterygii: Protopteridae), African (*Heterotis niloticus*) and South American Silver (*Osteoglossum bicirrhosum*) Arowanas (Actinopterygii: Osteoglossidae): Primitive Electrogenesis? *Journal of Ichthyology*, v. 55, n. 6, p. 874–879, 2015.

Osse JWM. et al. Priorities during early growth of fish larvae. *Aquaculture*, v. 155, n. 1-4, p. 249-258, 1997.

Osse JWM, Van den Boogaart JGM. Fish larvae, development, allometric growth, and the aquatic environment. In: *ICES Marine Science Symposia*. Copenhagen, Denmark: International Council for the Exploration of the Sea, 1991-, 1995. p. 21-34.

Parent LÉ, Dafir M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.117, p. 239-242, 1992.

Parent LÉ. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.33, p. 321-334, 2011.

Parent LÉ, Natale W, Ziadi N. Compositional nutrient diagnosis of corn using the Mahalanobis distance as nutrient imbalance index. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 89, p. 383-390, 2009.

Pereira FL, Pisetta LMR. Casos de polissemia e escolhas de tradução do conto O pequeno robot perdido, de Isaac Asimov. *Tradterm*, v. 35, p. 25-48, 2020.

Pettigrew JD. Electoreception in monotremes. *The Journal of Experimental Biology*, v. 202, n. 10, p. 1447-1454, 1999.

Pickard BG. Action potentials in higher plants. *The Botanical Review*, v. 39, n. 2, p. 172-201, 1973.

Pina K. Liberdade poética: poemas. Sinapis Editores, 2000. 88 p.

Platão. Republic. Tradução Paul Shorey. Ed. bilíngüe. Cambridge: Havard University Press, 1994.

Pollan M. The intelligent plant. 2013. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/The-intelligent-plant---Michael-Pollan.pdf>. Acesso em: 25 de dezembro de 2020.

Raghavendra, A.S.; Govindjee, G. Sir Jagadish Chandra Bose (1858–1937): A Pioneer in Photosynthesis Research and Discoverer of Unique Carbon Assimilation in Hydrilla. In: Raghavendra, A.S.; Sage, R.F. *C₄ Photosynthesis and Related CO₂ Concentrating Mechanisms*. Springer Science+Business Media B.V, 2011.

Ralph B. ASIMOV AND THE ANTHROPOCENE. In: *Kepler452b: a speculative fiction magazine*. 2017. Disponível em: <<https://www.usq.edu.au/bela/school-of-creative-arts/kepler452b-magazine>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2020.

Raschka S. Model Evaluation, Model Selection, and Algorithm Selection in Machine Learning. arXiv preprint arXiv:1811.12808, 2018.

Rolim V, Ferreira R, Costa E. Monitoring Educational Forums using Machine Learning (Utilização de Técnicas de Aprendizado de Máquina para Acompanhamento de

Fóruns Educacionais). Brazilian Journal of Computers in Education (Revista Brasileira de Informática na Educação - RBIE), v. 25, n. 3, p. 112-130, 2017.

Rozane DE, Natale W. Calagem, adubação e nutrição mineral de anonáceas. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 36, p. 166-175, 2014.

Rozane DE, Natale W, Parent LE, Parent SÉ, Souza HÁ, Amorim DA. População de referência no diagnóstico da composição nutricional (CND) em Mangueiras. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013, Florianópolis. Ciência do Solo: Para que e para quem? Programa & Resumos. Florianópolis: Epagri e SBCE, 2013.

Rozane DE, Natale W, Prado R de M, Barbosa JC. Amostragem para diagnose do estado nutricional de mangueiras. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 29, p. 371-376, 2007.

Rozane DE, Natale W, Prado R de M, Barbosa JC. Tamanho da amostra foliar para avaliação do estado nutricional de goiabeiras com e sem irrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental; v. 13, p. 233-239, 2009a.

Rozane DE, Romualdo LM, Centurion JF, Barbosa JC. Dimensionamento do número de amostras para avaliação da fertilidade do solo. Semina: Ciências Agrárias., v. 32, p.109-116, 2011.

Rozane DE, Souza, HA de, Prado R de M, Natale W, Franco CF, Leal RM. Influência do cultivar, do tipo de folha e do tempo de cultivo na medida indireta da clorofila (SPAD) em mudas de goiabeira. Ciência e Agrotecnologia.; v. 33, p.1538-1543, 2009b.

Ruiz H. Estimativa dos parâmetros cinéticos K_m e V_{max} por uma aproximação gráfico-matemática. Ceres, v. 32, n. 179, p.79–84, 1985.

Sand, A. The function of the ampullae of Lorenzini, with some observations on the effect of temperature on sensory rhythms. Proceedings of the Royal Society B, 125: 524-553, 1938.

Santos E. A diluição da fronteira entre sociedade e natureza e a dimensão ontológica da crise de paradigmas nas ciências. Organizações & Sociedade, v. 8, n. 21, p. 139-156. 2001.

SBCE/NEPAR, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Núcleo do Paraná. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. Curitiba: SBCE/NEPAR. 2017. 482 p.

Schwarz, G. Estimating the dimensional of a model. Annals of Statistics, Hayward, v. 6, n. 2, p. 461-464, 1978.

Seiffert AS. Os robôs de Asimov e o futuro da humanidade. Revista Eletrônica da ANPHLAC, n. 24, p. 374-393, 2018.

Shima JS. et al. Reproductive phenology across the lunar cycle: parental decisions, offspring responses, and consequences for reef fish. *Ecology*, p. e03086, 2020.

Shima JS, Swearer SE. Moonlight enhances growth in larval fish. *Ecology*, v. 100, n. 1, p. e02563, 2019.

Silva FC. Manual de análises química de solo, plantas e fertilizantes. 2.ed. Brasília: Embrapa Informática Agropecuária. 2009. 627p.

Silva FDS, Silva NO, Oliveira TF, Reis MR, Aquino LA. Índices foliares na cultura da cenoura pelo método de diagnose da composição nutricional. *Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)*, p. 399-407, 2017.

Silva R de S, Paes AT. Por dentro da estatística. *Educação Continuada em Saúde Einstein*, n.10, v. 4, p.165-6, 2012.

Soares D. Neurology: An ancient sensory organ in crocodilians. *Nature*, v. 417, p. 241-242, 2002.

Sopory S, Kaul T. Sentient Nature of Plants: Memory and Awareness. In: *Sensory Biology of Plants*. Springer, Singapore, 2019. p. 621-642.

Souza GM, Ferreira AS, Saraiva GFR, Toledo GRA. Plant “electrome” can be pushed toward a self-organized critical state by external cues: Evidences from a study with soybean seedlings subject to different environmental conditions. *Plant Signaling & Behavior*, v. 12, n. 3, p. 1-7. 2017.

Srygley RB, Dudley R, Oliveira EG, Riveros AJ. Experimental evidence for a magnetic sense in neotropical migrating butterflies (Lepidoptera: Pieridae). *Animal Behaviour*, 71 (1): 183–191, 2006. [DOI: 10.1016/j.anbehav.2005.04. 013].

Steckert C, Da Silva AP. Aplicabilidade de ferramentas da qualidade no controle de falhas do laboratório clínico. *Inova Saúde*, v. 9, n. 1, p. 115-128, 2019.

Struik PC, Yin X, Meinke H. Plant neurobiology and green plant intelligence: science, metaphors and nonsense. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 88, n. 3, p. 363-370, 2008.

Sutton GP, Clarke D, Morley E, Robert D. Mechanosensory hairs in bumblebees (*Bombus terrestris*) detect weak electric fields. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 113 (26): 7261–7265, 2016. [DOI: 10.1073/pnas.1601624113].

Tabacniks MH, Shibulska E, Olguin GS, Olguin S. Conceitos básicos da teoria de erros. 2003. Disponível em: <http://fap.if.usp.br/~tabacnik/tutoriais/tabacniks_concbasteorerr_rev2007.pdf>. Acesso em: 18 de janeiro de 2021.

Taiz L. The plant vacuole. *Journal Experimental Biology*, v. 172, p. 113-122, 1992.

Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. Artmed Editora; 2017.

Tandon, P.N. Jagdish Chandra Bose & plant neurobiology. Indian Journal of Medical Research, v. 149, n. 5, p. 593–599, 2019.

Taylor MH. Lunar synchronization of fish reproduction. Transactions of the American Fisheries Society, v. 113, n. 4, p. 484-493, 1984.

Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD. Soil fertility and fertilizers. 4ed. New York : Macmillam, 1985. 754p.

Thomas CL, Alcock TD, Graham NS, Hayden R, Matterson S, Wilson L, Young SD, Dupuy LX, White PJ, Hammond JP.; Danku JMC, Salt DE, Sweeney A, Bancroft I, Broadley MR. Root morphology and seed and leaf ionomic traits in a *Brassica napus* L. diversity panel show wide phenotypic variation and are characteristic of crop habit. BMC Plant Biology, v. 16, n. 214, p. 1-18. 2016.

Thorne KS. The Science of Interstellar. New York: WW Norton & Company, 2014.

Toledo GRA de, Parise AG, Simmi FZ, Costa AVL, Senko LGS, Debono MW, Souza GM. Plant electrome: the electrical dimension of plant life. The Theoretical and Experimental Plant Physiology, v. 31, p.21-46. 2019.

Trebacz K, Dziubinska H, Krol E. Electrical Signals in Long-Distance Communication in Plants. In: Baluska F, Mancuso S, Volkmann D. Communication in plantas. Neuronal aspects of plant life. Berlin: Springer-Verlag, 2006.

Trewavas T. Plant intelligence: an overview. BioScience, v. 66, n. 7, p. 542-551, 2016.

Trewavas A. Green plants as intelligent organisms. Trends in plant science, v. 10, n. 9, p. 413-419, 2005a.

Trewavas A. Plant intelligence: Mindless mastery. Nature, v. 415, n. 6874, p. 841-841, 2002.

Trewavas A. Plant intelligence. Naturwissenschaften, v. 92, n. 9, p. 401-413, 2005b.

Trewavas A. The foundations of plant intelligence. Interface focus, v. 7, n. 3, p. 20160098, 2017.

Van Loon LC. The intelligent behavior of plants. Trends in plant science, v. 21, n. 4, p. 286-294, 2016.

Van Maarschalkerweerd, M., Husted, S. 2015. Recent developments in fast spectroscopy for plant mineral analysis. Frontiers in Plant Science, v.24, 2015.

Vatansever R, Ozyigit II, Filiz E. Essential and beneficial trace elements in plants, and their transport in roots: a review. Applied Biochemistry and Biotechnology, v. 181, p. 464–482. 2017.

Veloso CAC, Botelho SM, Viégas IJM, Rodrigues JELF. Amostragem e diagnose foliar. Embrapa Amazônia Oriental-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E), 2020.

Vitt LJ, Caldwell JP. Herpetology: an introductory biology of amphibians and reptiles. 4ed. New York: Academic Press, 2014. 776p.

Von der Emde G. Electoreception. In: Galizia CG, Lledo PM. Neurosciences - from molecule to behavior: a university textbook. Verlag; Berlin; Heidelberg: Springer, 2013. Cap 19, 409-426p. [DOI: 10.1007/978-3-642-10769-6_19].

Vodeneev VA, Katicheva LA, Sukhov VS. Electrical Signals in Higher Plants: Mechanisms of Generation and Propagation. Biophysics, v. 61, n. 3, p. 505-512. 2016.

Volkov AG.; Markin VS. Active and passive electrical signaling in plants. *In*: Lüttge U, Beyschlag W. (Orgs.). Progress in Botany 76. Cham; Heidelberg; New York; Dordrecht; London: Springer, 2015, p. 143–176.

Volkov AG. Plant electrophysiology: theory and methods. Verlag, Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.

Volkov AG, Brown CL. Electrochemistry of plant life. In: Volkov AG. Plant electrophysiology: theory and methods. Verlag, Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.

Volkov AG.; Markin VS. Active and passive electrical signaling in plants. *In*: Lüttge U, Beyschlag W. (Orgs.). Progress in Botany 76. Cham; Heidelberg; New York; Dordrecht; London: Springer, p. 143–176, 2015

Volkov AG, Shtessel YB. Electrical signal propagation within and between tomato plants. Bioelectrochemistry, v. 124, p. 195-205, 2018.

WALL-E. Direção: Statnton A. Produção: Morris J., Pixar Animation Studios Estados Unidos: Wall Disney Pictures, Motion Pictures. 2008.

Wright MT. The Antikythera Mechanism reconsidered. Interdisciplinary Science Reviews, v. 32, p. 27-43, 2013.

Xuanmeng Y. On the Issue of the Human Being and the Ground of Philosophy. Self-awareness of Life in the New Era, p. 39. 2020.

Yokawa K, Baluška F. Fish and plant sentience: Anesthetized plants and fishes cannot respond to stimuli. Animal Sentience, v. 3, n. 21, p. 6, 2018.

Zupanc GKH, Bullock TH. From electrogenesis to electoreception: an overview. In: Bullock TH, Hopkins CD, Popper AN, Fay RR. (eds). Electoreception. New York: Springer, 2005. 5-46p.

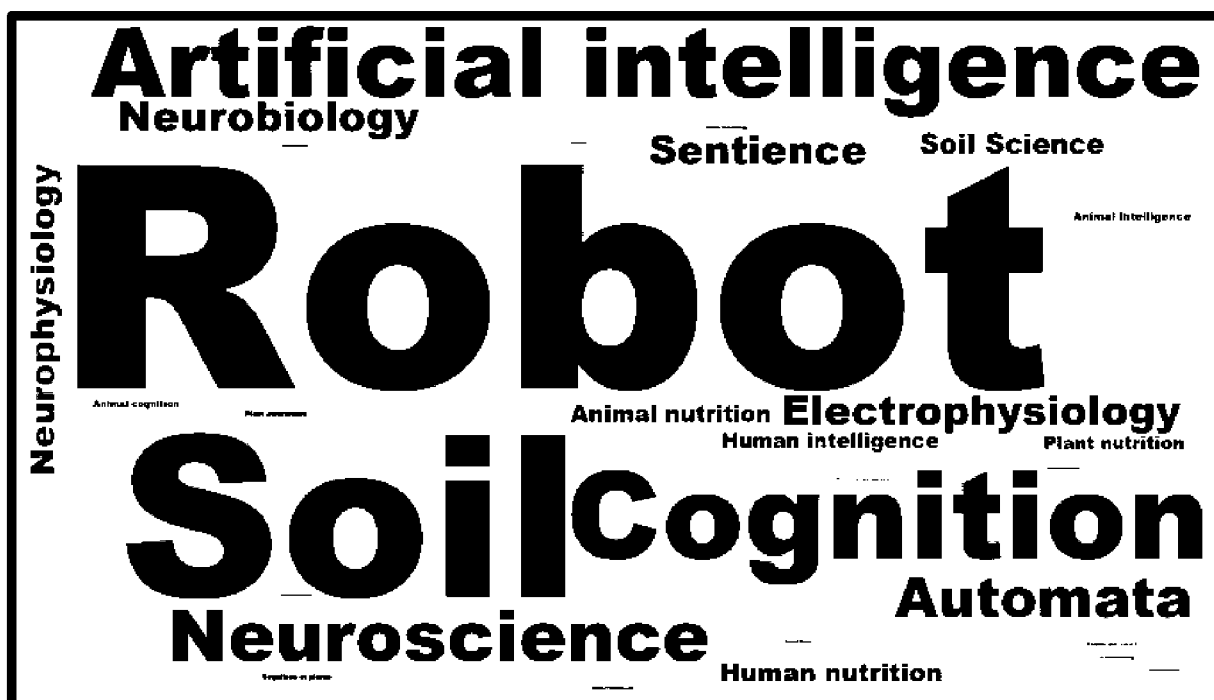
ANEXO 1 - NUVEM DE TERMOS

FIGURA 42 – TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO GOOGLE BUSCAS



FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 43 – TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO GOOGLE BUSCAS



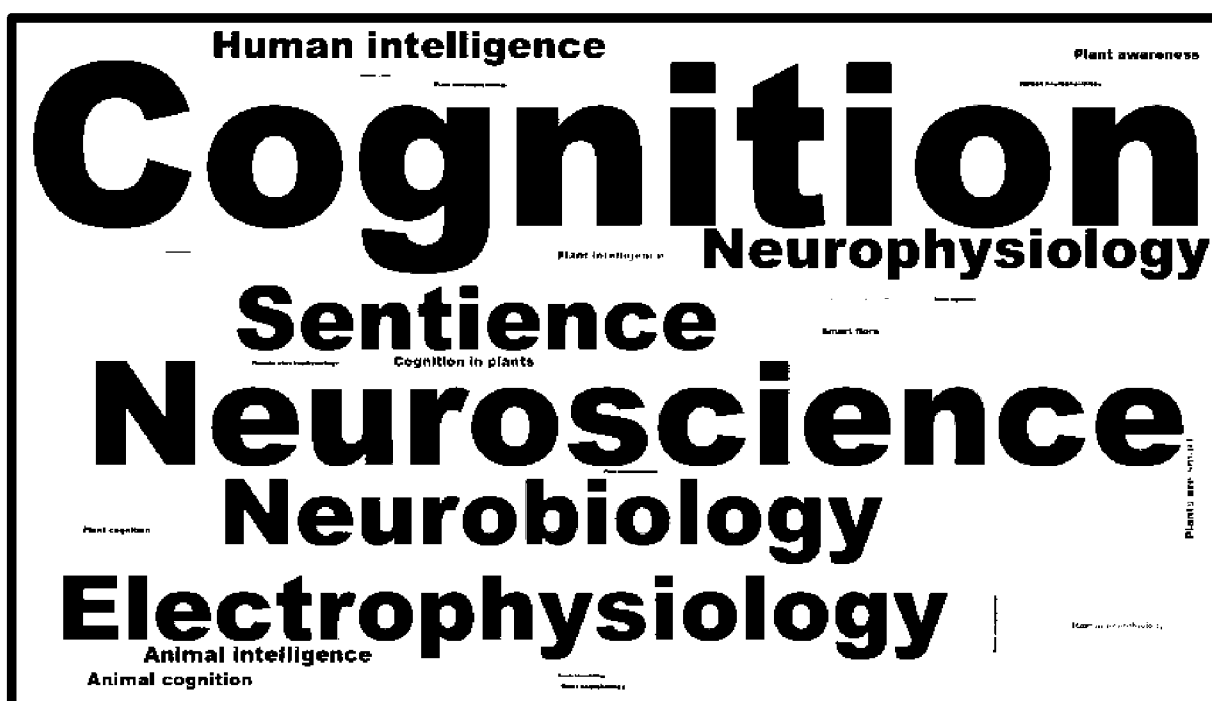
FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 44 – TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO GOOGLE BUSCAS



FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 45 – TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO GOOGLE BUSCAS



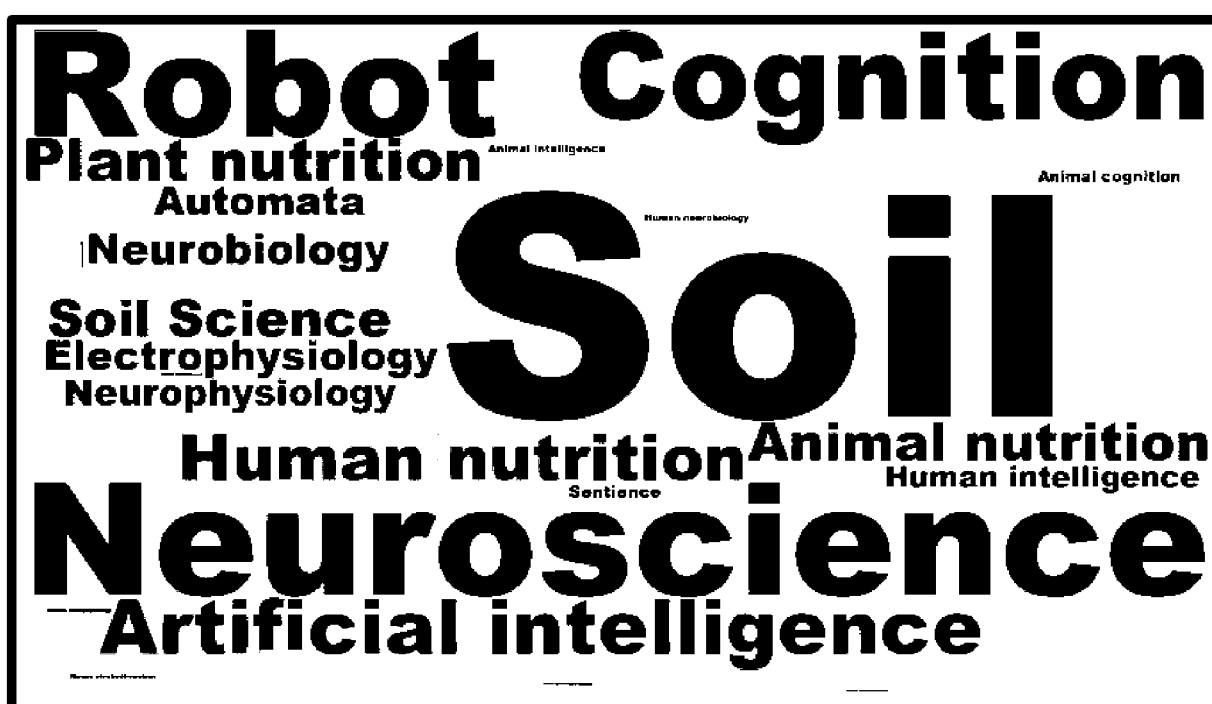
FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 46 – TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO GOOGLE ACADÊMICO



FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 47 – TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO GOOGLE ACADÊMICO



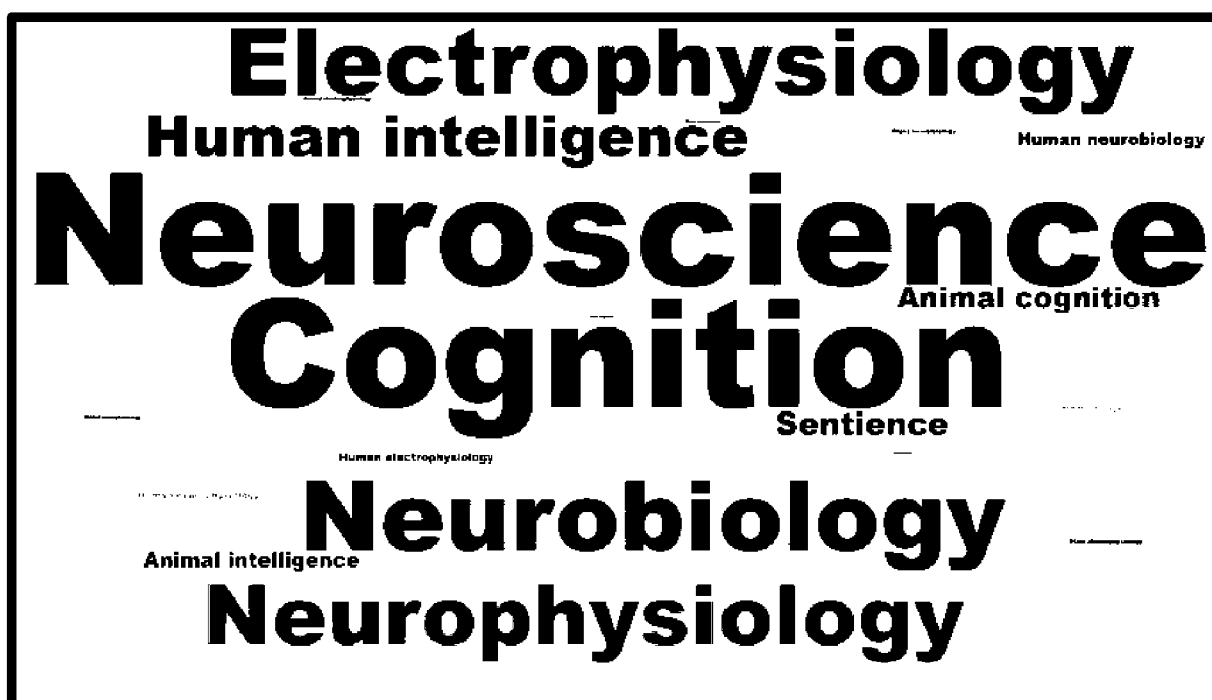
FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 48 – TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO GOOGLE ACADÊMICO



FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 49 – TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO GOOGLE ACADÊMICO



FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 50 – TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO SCIELO



FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 51 – TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO SCIELO



FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 52 – TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLÓGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO SCIELO



FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 53 – TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLÓGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO SCIELO



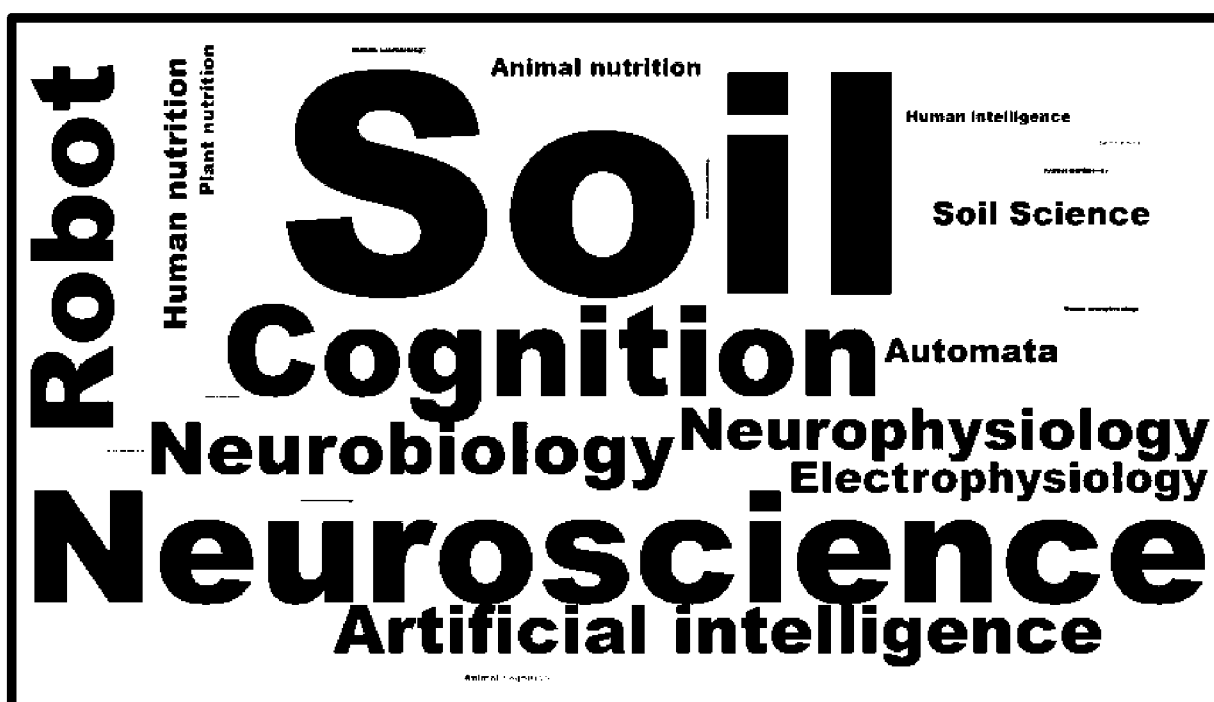
FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 54 – TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO SCIENCE DIRECT



FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 55 – TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO SCIENCE DIRECT



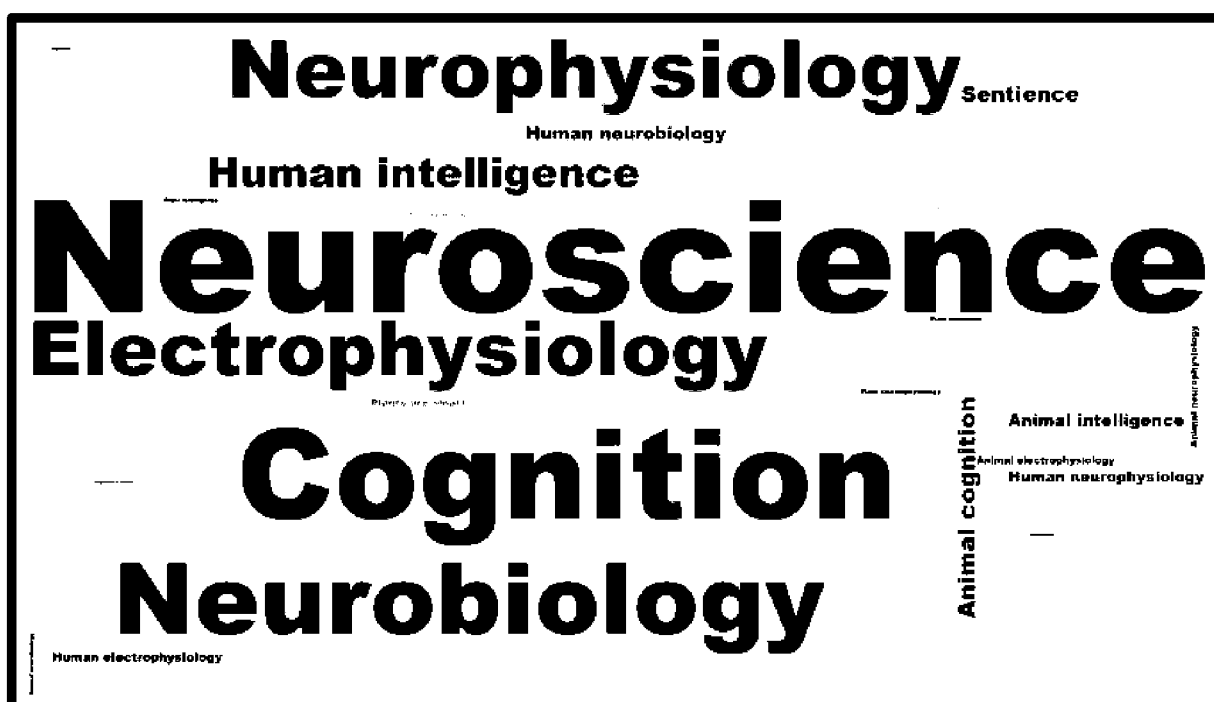
FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 56 – TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO SCIENCE DIRECT



FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 57 – TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO SCIENCE DIRECT



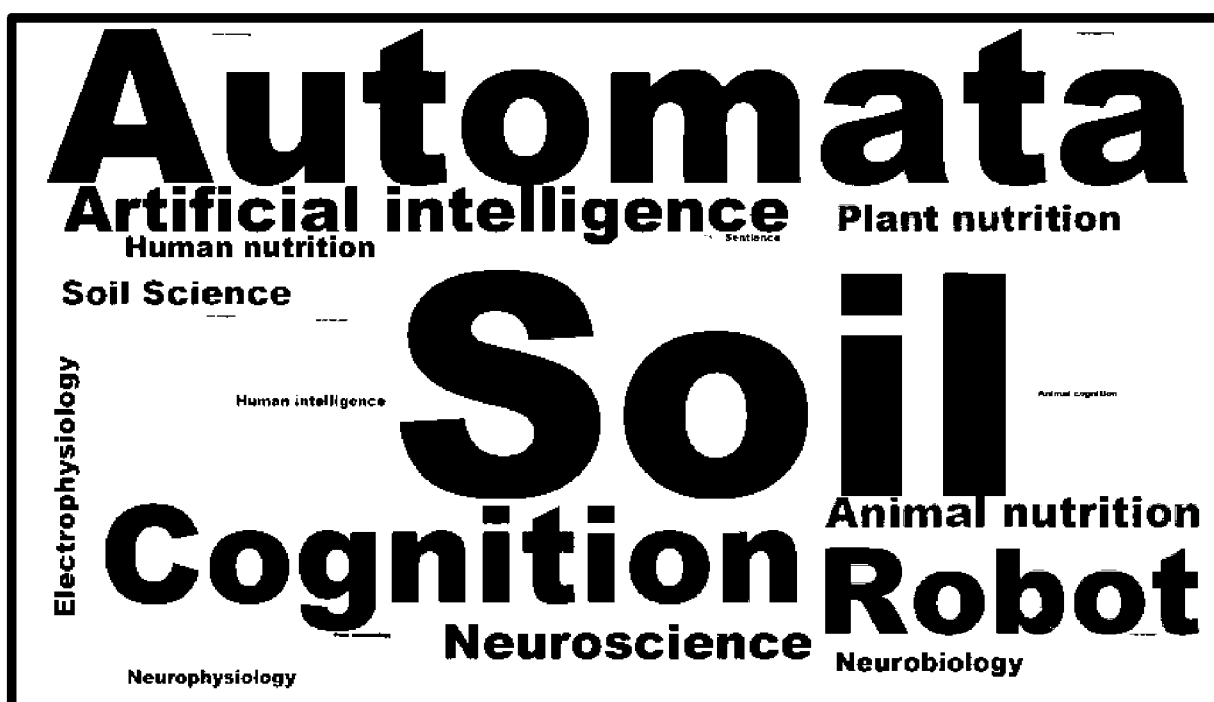
FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 58 – TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO BDTD



FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 59 – TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA, INTELIGÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL, NUTRIÇÃO E SOLO, ENCONTRADOS NO BDTD



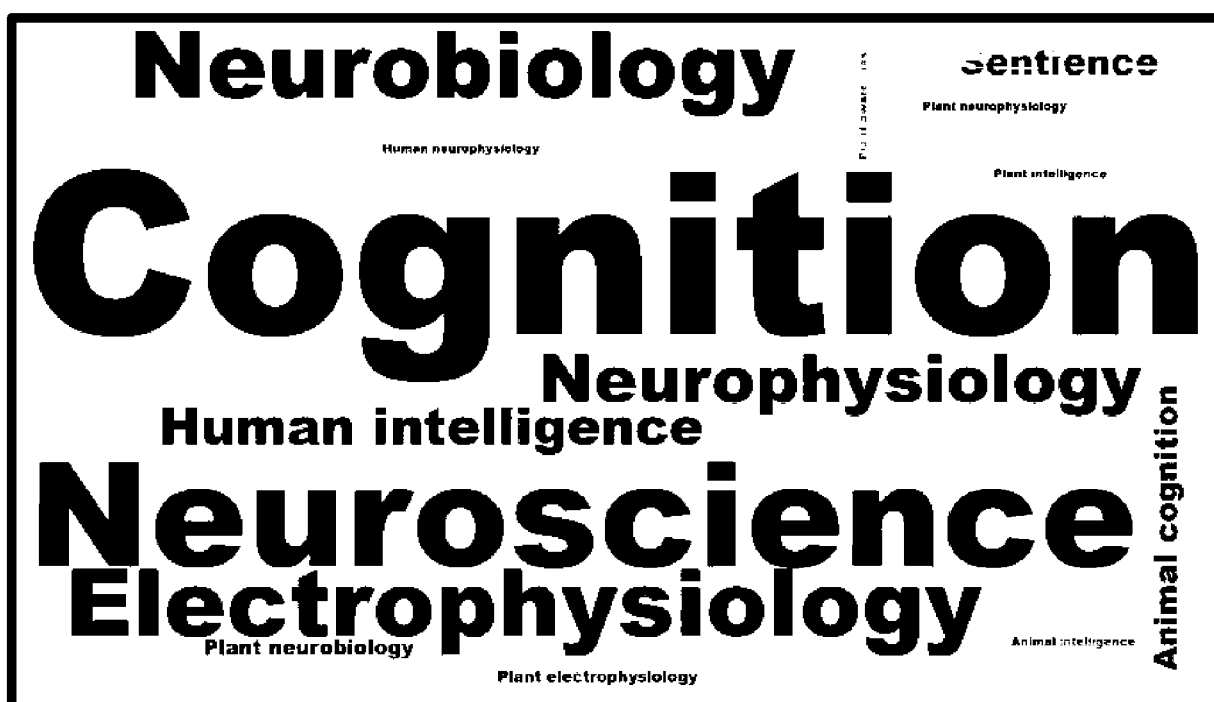
FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 60 – TERMOS EM PORTUGUÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO BDTD



FONTE: O Autor (2021).

FIGURA 61 – TERMOS EM INGLÊS RELACIONADOS À FISIOLOGIA E INTELIGÊNCIA ANIMAL E VEGETAL, ENCONTRADOS NO BDTD



FONTE: O Autor (2021).

ANEXO 2 - ELETORRECEPÇÃO NOS ANIMAIS

Dentre os mecanismos naturais para a percepção do meio ambiente, a eletorrecepção é uma modalidade sensorial totalmente desconhecida para os seres humanos e por muitos outros vertebrados terrestres. Da mesma maneira que o sentido da audição, as informações obtidas pelos órgãos eletrossensoriais são organizadas usando o tempo e a frequência de sinais. Como os sentidos do olfato, paladar e audição, as intensidades percebidas pelos estímulos elétricos aumentam com a proximidade da fonte. Semelhante ao tato, entradas eletrossensoriais transmitem informações sobre a textura e a forma de objetos no ambiente local. Assim como os sentidos da audição e da visão, a eletorrecepção age à distância e as informações elétricas são transmitidas quase instantaneamente (Albert e Crampton, 2006).

Neuroetologistas muitas vezes estudam animais incomuns dotados de sistemas sensoriais especializados, que geralmente apresentam mecanismos que foram levados ao seu limite (TABELA 14). Dentro do mundo auditivo, morcegos e corujas são ótimos exemplos. Campos elétricos naturais em ambientes aquáticos, normalmente apresentam sinais de baixa frequência e intensidade, em que os sistemas eletrossensoriais que evoluíram para detectá-los estão entre os sistemas mais altamente especializados (Bodznick e Montgomery, 2005).

Uma característica que define o sensoriamento ativo é que os animais produzem e emitem energia, que serve como fonte portadora que é então modulado pelo ambiente. Organismos que utilizam sistemas de sensores ativos potencialmente podem exercer controle sobre as características da energia da sonda, tal como a sua intensidade, direção, tempo e características espectrais. Isto está em contraste com os sistemas de detecção passiva, que dependem de fontes de energia extrínsecos que não podem ser diretamente controlados pelo organismo (Nelson e MacIver, 2006).

A pesquisa sobre a dinâmica espaço-temporal em eletrolocalização ainda está pouco aprofundada. O campo emergente da análise de sistemas sensoriais dinâmicos em peixes elétricos é uma abordagem promissora para o estudo da relação entre movimento e aquisição de informações sensoriais. A capacidade de controlar a energia do sistema sensorial, por determinados peixes elétricos, acrescenta uma nova dimensão à tarefa de adquirir informações relevantes sobre o meio ambiente (Nelson e MacIver, 2006; Hofmann et al., 2013).

TABELA 14 - CLASSES DE ANIMAIS DOTADOS DE MECANISMOS ESPECIALIZADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE SINAIS ELETROMAGNÉTICOS, MECÂNICOS E TÉRMICOS DO AMBIENTE

Classes	Ordens	Representantes	Receptores
Condrites	a. Baitodea ²	Peixes-Serra; Raias	Ampulários; Neuromastos
	b. Selachimorpha ²	Tubarões	
	c. Chimaeriformes	Quimeras	
Osteictes ¹	Actinopterygii	a. Gymnotiformes	Tuberosos
		b. Osteoglossiformes	
		c. Acipenseriformes	
		d. Perciformes	
		e. Siluriformes	
	Sarcopterygii	a. Ceratodontiformes	Ampulários; Neuromastos
		b. Coelacanthiformes	
		c. Lepidosireniformes	
Amphibia		a. Anura	TRP (V, A e M)
		b. Gymnophiona	Ampulários; Neuromastos
		c. Urodela	Linhas laterais em fósseis
		d. Reptiliomorpha ² †	
		e. Temnospondyli †	
Reptilia		a. Crocodylia	DPR; TRPV; TRPM
		b. Squamata	Fossetas loreal e labial
Aves		a. Accipitriformes	Cristais de magnetita
		b. Passeriformes	
Mammalia		a. Cetacea	Sonar; Criptas
		b. Chiroptera	Sonar; TRPV
		c. Monotrêmata	Glândulas mucosas
Insecta		a. Blattodea	Antenas
		b. Hymenoptera	Antenas; Cristais de magnetita;
		c. Lepidóptera	Órgãos de Johnston

FONTE: O Autor (2020).

(1) Superclasse; (2) Superordem; † = Extinto; DPR = *Dome Pressure Receptors*; TRP = *Transient Receptor Protein*; A = *Ankyrin*, M = *Melastatin* e V = *Vanilloid*.

A eletrorrecepção em animais é um fenômeno comum em muitos vertebrados aquáticos. Com órgãos ampulários, estes animais podem detectar fontes elétricas, mesmo que extremamente fracas em seus arredores em um processo chamado eletrolocalização passiva. No entanto, outra categoria de peixes, os peixes elétricos, se especializaram com órgãos elétricos derivados de tecidos musculares ou nervosos, sendo capazes de emitir sinais de alta frequência. Esses sinais são detectados por matrizes cutâneas (receptores tuberosos) com a finalidade de eletrolocalização ativa e eletrocomunicação em habitats escuros e/ou turvos (von der Emde, 2013).

A classe dos Condrictes (Chondrichthyes), também chamada de seláceos, é composta pelas superordens Baitodea e Selachimorpha, e pela ordem Chimaeriformes. São representadas por peixes constituídos de esqueletos cartilaginosos, e apresentam neuromastos conhecidos por linhas laterais (mecanorreceptor) e órgãos ampulários denominados de Ampolas de Lorenzini (eletrorreceptor e termorreceptor).

Kajiura e Holland (2002) relatam que o tubarão-martelo (*Sphyrna lewini*) e o tubarão-corre-costa (*Carcharhinus plumbeus*), são capazes de detectar campos elétricos inferiores à uma tensão de $0,1 \text{ nV cm}^{-1}$. Segundo Moyes e Schulte (2010), isso equivale ao campo elétrico de uma bateria de lanterna conectada a eletrodos separados por uma distância de 16.000 km no oceano. A eletrossensibilidade do tubarão martelo permite a detecção de arraias enterradas no fundo do oceano ao sondar com sua ampla cabeça similar a detector de metais.

Os receptores ampulares do Peixes Elefante (*Gnathonemus petersii*), osteíctes pertencente à família Mormyridae (Osteoglossiformes), são capazes de detectar sinais elétricos inferiores a $40 \text{ } \mu\text{V cm}^{-1}$ e a baixas frequências (1 - 10 Hz). Os membros das ordens Gymnotiformes e Mormyriiformes (Osteoglossiformes) geram apenas descargas fracas, não superiores a 10 V, que é suficiente para a comunicação de curto alcance e para a eletrolocalização ativa (von der Emde, 2013).

A sensibilidade a baixos campos elétricos também podem ser notados em espécies da família Rajidae (Baitodea), em que algumas são capazes de responder às tensões elétricas inferiores a 10 nV cm^{-1} , que proporcionalmente correspondem a um objeto produzindo a tensão de 1 V, a uma distância de 1000 km do animal. Células receptoras individuais são menos sensíveis, e sua frequência de disparo é alterada por um estímulo superior, ficando por volta de $2 \text{ } \mu\text{V cm}^{-1}$ (von der Emde, 2013).

A classe dos Osteíctes (Osteichthyes), formada por duas subclasses, a Sarcopterygii e Actinopterygii, engloba os peixes de esqueletos ósseos. Os Sarcopterígeos são representados por peixes primitivos, de origem extremamente antiga, com membros parentais que deram início no período Devoniano (Lingham-Soliar, 2014). Dentro dessa subclasse, tem-se os Celacantos e os peixes pulmonados, em que ambos apresentam linhas laterais (neuromastos) e órgãos ampulares. Estudos apontam que os celacantos foram responsivos à baixos campos elétricos, inferiores a $0,2 \mu\text{V cm}^{-1}$ (Lingham-Soliar, 2014).

Descargas elétricas fracas e esporádicas foram registradas em peixes-pulmonados-africano (*Protopterus aethiopicus*), a partir de indivíduos após estimulação tátil. Amplitudes máximas de pulsos recodificados foram de 10 mV. Os padrões de descarga coordenados, permitem sugerir a existência de sistemas eletrogênicos especializados (Orlov et al., 2015).

Os Actinopterígeos, representam a maioria dos peixes encontrados tanto nos ambientes dulcícolas como marinhos, apresentando enorme variedade de tipos e formas, bem como mecanismos de adaptação para a obtenção de alimentos. Dentre as ordens que serão avaliadas, destacam-se as Gymnotiformes e as Osteoglossiformes, as quais apresentam receptores tuberosos e ampulares, e agrupam diversas espécies de peixes capazes de detectar e produzir energia elétrica.

Receptores tuberosos estão sintonizados para frequências semelhantes à frequência produzida pelos de descarga elétrica (*Electric Organ Discharges* - EOD) das respectivas espécies, exibindo às vezes ajustes finos para bandas de frequência "privadas" de peixes individuais (mesma espécie). Evidências de ajuste fino para tipos específicos de ondas foram obtidas em várias espécies de Gymnotiformes, cujos machos e fêmeas descarregavam diferentes frequências (Zupanc e Bullock, 2005).

Os receptores ampulares do Peixe Elefante (*Gnathonemus petersii*), pertencente à família Mormyridae (Osteoglossiformes), são capazes de detectar sinais elétricos inferiores a $40 \mu\text{V cm}^{-1}$ e a baixas frequências (1-10 Hz). Seus mecanismos parecem estar sintonizados para uma variedade de amplitudes e sentidos da rampa (subida ou descida) dos sinais de entrada. Os membros das ordens Gymnotiformes e Mormyriiformes (Osteoglossiformes) geram apenas descargas fracas, não superior a 10 V, que é suficiente para comunicação de curto alcance e para eletrolocalização ativa (von der Emde, 2013).

Os anfíbios, assim como os peixes, também apresentam linhas laterais. Serão avaliados os mecanismos das ordens Anura, Gymnophiona, Urodela, Temnospondyli e a Superordem Reptiliomorpha. A Temnospondyli e Reptiliomorpha são constituídas de espécies de anfíbios extintos, contudo, existem diversos estudos que detalham a distribuição das linhas laterais em fósseis. A compreensão da forma como receptores naturais são dispostos pode contribuir para maior eficiência do mecanismo.

A ordem Anura apresenta mecanismos termorreceptores, formados pelas proteínas TRP (*Transient Receptor Protein*). Existem três famílias distintas de canais termoresponsivos TRP: TRPV (*Vanilloid*), TRPA (*Ankyrin*) e TRPM (Melastatin), que são ativadas em determinadas faixas de temperatura, alertando o sistema nervoso central sobre a presença de ameaça de colapso térmico (Martinez e García, 2013).

Os Crocodilianos são animais dotados de órgãos sensoriais especializados, localizados em seus rostos, que podem detectar pequenas perturbações na superfície da água circundante, e que estão ligados a um sistema nervoso dedicado (hipertrofiado). Esses órgãos, denominados *Dome pressure receptors* ou “receptores de pressão em cúpula” (tradução livre), também são evidentes em fósseis do período Jurássico, indicando que estes predadores semiaquáticos solucionaram o problema da combinação da relação “armadura” (escamas) com sensibilidade tátil milhões de anos atrás (Soares, 2002).

A ordem Squamata, tem como principais integrantes as serpentes, que apresentam órgãos adaptados para detectar sinais térmicos do ambiente com grande precisão. Esses órgãos são denominados de Fosseta Loreal e Fosseta Labial. Algumas serpentes são capazes de sentir mudanças de temperatura inferiores a 0,05 °C. Experiências têm demonstrado que elas podem se orientar com precisão sobre rastros térmicos emitidos pelas suas presas. Sinais infravermelhos são informações eficazes para orientar os receptores desses animais à se alimentarem nos períodos noturnos (Vitt e Caldwell, 2014).

As aves possuem mecanismos que permitem extrair informações de posição pelo sentido do campo geomagnético. Os criptocromos são presumidos como magnetorreceptores nos olhos, os quais conferem às aves a capacidade de conseguir “ver” o campo magnético do planeta (Mouritsen, 2013). Os cristais de magnetita presentes em seus organismos permitem a orientação das aves migratórias, das ordens Accipitriformes e Passeriformes.

Todos os mamíferos possuem grande quantidade de receptores que reagem a diversos estímulos externos: mecânicos, térmicos ou químicos. Alguns desses receptores são comuns na Classe Mammalia, como o Nociceptor (receptor de dor) e a proteína TPR. No entanto, foram selecionadas algumas ordens dessa classe as quais apresentam algumas exclusividades, como Cetáceos, Chiropteras e Monotrêmatas.

Os golfinhos (Cetácea), são dotados de órgãos destinados à ecolocalização (Biossonar), e de eletrorreceptores presentes nas criptas vibrissas. Experiências psicofísicas com Golfinho da Guiana (*Sotalia guianensis*) mostraram que o animal foi capaz de detectar sensorialmente campos eléctricos de $4,6 \mu\text{V cm}^{-1}$. Essa capacidade é comparável à sensibilidade de eletrorrecepção dos ornitorrincos (Czech-Damal et al., 2012). Os Ornitorrincos (*Ornithorhynchus anatinus*) podem apresentar até 40 mil eletrorreceptores na região do bico, e as Equidnas (*Zaglossus brujnii*) 2 mil no focinho (Pettigrew, 1999).

REFERÊNCIAS

- Albert JS, Crampton WGR. Electoreception and electrogenesis. In: Evans DH, Claiborne JB. (eds). The Physiology of Fishes, 3ed. Boca Raton: CRC Press, cap 12, p. 429-470, 2006.
- Bodznick D, Montgomery JC. The physiology of low-frequency electrosensory systems. In: BULLOCK, T.H.; HOPKINS, C.D.; POPPER, A.N. & FAY, R.R. (eds). Electoreception. New York: Springer, 2005. 132-153p.
- Czech-Damal NU, Liebschner A, Miersch L, Klauer G, Hanke FD, Marshall C, Dehnhardt G, Hanke W. Electoreception in the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*). Proceedings of the Royal Society B, v. 279, p. 663-668, 2012.
- Hofmann V, Sanguinetti-Scheck JI, Künzel S, Geurten B, Gómez-Sena L, Engelmann J. Sensory flow shaped by active sensing: sensorimotor strategies in electric fish. The Journal of Experimental Biology, v. 216, p. 2487-2500, 2013.
- Kajiura SM, Holland KN. Electoreception in juvenile scalloped hammerhead and sandbar sharks. The Journal of Experimental Biology, v. 205, p. 3609-3621, 2002.
- Lingham-Soliar T. The vertebrate integument volume 1: origin and evolution. Heidelberg; New York; Dordrecht; London: Springer, 2014. 268p.

Martinez CB, García E de la P. Thermosensation. In: GALIZIA, C.G. & LLEDO, P.M. Neurosciences - from molecule to behavior: a university textbook. Verlag; Berlin; Heidelberg: Springer, cap 19, p. 409-426, 2013.

Moyes CD, Schulte PM. Princípio da fisiologia animal. 2ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 756p.

Mouritsen H. The Magnetic Senses. In: Galizia CG, Lledo PM. Neurosciences - from molecule to behavior: a university textbook. Verlag; Berlin; Heidelberg: Springer, cap 19, p. 409-426, 2013.

Nelson ME, Maciver MA. Sensory acquisition in active sensing systems. Journal of Comparative Physiology A, v. 192, n. 6, p. 573-586, 2006.

Orlov AA, Golubtsov VD, Baron VD, Pavlov DS. Bioelectric Fields of the African Marbled Lungfish *Protopterus aethiopicus* (Sarcopterygii: Protopteridae), African (*Heterotis niloticus*) and South American Silver (*Osteoglossum bicirrhosum*) Arowanas (Actinopterygii: Osteoglossidae): Primitive Electrogenesis? Journal of Ichthyology, v. 55, n.6, p. 874-879, 2015.

Pettigrew JD. Electoreception in monotremes. The Journal of Experimental Biology, v. 202, n. 10, p. 1447-1454, 1999.

SAND, A. The function of the ampullae of lorenzini, with some observations on the effect of temperature on sensory rhythms. Proceedings of the Royal Society B, v. 125, p. 524-553, 1938.

Soares D. Neurology: An ancient sensory organ in crocodilians. Nature, v. 417, p. 241-242, 2002.

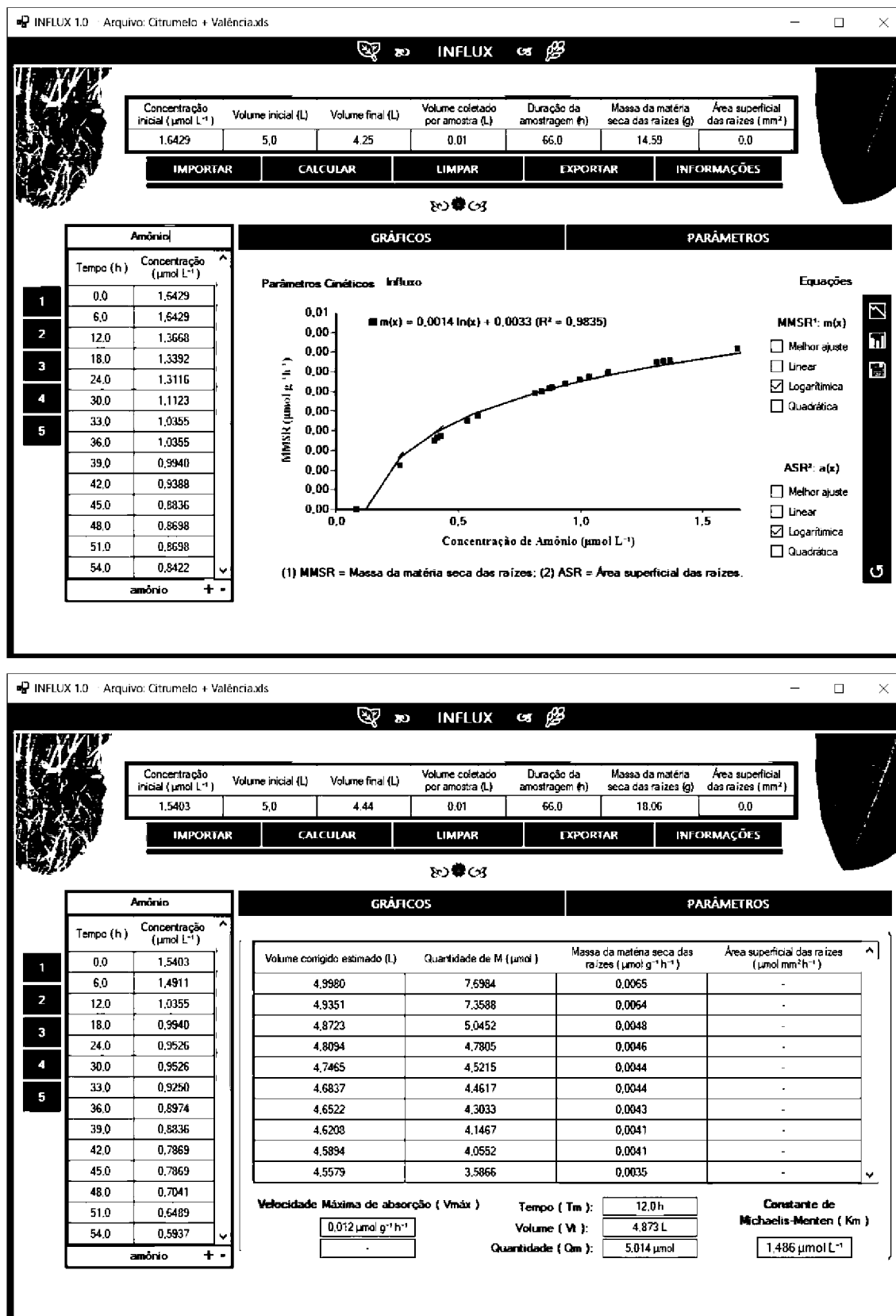
Vitt LJ, Caldwell JP. Herpetology: an introductory biology of amphibians and reptiles. 4ed. New York: Academic Press, 2014. 776p.

Von der Emde G. Electoreception. In: Galizia CG, Lledo PM. Neurosciences - from molecule to behavior: a university textbook. Verlag; Berlin; Heidelberg: Springer, cap 19, p. 409-426, 2013.

Zupanc GKH, Bullock TH. From electrogenesis to electoreception: an overview. In: Bullock TH, Hopkins CD, Popper AN, Fay RR. (eds). Electoreception. New York: Springer, 2005. 5-46p.

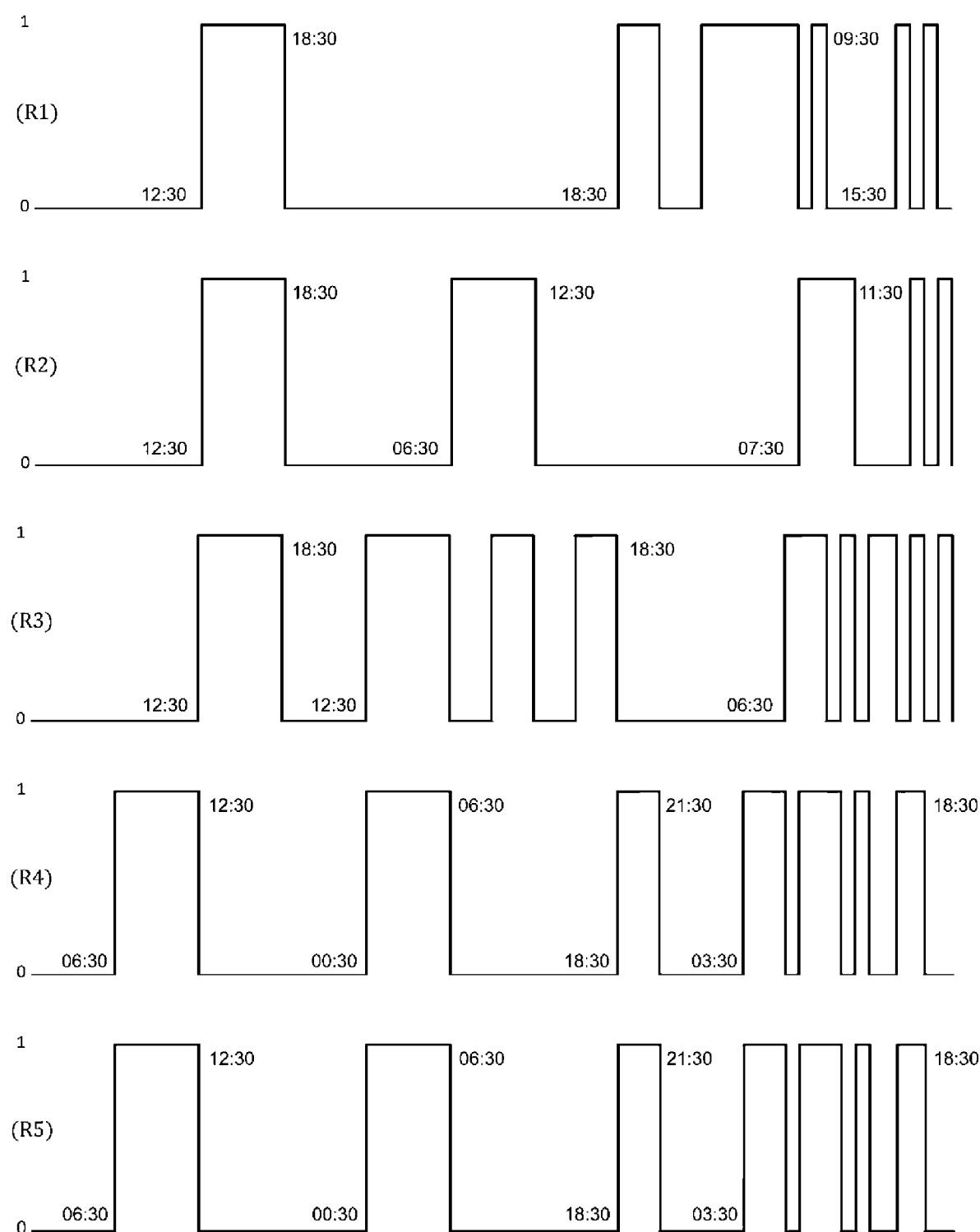
ANEXO 3 - SOFTWARE INFLUX E SINAIS MECÂNICOS

FIGURA 62 – DETALHES DO SOFTWARE INFLUX 1.0



FONTE: O Autor (2020).

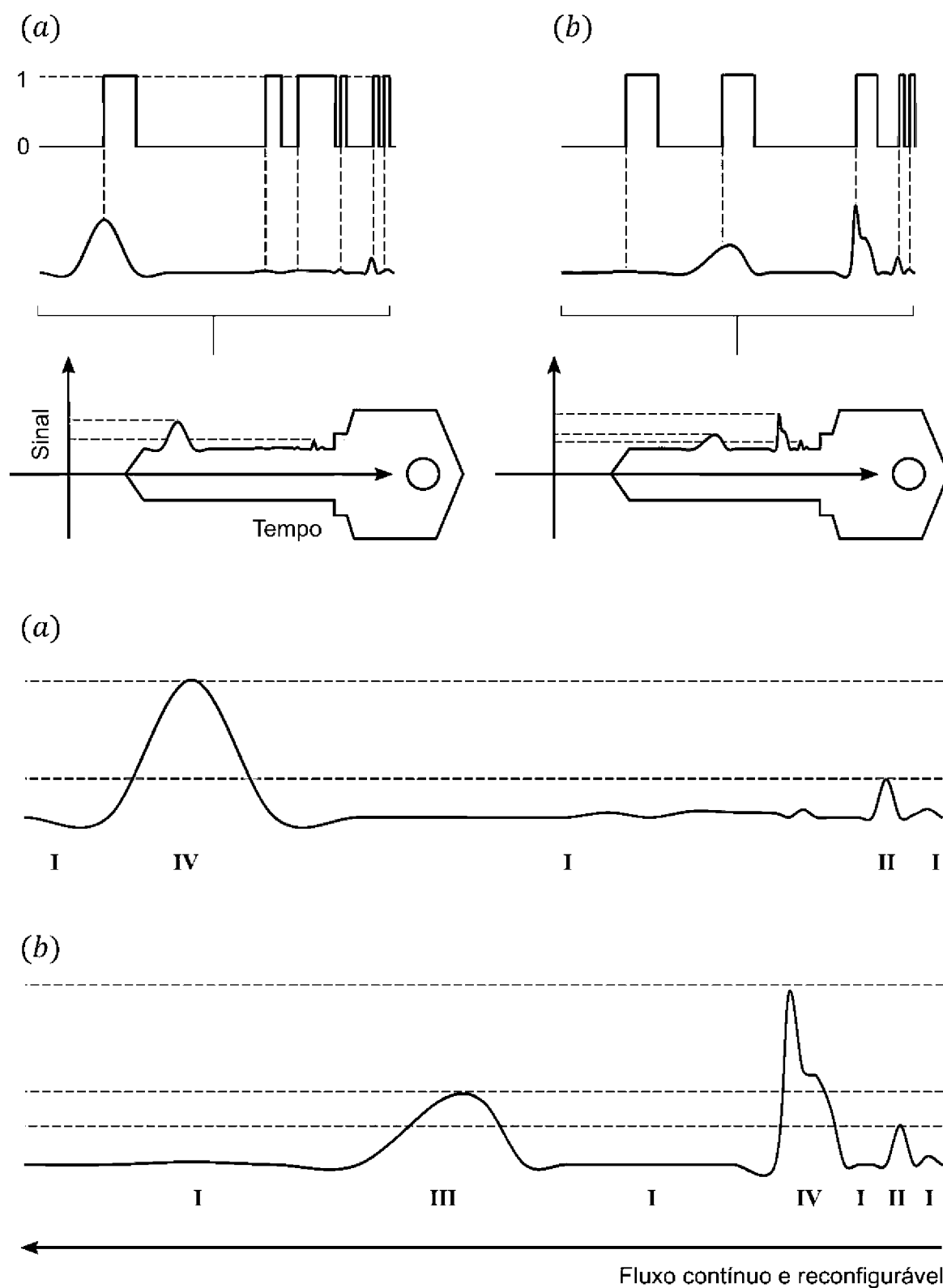
FIGURA 63 – PULSOS PRODUZIDOS EM MUDAS DE CITRUMELO COM COPA DE LARANJEIRA VALÊNCIA, DURANTE O PROCESSO DE ABSORÇÃO DE AMÔNIO



FONTE: O autor (2020).

R1, R2, R3, R4 e R5 = Plantas de cada repetição experimental.

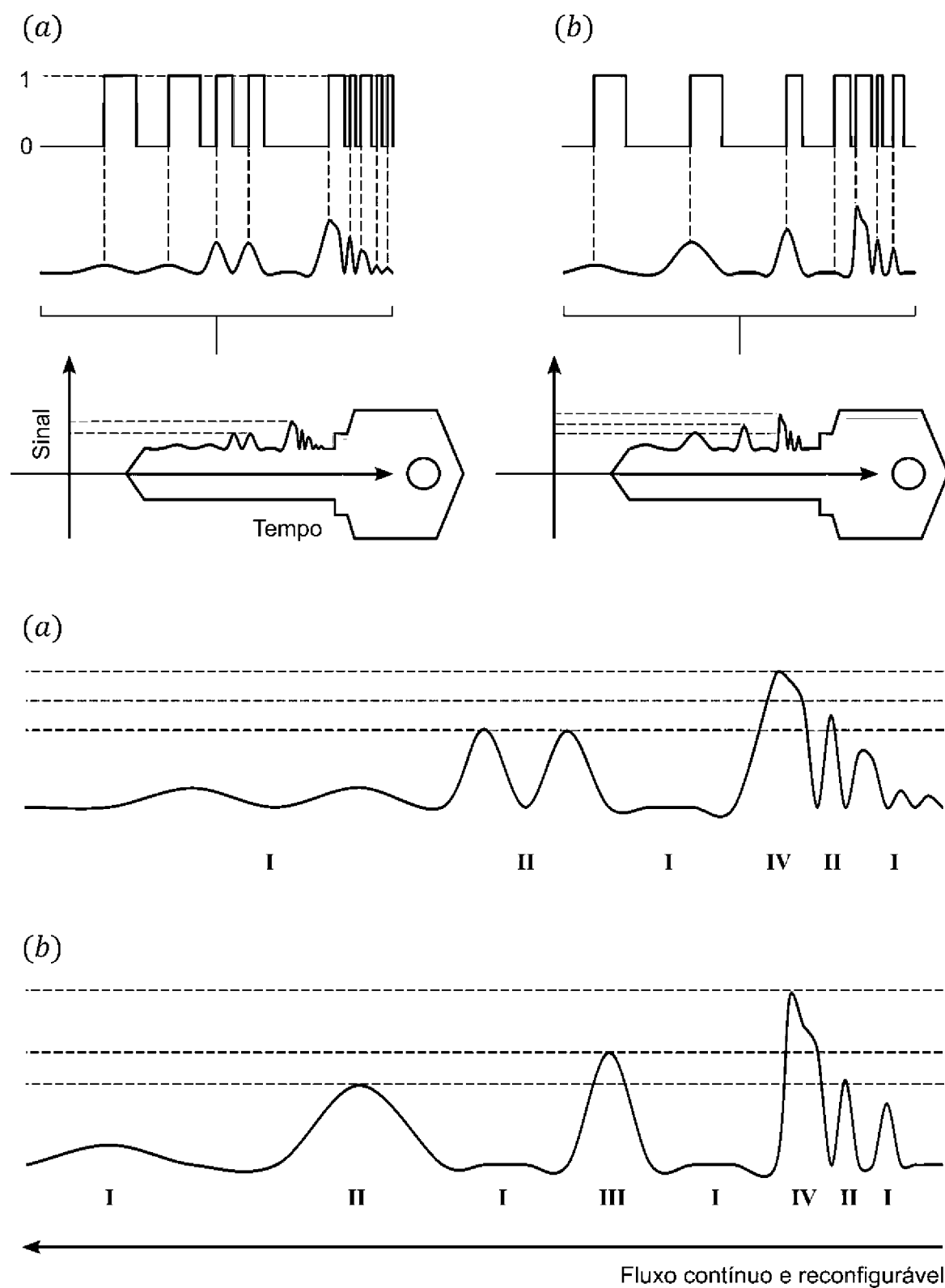
FIGURA 64 – CHAVE MESTRA CONTÍNUA DE PORTA-ENXERTOS (R1 e R2) DE CITRUMELO COM COPA DE LARANJEIRA VALÊNCIA PARA A ABSORÇÃO DE AMÔNIO



FONTE: O autor (2020).

a) Planta R1; b) Planta R2; I, II, III, IV correspondem à estados relativos dos sinais e/ou intensidades de requisição.

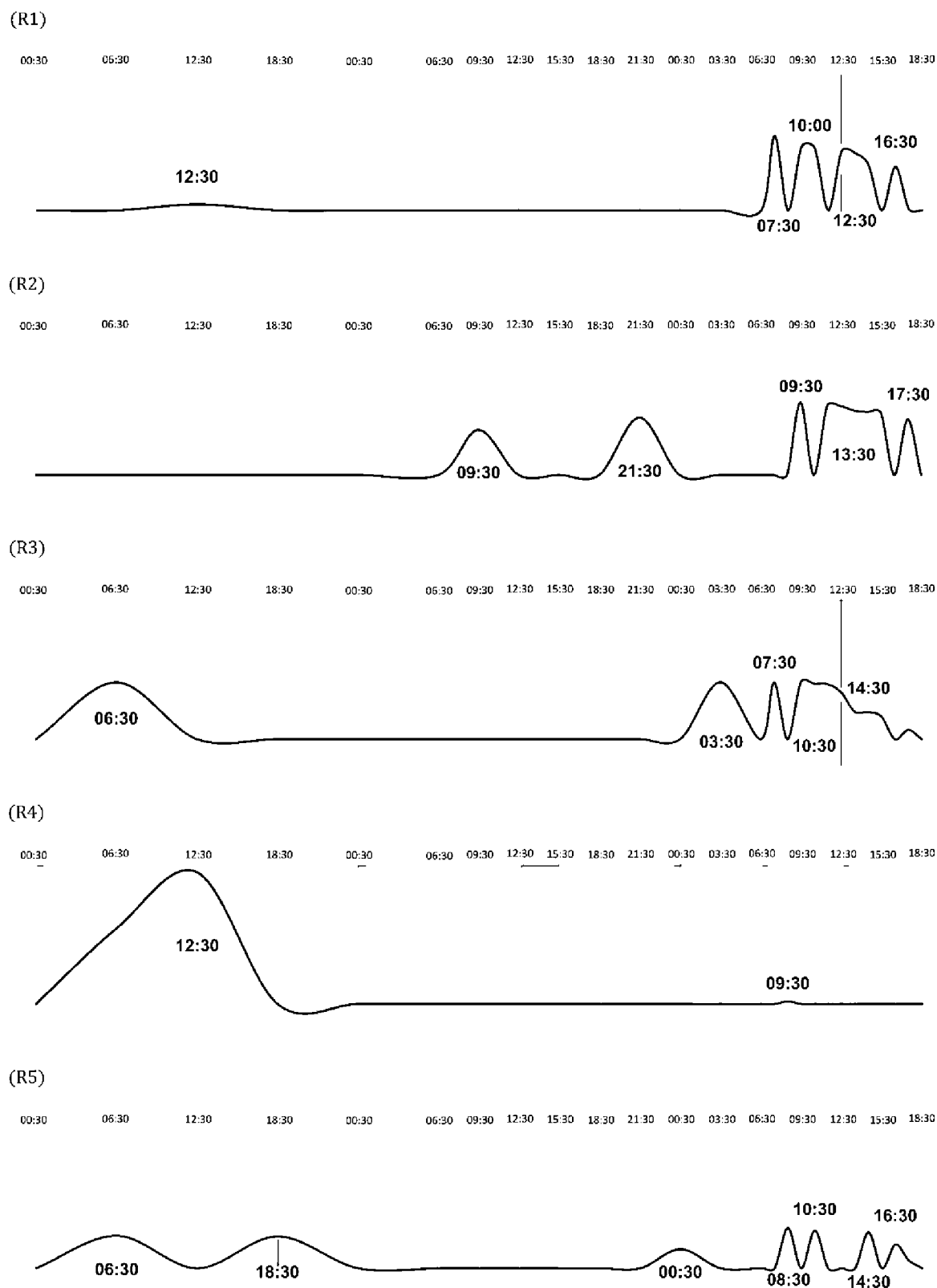
FIGURA 65 – CHAVE MESTRA CONTÍNUA DE PORTA-ENXERTOS (R3 e R4) DE CITRUMELO COM COPA DE LARANJEIRA VALÊNCIA PARA A ABSORÇÃO DE AMÔNIO



FONTE: O autor (2020).

a) Planta R3; b) Planta R4; I, II, III, IV correspondem à estados relativos dos sinais e/ou intensidades de requisição.

FIGURA 66 – SINAIS PRODUZIDOS EM MUDAS DE CITRUMELO, DURANTE O PROCESSO DE ABSORÇÃO DE NITRATO

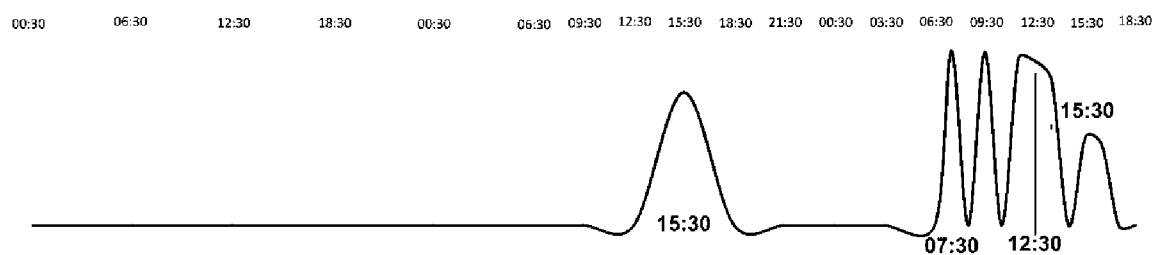


FONTE: O autor (2020).

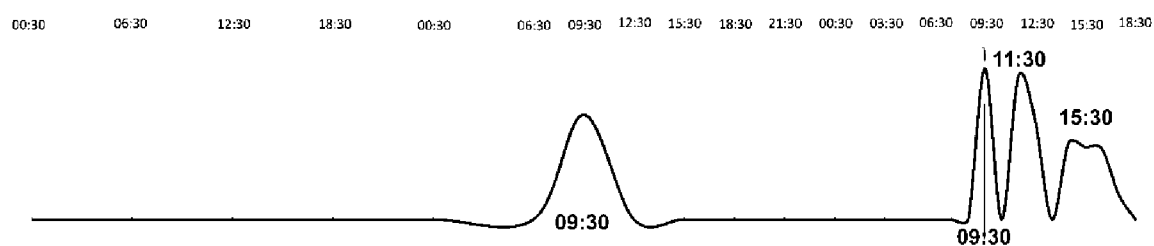
R1, R2, R3, R4 e R5 = Plantas de cada repetição experimental.

FIGURA 67 – SINAIS PRODUZIDOS EM MUDAS DE CITRUMELO, PRODUZIDOS DURANTE O PROCESSO DE ABSORÇÃO DE FÓSFORO

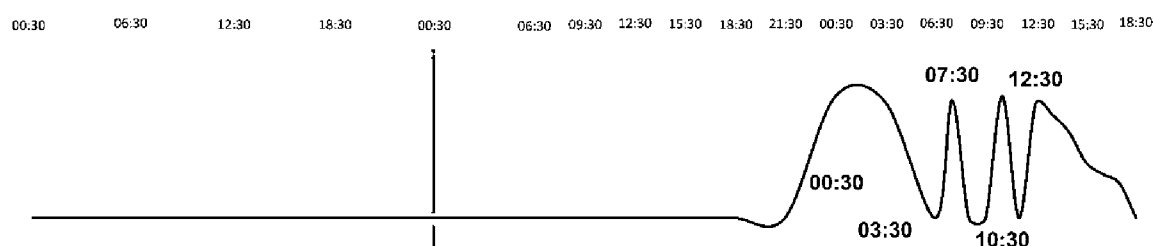
(R1)



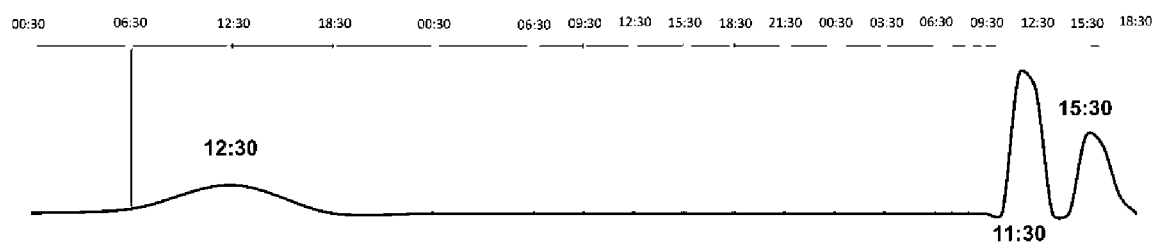
(R2)



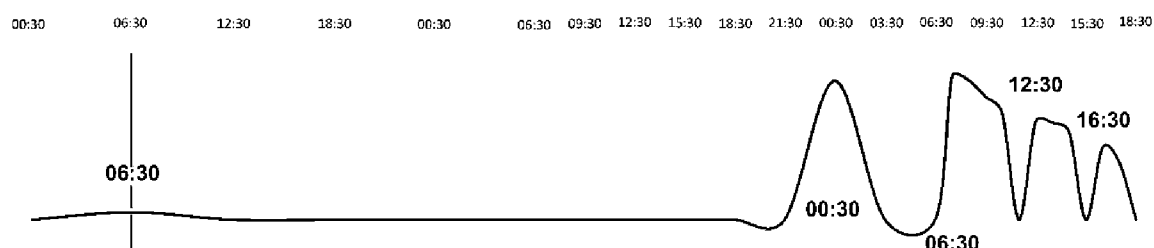
(R3)



(R4)



(R5)

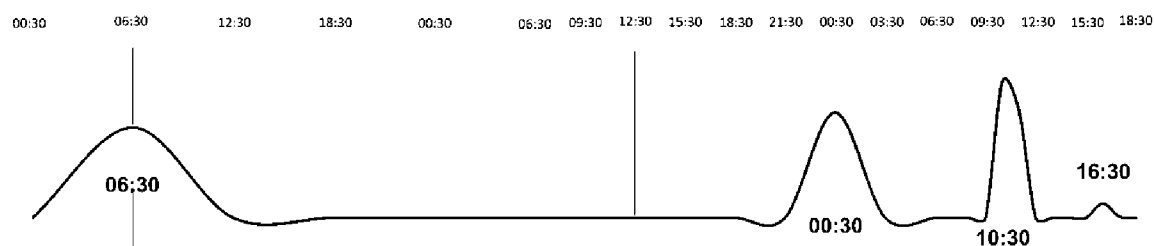


FONTE: O autor (2020).

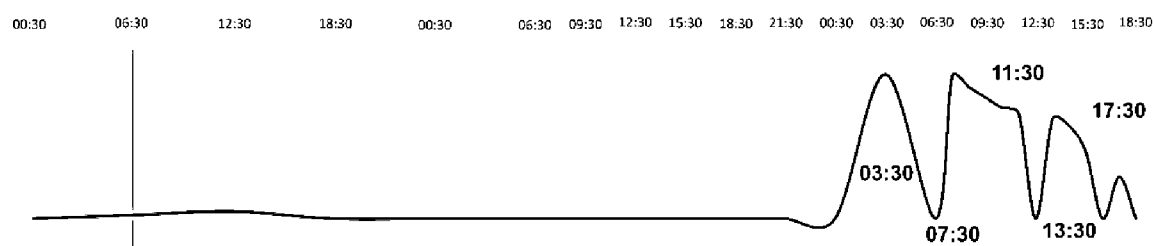
R1, R2, R3, R4 e R5 = Plantas de cada repetição experimental.

FIGURA 68 – SINAIS PRODUZIDOS EM MUDAS DE CITRUMELO, DURANTE O PROCESSO DE ABSORÇÃO DE POTÁSSIO

(R1)



(R2)



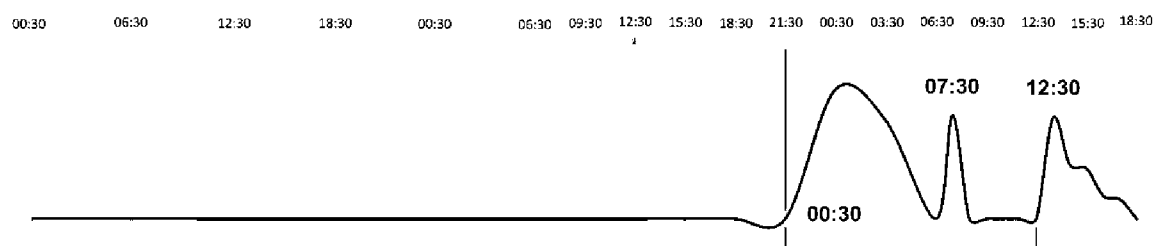
(R3)



(R4)



(R5)



FONTE: O autor (2020).

R1, R2, R3, R4 e R5 = Plantas de cada repetição experimental.

ANEXO 4 - INFLUÊNCIA DO AMBIENTE EM ANIMAIS

Muitos modelos foram elaborados para o entendimento dos padrões de comportamento de crescimento das espécies de crustáceo. Tais modelos abrangem diferentes princípios biológicos e dados coletados disponíveis. De acordo com CHANG et al. (2012), os padrões de crescimento dos crustáceos são pautados em dois principais fatores: o processo de muda e o padrão de muda.

O processo de muda no ciclo de vida do animal é controlado por processos fisiológicos complexos (hormônios), podendo ser influenciados por fatores ambientais. A temperatura possui a capacidade de modificar o controle hormonal dos crustáceos, promovendo resposta no ciclo de muda. Contudo, têm-se relacionado que, após uma sucessão de mudas, os crustáceos entram em estado de anedise terminal, não realizando a muda posteriormente (Chang et al., 2012).

De maneira geral, os seguintes fatores são capazes de influenciar o andamento dos processos de mudas em crustáceos, variando de espécie para espécie: temperatura, suprimento de alimentos, fotoperíodo, densidade populacional, limitação de abrigo, tipo de substrato e comportamento social. Tendo em vista os fatores supracitados, o estabelecimento de modelos adaptados para cada espécie torna-se essencial, sendo possível a adoção de metodologias mais eficientes para a descrição dos comportamentos fisiológicos (Chang et al., 2012; Long, 2016).

Anger (1998) relata em estudos com larvas de crustáceo que, efeitos de ambientes estressantes (com características físico-químicas inadequadas) podem refletir momentos de declínio nas taxas de desenvolvimento e crescimento, além da alteração da composição química da biomassa larval. Quanto à composição bioquímica (Carbono, nitrogênio, lipídios e proteínas) pode haver variâncias nas relações quantitativas mediante: condições nutricionais (submissão à alimentação suficiente ou não), modo de desenvolvimento (quanto ao tipo de alimento ofertado), clado (grupos correlatos ou não), larvas coletadas (selvagens) e tratadas em laboratório (efeitos oriundos da domesticação – condições controladas).

Estudos aplicados ao desenvolvimento de larvas de algumas espécies de peixe relacionam que, para este estágio, a sinergia entre a alimentação e a duração do fotoperíodo é vital para o crescimento inicial (algumas espécies se desenvolvem e crescem em intensidades baixas ou ausentes de luz). Os efeitos da disponibilidade

de luz (fator considerado limitante) estimulam nos animais os instintos de localização, captura e predação de outros organismos menores, promovendo melhorias na eficiência de conversão alimentar e, conseqüentemente, no crescimento. Contudo, cabe mencionar que a exposição à luz intensa pode provocar estresse (e até ser letal) para determinados peixes (Boeuf & Le Bail, 1999; Osse & Van den Boogaart, 1995).

Taylor (1984) afirma que pouco se sabe sobre a sincronicidade comportamental e sobre os mecanismos endócrinos (que controlam a desova sincronizada) de peixes com ciclos lunares. Alguns outros estudos sugerem que a sincronia do desenvolvimento de peixes com o ciclo lunar reside, principalmente, no desenvolvimento de estratégias (processos de seleção natural e repasse de comportamentos pelos ancestrais) e necessidade de sobrevivência em certos ambientes hostis (SHIMA et al., 2020).

De los Ríos-Méndez et al. (2019) e Shima & Swearer (2019) demonstram em seus estudos que, para o caso de estádios larvais, as taxas de crescimento foram aumentadas mediante forrageamento noturno. Isto ocorre devido ao controle da temperatura média da coluna d'água e do gradiente vertical, além da iluminação lunar na abundância de itens para predação e alimentação das larvas. Como adicional, há supressão das migrações diárias de predadores mesopelágicos, proporcionando um ambiente ótimo para forrageio e plenitude para a ecologia trófica do organismo.

Osse et al. (1997) destacam que há simorfose durante o desenvolvimento dos peixes. Tendo em vista a necessidade do estabelecimento de condições para assegurar a sua sobrevivência no ambiente, os peixes apresentam crescimento alométrico nos primeiros estádios de vida (aceleração inicial no crescimento). Este desenvolvimento ocorre principalmente nos aparatos caudais (propulsão) e bucais (alimentação), conferindo-lhe maior mobilidade e capacidade para captura de organismos e fuga de predadores. Com isso, percebe-se que os pontos de inflexão em curvas de crescimento demonstram a alteração de prioridades, ou seja, após aceleração inicial do crescimento de apêndices, o crescimento torna-se cada vez mais isométrico.

Como explorado em estudos por Jonsson & Jonsson (2014), muitos fatores podem contribuir para determinados comportamentos em peixes, sendo alguns deles: migração parcial, conhecimento/cognição e escolha de casais. Em relação a migração

parcial, pode-se relacionar a possibilidade do organismo torna-se migrador ou residente (fenótipo migratório ou não) com a taxa de crescimento inicial da população de peixes (posteriormente, sendo relacionado com o estado energético). Mediante cognição, torna-se possível estabelecer correlações entre complexidade ambiental e estímulos sensoriais com desenvolvimento neural. Por fim, a escolha de casais para a reprodução, que pode ser associada à capacidade do organismo estabelecer relações baseadas em experiências iniciais (estudos ainda incipientes).

REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anger K. Patterns of growth and chemical composition in decapod crustacean larvae. *Invertebrate Reproduction & Development*, v. 33, n. 2-3, p. 159-176, 1998.

Boeuf G, Le Bail PY. Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture*, v. 177, n. 1-4, p. 129-152, 1999.

Chang YJ et al. Modelling the growth of crustacean species. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, v. 22, n. 1, p. 157-187, 2012.

De Los Ríos-Méndez J, Kanamori GA, Landaeta MF. Lunar influences in the diet habits and selectivity of larval clingfish *Gobiesox marmoratus*. *Journal of fish biology*, v. 95, n. 3, p. 833-846, 2019.

Jonsson B, Jonsson N. Early environment influences later performance in fishes. *Journal of Fish Biology*, v. 85, n. 2, p. 151-188, 2014.

Long WC. A new quantitative model of multiple transitions between discrete stages, applied to the development of crustacean larvae. 2016. Disponível em: <<https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/12544>>. Acesso em: 14 de novembro de 2020.

Osse JWM. et al. Priorities during early growth of fish larvae. *Aquaculture*, v. 155, n. 1-4, p. 249-258, 1997.

Osse JWM, Van den Boogaart JGM. Fish larvae, development, allometric growth, and the aquatic environment. In: *ICES Marine Science Symposia*. Copenhagen, Denmark: International Council for the Exploration of the Sea, 1991-, 1995. p. 21-34.

Shima JS. et al. Reproductive phenology across the lunar cycle: parental decisions, offspring responses, and consequences for reef fish. *Ecology*, p. e03086, 2020.

Shima JS, Swearer SE. Moonlight enhances growth in larval fish. *Ecology*, v. 100, n. 1, p. e02563, 2019.

Taylor MH. Lunar synchronization of fish reproduction. *Transactions of the American Fisheries Society*, v. 113, n. 4, p. 484-493, 1984.

ANEXO 5 - VISUALIZAÇÃO DAS CORRESPONDÊNCIAS QUALITATIVAS ENTRE OS ÍNDICES CND OBTIDOS PARA MACRO E MICRONUTRIENTES COM ARRANJOS DISTINTOS.

QUADRO 2 – DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 11 e 10 NUTRIENTES ($d = 11$ e $d = 10$) PARA A NORMA CND, COM (PROCEDIMENTO PADRÃO) E SEM EXCLUSÃO DE *OUTLIERS*

Índices	$d = 11$	$d = 10$										
		-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-Mn	-Cu	-Zn	-Fe	-B
P1 - Procedimento padrão												
IN	-0,49	-	-0,69	-0,47	-0,45	-0,39	-0,37	-0,45	-0,54	-0,82	-0,40	-0,69
IP	-0,49	-0,68	-	-0,64	-0,41	-0,25	⌊	-0,48	-0,62	-0,74	-0,19	-0,63
IK	-0,73	-0,70	-0,77	-	-0,75	-0,69	-0,63	-0,77	-0,95	-1,11	-0,63	-1,00
ICa	-0,23	-0,44	-0,43	-0,36	-	-0,20	⌊	-0,36	-0,39	-0,53	-0,13	-0,27
IMg	1,56	1,37	1,28	1,33	1,64	-	1,99	1,57	2,70	2,47	1,26	1,98
IS	1,13	1,07	1,46	1,06	1,07	1,27	-	1,00	1,54	2,56	1,27	1,34
IMn	-0,40	-0,57	⊥	-0,50	-0,41	-0,40	-0,27	-	-0,40	-0,27	⌊	-0,34
ICu	0,52	0,44	⊥	0,42	0,44	0,64	0,69	0,35	-	⌊	0,37	0,59
IZn	0,17	⊥	0,26	⊥	0,16	0,39	0,38	⊥	⊥	-	0,30	-0,14
IFe	0,83	0,75	0,98	0,56	0,61	0,84	0,73	0,71	0,81	1,32	-	0,87
IB	-0,79	-1,15	-0,91	-1,07	-0,75	-0,66	-0,43	-0,80	-1,18	-1,47	-0,57	-
P2 - Sem remoção de outliers												
IN	-0,84	-	-0,82	-0,88	-0,86	-0,71	-0,68	-0,82	-0,87	-0,88	-0,70	-0,88
IP	-1,31	-1,71	-	-1,65	-1,22	-0,99	-0,63	-1,17	-1,20	-1,14	-0,85	-1,25
IK	-1,16	-1,26	-1,22	-	-1,04	-1,05	-1,01	-1,09	-1,26	-1,29	-1,02	-1,27
ICa	-0,58	-0,81	-0,62	-0,81	-	-0,43	-0,23	-0,54	-0,56	-0,51	-0,35	-0,62
IMg	1,88	1,50	1,86	1,52	1,84	-	2,32	1,98	2,07	1,96	2,32	1,89
IS	1,77	2,28	1,67	1,75	1,86	1,82	-	1,92	1,80	1,72	1,79	1,72
IMn	0,13	⊥	⊥	⊥	0,22	0,23	0,44	-	0,13	0,21	0,27	0,15
ICu	0,22	⊥	0,13	⊥	⊥	0,37	0,47	0,17	-	0,31	0,43	0,16
IZn	⊥	⌊	⌊	-0,11	⌊	0,20	0,36	0,11	0,18	-	0,28	⌊
IFe	1,64	1,32	1,38	1,37	1,11	1,53	1,44	1,21	1,60	1,57	-	1,39
IB	-0,72	-0,99	-0,78	-0,94	-0,70	-0,61	-0,38	-0,66	-0,73	-0,69	-0,47	-

FONTE: O autor (2020).

⌊ Valor negativo entre -0,1 e 0,0; ⊥ Valor positivo entre 0,0 e 0,1.

QUADRO 3 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 11 e 10 NUTRIENTES ($d = 11$ e $d = 10$) PARA A NORMA CND, SEM E COM (PADRÃO) EXCLUSÃO DE *OUTLIERS*, MAIS A SUAVIZAÇÃO DOS DADOS.

Índices	$d = 11$	$d = 10$										
		-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-Mn	-Cu	-Zn	-Fe	-B
P3 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers												
IN	-0,64	-	-0,55	-0,63	-0,56	-0,59	-0,70	-0,49	-0,48	-0,45	-0,28	-0,59
IP	-0,75	-0,65	-	-0,73	-0,66	-0,73	-0,74	-0,63	-0,54	-0,56	-0,51	-0,72
IK	-0,44	-0,47	-0,53	-	-0,42	-0,59	-0,68	-0,33	-0,56	-0,50	-0,27	-0,49
ICa	±	±	∓	±	-	0,19	-0,42	0,25	0,19	0,22	0,52	0,20
IMg	-0,24	-0,22	-0,24	-0,28	-0,19	-	-0,41	∓	∓	∓	0,18	-0,20
IS	-2,18	-1,88	-1,84	-2,15	-1,99	-2,09	-	-2,05	-1,94	-2,11	-2,03	-2,24
IMn	0,80	0,73	0,71	0,76	0,72	0,84	0,60	-	0,61	0,71	0,84	0,77
ICu	0,82	0,77	0,74	0,81	0,74	0,96	0,46	0,78	-	0,84	1,05	0,82
IZn	0,82	0,78	0,73	0,80	0,77	0,92	0,57	0,80	0,71	-	0,96	0,82
IFe	1,63	1,38	1,43	1,48	1,36	1,63	1,34	1,37	1,63	1,56	-	1,47
IB	0,32	0,26	0,21	0,25	0,28	0,34	±	0,34	0,25	0,29	0,39	-
P4 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers												
IN	-0,27	-	-0,38	-0,35	-0,19	-0,21	-0,35	-0,25	-0,33	-0,29	-0,31	-0,23
IP	-0,32	∓	-	-0,40	-0,26	-0,27	-0,37	-0,22	-0,50	-0,42	-0,31	-0,41
IK	-0,41	±	-0,42	-	-0,16	-0,40	-0,60	-0,48	-0,25	-0,28	-0,31	-0,27
ICa	0,29	∓	±	0,25	-	0,29	±	0,24	0,18	0,18	0,19	0,31
IMg	∓	∓	-0,29	-0,10	-0,25	-	-0,14	0,11	∓	∓	-0,35	∓
IS	-1,00	±	-1,01	-1,24	-0,20	-0,95	-	-1,05	-1,56	-1,22	-0,26	-1,07
IMn	0,15	0,10	0,37	0,18	0,32	0,13	±	-	0,41	0,38	0,33	0,31
ICu	0,81	∓	0,57	0,91	0,16	0,92	0,79	0,53	-	0,67	0,28	0,71
IZn	0,46	0,10	0,64	0,58	0,25	0,50	0,43	0,38	0,70	-	0,53	0,59
IFe	0,90	-0,21	1,04	0,86	±	0,82	0,81	0,78	1,12	1,00	-	0,54
IB	0,21	±	0,16	0,21	0,27	0,16	±	0,15	0,24	0,18	0,28	-

FONTE: O autor (2020).

∓ Valor negativo entre -0,1 e 0,0; ± Valor positivo entre 0,0 e 0,1.

QUADRO 4 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 10 e 9 NUTRIENTES ($d = 10$ e $d = 9$) PARA A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS

Índices	$d = 10$ (-S)	$d = 9$									
		-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-Mn	-Cu	-Zn	-Fe	-B
P1 - Procedimento padrão											
IN	-0,24	-	-0,39	-0,40	-0,38	-0,31	-0,21	-0,43	-0,42	-0,31	-0,57
IP	-0,20	-0,30	-	-0,26	⌊	0,31	⌊	-0,15	⌊	0,12	-0,33
IK	-0,44	-0,58	-0,68	-	-0,65	-0,53	-0,60	-0,80	-0,62	-0,52	-0,77
ICa	⌊	-0,13	⌊	-0,14	-	⌊	-0,16	⌊	⌊	⌊	⌊
IMg	1,33	1,83	1,89	1,67	2,08	-	1,15	3,34	2,81	1,64	2,69
IMn	-0,32	-0,39	-0,23	-0,35	-0,26	-0,20	-	-0,18	-0,24	0,14	-0,30
ICu	0,43	0,65	0,68	0,66	0,63	0,85	0,52	-	0,37	0,56	0,78
IZn	0,18	0,26	0,40	0,30	0,36	0,65	0,52	0,33	-	0,50	0,12
IFe	0,61	0,71	0,75	0,68	0,73	0,73	0,36	0,98	0,76	-	1,03
IB	-0,43	-0,78	-0,38	-0,65	-0,40	-0,19	-0,40	-0,65	-0,43	-0,25	-
P2 - Sem remoção de outliers											
IN	-0,68	-	-0,78	-0,74	-0,70	-0,59	-0,60	-0,77	-0,68	-0,62	-0,73
IP	-0,63	-1,06	-	-0,95	-0,56	-0,40	-0,44	-0,55	-0,55	-0,20	-0,67
IK	-1,01	-0,91	-0,91	-	-0,89	-0,88	-0,80	-1,14	-1,02	-0,70	-1,05
ICa	-0,23	-0,48	-0,35	-0,42	-	⌊	-0,27	-0,15	-0,20	⌊	-0,28
IMg	2,32	2,10	2,49	1,94	2,39	-	2,59	2,66	2,49	2,96	2,51
IMn	0,44	0,37	0,44	0,35	0,39	0,43	-	0,41	0,32	0,59	0,28
ICu	0,47	0,29	0,36	0,35	0,32	0,68	0,34	-	0,49	0,59	0,42
IZn	0,36	0,19	0,31	0,22	0,30	0,50	0,33	0,43	-	0,56	0,28
IFe	1,44	1,21	1,27	1,35	1,12	1,69	1,10	1,69	1,60	-	1,48
IB	-0,38	-0,55	-0,38	-0,54	-0,33	-0,24	-0,27	-0,31	-0,36	-0,13	-
P3 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers											
IN	-0,70	-	-0,73	-0,78	-0,68	-0,68	-0,57	-0,68	-0,73	-0,56	-0,81
IP	-0,74	-0,69	-	-0,79	-0,71	-0,73	-0,62	-0,66	-0,80	-0,66	-0,85
IK	-0,68	-0,76	-0,77	-	-0,74	-0,72	-0,62	-0,87	-0,74	-0,44	-0,78
ICa	-0,42	-0,60	-0,70	-0,59	-	-0,52	-0,24	-0,32	-0,22	⌊	-0,34
IMg	-0,41	-0,40	-0,48	-0,50	-0,40	-	-0,24	-0,36	-0,43	-0,21	-0,52
IMn	0,60	0,55	0,59	0,58	0,54	0,60	-	0,48	0,67	0,74	0,64
ICu	0,46	0,36	0,32	0,38	0,39	0,44	0,44	-	0,58	0,77	0,50
IZn	0,57	0,53	0,54	0,54	0,53	0,56	0,53	0,54	-	0,80	0,63
IFe	1,34	1,23	1,30	1,25	1,22	1,37	1,18	1,56	1,47	-	1,39
IB	⌊	⌊	⌊	⌊	⌊	⌊	⌊	⌊	0,14	0,26	-
P4 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers											
IN	-0,35	-	-0,40	-0,39	0,19	-0,22	-0,39	-0,33	-0,41	-0,32	-0,44
IP	-0,37	-0,39	-	-0,41	0,21	-0,22	-0,42	-0,49	-0,49	-0,41	-0,41
IK	-0,60	-0,54	-0,53	-	-0,34	-0,54	-0,50	-0,56	-0,44	-0,29	-0,55
ICa	⌊	⌊	-0,52	-0,16	-	0,30	⌊	⌊	⌊	⌊	⌊
IMg	-0,14	-0,13	-0,36	-0,20	0,18	-	-0,11	⌊	-0,25	-0,22	-0,14
IMn	⌊	⌊	0,16	⌊	⌊	0,14	-	0,21	0,31	0,25	⌊
ICu	0,79	0,91	0,49	0,75	⌊	0,39	0,62	-	0,52	0,70	0,67
IZn	0,43	0,52	0,67	0,39	⌊	0,19	0,41	0,51	-	0,78	0,26
IFe	0,81	0,83	0,91	0,81	-0,18	0,41	0,78	0,95	0,96	-	0,96
IB	⌊	⌊	⌊	⌊	-0,13	0,21	⌊	-0,10	⌊	0,20	-

FONTE: O autor (2020).

⌊ Valor negativo entre -0,1 e 0,0; ⌊ Valor positivo entre 0,0 e 0,1.

QUADRO 5 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 9 e 8 NUTRIENTES ($d = 9$ e $d = 8$) PARA A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS

Índices	$d = 9$ (-S, -Fe)	$d = 8$								
	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-Mn	-Cu	-Zn	-B	
P1 - Procedimento padrão										
IN	-0,31	-	-0,48	-0,33	-0,24	-0,38	-0,50	-0,48	-0,46	-0,56
IP	0,12	0,32	-	⌞	0,38	0,62	0,42	0,16	0,31	0,19
IK	-0,52	-0,37	-0,64	-	-0,35	-0,40	-0,54	-0,56	-0,59	-0,58
ICa	⊥	⊥	⊥	⊥	-	0,19	0,16	⌞	⊥	0,10
IMg	1,64	-0,26	1,90	1,48	-0,20	-	1,56	3,37	2,52	2,09
IMn	0,14	0,33	0,28	⌞	0,45	0,27	-	0,23	0,14	0,27
ICu	0,56	0,23	0,57	0,56	0,17	0,55	0,60	-	0,46	0,73
IZn	0,50	0,55	0,63	0,39	0,51	0,78	0,67	0,56	-	0,54
IB	-0,25	0,17	-0,15	-0,40	0,11	⌞	⌞	-0,35	-0,10	-
P2 - Sem remoção de outliers										
IN	-0,62	-	-0,67	-0,68	-0,54	-0,47	-0,56	-0,56	-0,56	-0,61
IP	-0,20	-0,60	-	-0,46	-0,48	⊥	⌞	-0,13	-0,15	-0,26
IK	-0,70	-0,95	-0,71	-	-0,92	-0,69	-0,69	-0,82	-0,82	-0,86
ICa	⌞	-0,12	⌞	-0,20	-	0,24	⌞	⊥	⊥	⌞
IMg	2,96	2,55	2,98	2,49	3,14	-	3,14	3,23	3,11	3,07
IMn	0,59	0,50	0,59	0,54	0,45	0,76	-	0,51	0,51	0,46
ICu	0,59	0,74	0,56	0,52	0,68	0,92	0,57	-	0,73	0,65
IZn	0,56	0,55	0,56	0,46	0,56	0,85	0,61	0,63	-	0,55
IB	-0,13	-0,29	-0,11	-0,23	-0,28	⌞	⌞	⌞	⌞	-
P3 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers										
IN	-0,56	-	-0,56	-0,62	-0,51	-0,53	-0,43	-0,51	-0,50	-0,61
IP	-0,66	-0,53	-	-0,70	-0,56	-0,63	-0,57	-0,59	-0,58	-0,73
IK	-0,44	-0,52	-0,55	-	-0,60	-0,46	-0,39	-0,54	-0,50	-0,49
ICa	⊥	-0,15	-0,18	⌞	-	⊥	0,20	0,22	0,27	0,18
IMg	-0,21	-0,14	-0,26	-0,28	-0,12	-	⌞	-0,11	⌞	-0,22
IMn	0,74	0,64	0,72	0,71	0,60	0,76	-	0,70	0,70	0,77
ICu	0,77	0,66	0,75	0,72	0,84	0,83	0,74	-	0,92	0,81
IZn	0,80	0,70	0,77	0,76	0,71	0,84	0,77	0,84	-	0,84
IB	0,26	0,14	0,17	0,21	0,22	0,26	0,29	0,30	0,32	-
P4 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers										
IN	-0,32	-	-0,26	⌞	-0,11	-0,34	-0,39	-0,19	-0,25	-0,43
IP	-0,41	0,10	-	⊥	-0,14	-0,50	-0,53	-0,38	-0,27	-0,51
IK	-0,29	-0,38	-0,24	-	-0,25	-0,33	-0,23	-0,26	-0,21	-0,22
ICa	⊥	⊥	-0,12	⌞	-	0,17	0,13	⊥	0,17	0,21
IMg	-0,22	⊥	-0,29	⌞	-0,13	-	-0,31	0,15	-0,29	-0,14
IMn	0,25	⊥	0,39	⊥	0,19	0,37	-	0,28	0,40	0,39
ICu	0,70	⌞	0,17	⌞	⊥	0,57	0,61	-	0,23	0,77
IZn	0,78	⊥	0,42	0,10	0,24	0,75	0,79	0,67	-	0,61
IB	0,20	-0,12	0,22	-0,10	0,13	0,24	0,32	⊥	0,24	-

FONTE: O autor (2020).

⌞ Valor negativo entre -0,1 e 0,0; ⊥ Valor positivo entre 0,0 e 0,1.

QUADRO 6 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 8 e 7 NUTRIENTES ($d = 8$ e $d = 7$) PARA A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS

Índices	$d = 8$ (-S, -Fe, -Mg)	$d = 7$							
		-N	-P	-K	-Ca	-Mn	-Cu	-Zn	-B
P1 - Procedimento padrão									
IN	-0,45	-	-0,41	-0,37	-0,39	-0,44	-0,30	-0,36	-0,50
IP	0,60	0,52	-	0,48	0,63	0,62	0,45	0,56	0,62
IK	-0,48	-0,45	-0,44	-	-0,43	-0,47	-0,50	-0,43	-0,34
ICa	0,18	⊥	0,21	0,12	-	0,23	0,34	0,35	0,18
IMn	0,33	0,28	0,28	⊥	0,29	-	0,31	0,35	0,38
ICu	0,61	0,58	0,61	0,57	0,55	0,59	-	0,50	0,65
IZn	0,95	0,88	0,90	1,02	0,78	0,88	0,89	-	0,71
IB	⌞	-0,21	⊥	-0,13	⊥	⊥	⌞	0,21	-
P2 - Sem remoção de outliers									
IN	-0,47	-	-0,48	-0,52	-0,55	-0,49	-0,43	-0,50	-0,56
IP	⊥	⌞	-	-0,12	0,20	0,40	0,18	0,22	⊥
IK	-0,69	-0,60	-0,69	-	-0,67	-0,49	-0,65	-0,74	-0,78
ICa	0,24	⊥	0,24	0,12	-	0,30	0,37	0,42	0,32
IMn	0,76	0,75	0,74	0,71	0,82	-	0,67	0,77	0,72
ICu	0,92	0,82	0,88	0,87	0,87	0,84	-	1,10	1,00
IZn	0,85	0,78	0,82	0,76	0,90	0,88	0,96	-	0,89
IB	⌞	⌞	⊥	⌞	0,10	0,19	0,14	0,21	-
P3 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers									
IN	-0,53	-	-0,57	-0,59	-0,48	-0,39	-0,47	-0,42	-0,55
IP	-0,63	-0,50	-	-0,67	-0,53	-0,54	-0,54	-0,50	-0,61
IK	-0,46	-0,53	-0,69	-	-0,62	-0,40	-0,60	-0,51	-0,57
ICa	⊥	-0,20	-0,23	-0,12	-	0,21	0,25	0,27	0,15
IMn	0,76	0,67	0,82	0,74	0,63	-	0,72	0,66	0,69
ICu	0,83	0,73	0,89	0,78	0,92	0,80	-	0,98	0,89
IZn	0,84	0,74	0,92	0,79	0,76	0,81	0,84	-	0,82
IB	0,26	0,14	0,18	0,21	0,22	0,30	0,29	0,29	-
P4 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers									
IN	-0,34	-	-0,34	-0,23	-0,26	-0,38	-0,28	-0,34	-0,46
IP	-0,50	-0,17	-	-0,33	-0,29	-0,45	-0,50	-0,43	-0,58
IK	-0,33	-0,26	-0,45	-	-0,26	-0,37	-0,41	-0,32	-0,18
ICa	0,17	0,21	⊥	⌞	-	0,22	0,32	0,34	0,21
IMn	0,37	0,19	0,42	0,25	0,38	-	0,47	0,53	0,47
ICu	0,57	0,31	0,28	0,38	0,23	0,51	-	0,45	0,63
IZn	0,75	0,17	0,65	0,63	0,36	0,83	0,83	-	0,70
IB	0,24	0,16	0,20	⊥	0,23	0,26	0,18	0,35	-

FONTE: O autor (2020).

⌞ Valor negativo entre -0,1 e 0,0; ⊥ Valor positivo entre 0,0 e 0,1.

QUADRO 7 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 7 e 6 NUTRIENTES ($d = 7$ e $d = 6$) PARA A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS

Índices	$d = 7$ (-S, -Fe, -Mg, -Cu)	$d = 6$						
		-N	-P	-K	-Ca	-Mn	-Zn	-B
P1 - Procedimento padrão								
IN	-0,37	-	-0,35	-0,33	-0,38	-0,37	-0,27	-0,40
IP	0,49	0,39	-	0,53	0,66	0,66	0,55	0,55
IK	-0,56	-0,56	-0,53	-	-0,48	-0,38	-0,48	-0,37
ICa	0,30	0,29	0,32	0,22	-	0,28	0,44	0,36
IMn	0,46	0,37	0,45	±	0,44	-	0,45	0,26
IZn	0,98	1,06	0,95	0,75	0,88	0,89	-	0,72
IB	̄	-0,25	±	̄	±	±	0,11	-
P2 - Sem remoção de outliers								
IN	-0,43	-	-0,48	-0,52	-0,48	-0,40	-0,31	-0,51
IP	0,18	±	-	±	0,34	0,39	0,19	0,26
IK	-0,65	-0,67	-0,69	-	-0,50	-0,60	-0,52	-0,72
ICa	0,37	0,29	0,37	0,27	-	0,49	0,44	0,43
IMn	0,67	0,69	0,68	0,66	0,76	-	0,74	0,77
IZn	0,96	0,92	0,98	0,96	0,83	0,95	-	0,94
IB	0,14	±	0,21	±	0,17	0,30	0,20	-
P3 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers								
IN	-0,47	-	-0,50	-0,55	-0,50	-0,37	-0,36	-0,48
IP	-0,54	-0,62	-	-0,59	-0,64	-0,55	-0,47	-0,56
IK	-0,60	-0,51	-0,73	-	-0,44	-0,27	-0,46	-0,58
ICa	0,25	̄	̄	0,10	-	0,38	0,44	0,32
IMn	0,72	0,82	0,68	0,68	0,79	-	0,69	0,68
IZn	0,84	0,90	0,99	0,78	0,86	0,86	-	0,85
IB	0,29	0,27	0,24	0,23	0,30	0,38	0,34	-
P4 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers								
IN	-0,28	-	-0,38	-0,30	-0,30	-0,29	-0,28	-0,46
IP	-0,50	-0,48	-	-0,40	-0,49	-0,54	-0,46	-0,67
IK	-0,41	-0,47	-0,58	-	-0,43	-0,25	-0,33	-0,29
ICa	0,32	0,27	̄	0,26	-	0,29	0,42	0,39
IMn	0,47	0,44	0,57	0,21	0,52	-	0,60	0,63
IZn	0,83	0,94	0,98	0,67	0,79	0,85	-	0,86
IB	0,18	0,11	±	0,17	0,18	0,29	0,31	-

FONTE: O autor (2020).

̄ Valor negativo entre -0,1 e 0,0; ± Valor positivo entre 0,0 e 0,1.

QUADRO 8 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 6 e 5 NUTRIENTES ($d = 6$ e $d = 5$) PARA A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS

Índices	$d = 6$ (-S, -Fe, -Mg, -Cu, -Mn)	$d = 5$					
		-N	-P	-K	-Ca	-Zn	-B
P1 - Procedimento padrão							
IN	-0,34	-	-0,29	-0,46	-0,32	-0,17	-0,40
IP	0,49	0,59	-	0,53	0,52	0,66	0,48
IK	-0,51	-0,61	-0,55	-	-0,50	-0,41	-0,44
ICa	0,35	0,22	0,37	0,36	-	0,35	0,44
IZn	0,94	0,92	0,88	0,92	0,89	-	0,81
IB	⊥	⊥	0,12	⊥	0,10	0,27	-
P2 - Sem remoção de outliers							
IN	-0,40	-	-0,37	-0,49	-0,36	-0,29	-0,41
IP	0,39	0,44	-	0,22	0,45	0,47	0,39
IK	-0,60	-0,51	-0,53	-	-0,46	-0,44	-0,55
ICa	0,49	0,32	0,45	0,38	-	0,54	0,49
IZn	0,95	0,98	0,86	0,99	0,93	-	0,92
IB	0,30	0,24	0,29	0,20	0,30	0,39	-
P3 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers							
IN	-0,37	-	-0,38	-0,43	-0,35	-0,22	-0,33
IP	-0,55	-0,64	-	-0,61	-0,49	-0,45	-0,48
IK	-0,27	-0,46	-0,55	-	-0,40	-0,19	-0,29
ICa	0,38	0,48	0,30	0,33	-	0,56	0,42
IZn	0,86	1,05	0,86	0,84	0,84	-	0,76
IB	0,38	0,46	0,32	0,31	0,40	0,47	-
P4 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers							
IN	-0,29	-	-0,35	-0,32	-0,22	-0,14	-0,33
IP	-0,54	-0,44	-	-0,46	-0,41	-0,44	-0,61
IK	-0,25	-0,50	-0,57	-	-0,36	⊥	-0,12
ICa	0,29	0,36	0,26	0,25	-	0,46	0,43
IZn	0,85	0,90	0,96	0,73	0,76	-	0,82
IB	0,29	0,23	0,21	0,16	0,22	0,39	-

FONTE: O autor (2020).

⊥ Valor negativo entre -0,1 e 0,0; ⊥ Valor positivo entre 0,0 e 0,1.

QUADRO 9 – DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 11 e 10 NUTRIENTES ($d = 11$ e $d = 10$) PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA, SEM REMOÇÃO DE OUTLIERS E TRATAMENTO PRÉVIO DE DADOS

Índices	$d = 11$	$d = 10$										
		-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-Mn	-Cu	-Zn	-Fe	-B
P5 - Sem remoção de outliers												
IN	-1,45	-	-1,51	-1,48	-1,50	-1,29	-1,22	-1,46	-1,46	-1,45	-1,25	-1,51
IP	-2,20	-2,74	-	-2,52	-2,17	-2,00	-1,42	-2,03	-2,12	-2,04	-1,64	-2,16
IK	-1,50	-1,57	-1,60	-	-1,61	-1,39	-1,30	-1,55	-1,57	-1,55	-1,33	-1,58
ICa	-1,23	-1,56	-1,31	-1,55	-	-1,04	-0,68	-1,15	-1,19	-1,19	-0,82	-1,30
IMg	2,13	1,91	2,11	1,94	2,14	-	2,48	2,20	2,13	2,20	2,47	2,16
IS	2,68	2,69	2,63	2,68	2,63	2,76	-	2,66	2,63	2,67	2,79	2,65
IMn	0,12	-0,10	⊥	-0,09	⊥	0,31	0,53	-	0,11	0,11	0,44	⊥
ICu	⊥	-0,33	-0,16	-0,32	-0,13	0,22	0,48	⊥	-	⊥	0,38	-0,15
IZn	-0,13	-0,42	-0,25	-0,40	-0,22	0,14	0,44	⊥	-0,10	-	0,32	-0,23
IFe	3,26	3,09	3,02	3,04	3,01	3,23	3,25	3,09	3,03	3,10	-	2,97
IB	-1,40	-1,76	-1,49	-1,63	-1,47	-1,27	-0,90	-1,35	-1,40	-1,37	-0,98	-
P6 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers												
IN	-0,94	-	-0,92	-0,97	-0,95	-0,86	-1,26	-0,85	-0,87	-0,86	-0,43	-0,97
IP	-0,97	-0,95	-	-0,98	-0,97	-0,91	-1,17	-0,92	-0,93	-0,92	-0,66	-0,99
IK	-0,75	-0,82	-0,86	-	-0,78	-0,76	-1,17	-0,64	-0,71	-0,66	-0,29	-0,73
ICa	-0,08	-0,22	-0,33	-0,21	-	⊥	-0,96	0,14	⊥	0,10	0,65	⊥
IMg	-0,10	-0,17	-0,22	-0,18	⊥	-	-0,63	0,13	⊥	⊥	0,67	⊥
IS	-3,19	-3,09	-3,03	-3,16	-3,22	-3,08	-	-3,29	-3,24	-3,26	-3,13	-3,28
IMn	1,08	1,07	1,07	1,04	1,05	1,11	0,81	-	1,08	1,09	1,31	1,04
ICu	1,06	1,03	1,02	1,02	1,02	1,10	0,54	1,10	-	1,10	1,46	1,03
IZn	1,14	1,13	1,13	1,09	1,09	1,17	0,79	1,15	1,14	-	1,44	1,08
IFe	3,12	3,11	3,15	3,05	3,02	3,13	2,99	3,00	3,01	3,02	-	2,96
IB	0,28	0,21	0,17	0,20	0,26	0,28	-0,17	0,36	0,32	0,35	0,64	-

FONTE: O autor (2020).

⌞ Valor negativo entre -0,1 e 0,0; ⊥ Valor positivo entre 0,0 e 0,1.

QUADRO 10 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 11 e 10 NUTRIENTES ($d = 11$ e $d = 10$) PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA, COM REMOÇÃO DE OUTLIERS E TRATAMENTO PRÉVIO DE DADOS

Índices	$d = 11$	$d = 10$										
		-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-Mn	-Cu	-Zn	-Fe	-B
P7 - Com remoção de outliers												
IN	-1,26	-	-1,42	-1,29	-1,31	-1,07	-0,89	-1,38	-1,33	-1,36	-0,92	-1,68
IP	-2,75	-3,60	-	-3,34	-2,60	-1,67	-1,32	-2,84	-1,94	-1,45	-1,33	-2,92
IK	-1,52	-1,55	-1,38	-	-1,65	-1,25	-1,16	-1,71	-1,64	-1,38	-1,01	-1,84
ICa	-1,23	-1,60	-1,29	-1,55	-	-0,97	-0,49	-1,46	-1,29	-1,04	-0,61	-1,37
IMg	5,57	5,07	2,93	4,99	5,83	-	6,44	5,52	4,28	3,52	3,62	5,26
IS	4,01	4,08	2,84	4,05	3,94	4,34	-	3,83	3,50	3,10	2,87	3,93
IMn	-2,21	-2,68	-0,72	-2,54	-2,24	-1,95	-1,54	-	-1,67	-0,75	-0,64	-1,97
ICu	0,55	0,28	-0,27	0,26	0,36	1,08	1,40	0,17	-	-0,11	0,47	0,51
IZn	-0,89	-1,31	0,19	-1,23	-0,95	0,27	-0,01	-1,10	-0,03	-	0,09	-1,62
IFe	2,96	2,95	3,17	2,66	2,61	2,81	3,11	2,64	2,27	2,67	-	3,31
IB	-3,59	-4,39	-2,51	-4,17	-3,50	-2,89	-2,48	-3,60	-2,74	-2,30	-2,18	-
P8 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers												
IN	-0,28	-	-0,69	-0,35	-0,03	-0,23	-0,70	-0,33	-0,50	-0,60	-0,64	-0,23
IP	-0,68	-0,18	-	-0,70	-0,20	-0,60	-0,86	-0,25	-0,87	-0,72	-0,74	-0,57
IK	-0,53	0,54	-0,66	-	0,56	-0,45	-0,84	-0,80	-0,59	-0,45	-0,12	-0,58
ICa	0,52	-0,02	-0,30	0,39	-	0,55	-0,38	0,25	0,25	0,14	±	0,35
IMg	0,76	-0,13	-0,31	0,64	-0,16	-	0,21	1,01	0,47	0,20	-0,97	0,81
IS	-3,44	-0,12	-2,46	-3,56	-0,13	-3,31	-	-3,02	-3,59	-2,90	-0,89	-3,19
IMn	-0,11	0,50	0,40	-0,14	0,46	-0,10	-0,65	-	0,58	0,46	1,49	-0,18
ICu	2,17	0,18	0,97	2,28	0,14	2,52	1,81	1,02	-	1,21	0,08	1,53
IZn	1,00	0,61	0,88	1,04	0,54	1,12	0,59	0,77	1,44	-	1,07	0,69
IFe	2,99	-0,83	3,62	2,97	-0,83	3,09	2,98	2,26	3,24	3,11	-	2,51
IB	-0,12	0,16	-0,42	-0,18	0,14	-0,11	-0,84	-0,28	-0,08	-0,12	0,20	-

FONTE: O autor (2020).

≡ Valor negativo entre -0,1 e 0,0; ± Valor positivo entre 0,0 e 0,1.

QUADRO 11 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 10 e 9 NUTRIENTES ($d = 10$ e $d = 9$) PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES

Índices	$d = 10$ (-S)	$d = 9$									
		-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-Mn	-Cu	-Zn	-Fe	-B
P5 - Sem remoção de outliers											
IN	-1,22	-	-1,30	-1,27	-1,29	-1,05	-1,23	-1,23	-1,24	-0,99	-1,30
IP	-1,42	-2,01	-	-1,81	-1,41	-1,06	-1,23	-1,25	-1,29	-0,72	-1,42
IK	-1,30	-1,36	-1,37	-	-1,38	-1,12	-1,31	-1,31	-1,33	-1,04	-1,36
ICa	-0,68	-0,98	-0,75	-0,96	-	-0,40	-0,58	-0,61	-0,61	-0,20	-0,74
IMg	2,48	2,28	2,46	2,31	2,49	-	2,54	2,54	2,46	2,80	2,53
IMn	0,53	0,39	0,44	0,38	0,46	0,77	-	0,54	0,54	0,90	0,45
ICu	0,48	0,31	0,38	0,31	0,40	0,75	0,51	-	0,47	0,88	0,39
IZn	0,44	0,23	0,32	0,23	0,35	0,77	0,48	0,50	-	0,93	0,34
IFe	3,25	3,29	3,19	3,24	3,18	3,39	3,25	3,26	3,18	-	3,14
IB	-0,90	-1,26	-0,96	-1,14	-0,94	-0,64	-0,80	-0,83	-0,84	-0,38	-
P6 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers											
IN	-1,26	-	-1,25	-1,34	-1,34	-1,22	-1,28	-1,28	-1,28	-0,89	-1,39
IP	-1,17	-1,18	-	-1,22	-1,22	-1,14	-1,18	-1,18	-1,18	-0,93	-1,25
IK	-1,17	-1,25	-1,28	-	-1,24	-1,19	-1,12	-1,18	-1,13	-0,75	-1,19
ICa	-0,96	-1,29	-1,43	-1,28	-	-1,13	-0,67	-0,86	-0,74	⌊	-0,91
IMg	-0,63	-0,71	-0,72	-0,75	-0,72	-	-0,58	-0,62	-0,60	⌊	-0,73
IMn	0,81	0,76	0,75	0,74	0,76	0,81	-	0,81	0,83	1,10	0,76
ICu	0,54	0,38	0,31	0,39	0,45	0,50	0,62	-	0,60	1,10	0,49
IZn	0,79	0,71	0,69	0,69	0,72	0,78	0,81	0,79	-	1,17	0,72
IFe	2,99	3,05	3,10	2,98	2,95	3,07	2,94	2,95	2,96	-	2,88
IB	-0,17	-0,32	-0,39	-0,29	-0,22	-0,24	⌊	-0,13	⌊	0,27	-
P7 - Com remoção de outliers											
IN	-0,89	-	-0,98	-0,95	-0,95	-0,74	-0,92	-0,98	-1,01	-0,65	-1,40
IP	-1,32	-1,99	-	-1,82	-1,27	0,37	-1,13	-0,84	-0,79	-0,32	-1,90
IK	-1,16	-1,19	-1,30	-	-1,24	-0,88	-1,07	-1,28	-1,11	-0,69	-1,41
ICa	-0,49	-0,71	-0,46	-0,73	-	⌊	-1,80	-0,53	-0,55	⌊	-0,66
IMg	6,44	5,99	5,59	5,83	6,72	-	5,73	4,63	6,54	4,20	6,81
IMn	-1,54	-1,86	-1,31	-1,80	-1,53	-1,02	-	-1,00	-1,14	-0,15	-1,46
ICu	1,40	1,46	1,30	1,36	1,24	1,97	1,88	-	0,80	1,09	1,35
IZn	⌊	-0,22	⌊	-0,23	⌊	1,44	1,45	0,72	-	0,69	-0,87
IFe	3,11	3,18	2,91	3,11	3,02	2,85	1,89	2,60	2,43	-	3,80
IB	-2,48	-3,27	-2,12	-3,04	-2,37	-1,24	-2,55	-1,90	-1,77	-1,32	-
P8 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers											
IN	-0,70	-	-0,94	-0,80	-0,11	-0,67	-1,04	-0,85	-0,95	-0,53	-1,16
IP	-0,86	-1,03	-	-0,96	-0,28	-0,66	-1,20	-1,17	-0,94	-0,86	-1,05
IK	-0,84	-0,90	-0,86	-	0,50	-1,26	-1,02	-0,99	-0,86	-0,18	-1,10
ICa	-0,38	-0,53	-1,93	-0,57	-	0,71	-0,43	-0,36	-0,52	-0,54	-0,55
IMg	0,21	⌊	-0,88	-0,06	-0,24	-	⌊	0,24	-0,37	-0,15	-0,09
IMn	-0,65	-0,72	⌊	-0,56	0,55	0,31	-	-0,15	0,21	0,34	-0,43
ICu	1,81	2,16	0,53	1,76	0,20	0,44	1,48	-	0,76	1,63	1,39
IZn	0,59	0,68	1,29	0,62	0,66	-0,62	0,59	1,20	-	1,78	0,03
IFe	2,98	3,22	3,48	2,85	-0,82	3,03	2,91	2,78	3,09	-	3,30
IB	-0,84	-1,03	-0,95	-0,80	0,21	-0,26	-0,81	-0,69	-0,53	-0,20	-

FONTE: O autor (2020).

⌊ Valor negativo entre -0,1 e 0,0; ⌊ Valor positivo entre 0,0 e 0,1.

QUADRO 12 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 9 e 8 NUTRIENTES ($d = 9$ e $d = 8$) PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES

Índices	$d = 9$ (-S, -Fe)	$d = 8$								
	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-Mn	-Cu	-Zn	-B	
P5 - Sem remoção de outliers										
IN	-0,99	-	-1,06	-1,05	-1,04	-0,77	-0,97	-0,98	-0,98	-1,05
IP	-0,72	-1,21	-	-1,05	-0,69	-0,18	-0,49	-0,52	-0,52	-0,70
IK	-1,04	-1,10	-1,09	-	-1,10	-0,80	-1,01	-1,03	-1,01	-1,08
ICa	-0,20	-0,43	-0,24	-0,42	-	0,18	⌊	-0,09	-0,10	-0,23
IMg	2,80	2,63	2,81	2,66	2,84	-	2,88	2,78	2,90	2,89
IMn	0,90	0,83	0,83	0,81	0,84	1,19	-	0,93	0,94	0,84
ICu	0,88	0,80	0,81	0,80	0,82	1,18	0,92	-	0,92	0,82
IZn	0,93	0,84	0,83	0,81	0,86	1,34	0,99	0,97	-	0,85
IB	-0,38	-0,64	-0,41	-0,57	-0,38	⊥	-0,24	-0,26	-0,26	-
P6 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers										
IN	-0,89	-	-0,90	-0,96	-0,93	-0,83	-0,81	-0,84	-0,83	-0,96
IP	-0,93	-0,93	-	-0,97	-0,96	-0,89	-0,89	-0,90	-0,90	-0,98
IK	-0,75	-0,82	-0,86	-	-0,78	-0,75	-0,60	-0,68	-0,63	-0,72
ICa	⌊	-0,24	-0,37	-0,23	-	⌊	0,20	⊥	0,16	⌊
IMg	⌊	-0,17	-0,23	-0,18	⌊	-	0,21	⊥	0,15	⌊
IMn	1,10	1,10	1,10	1,07	1,07	1,15	-	1,12	1,12	1,06
ICu	1,10	1,08	1,06	1,06	1,05	1,16	1,15	-	1,15	1,06
IZn	1,17	1,18	1,18	1,12	1,13	1,24	1,19	1,19	-	1,10
IB	0,27	0,21	0,16	0,20	0,26	0,29	0,39	0,34	0,37	-
P7 - Com remoção de outliers										
IN	-0,65	-	-0,98	-0,68	-0,62	-0,57	-0,76	-0,83	-0,86	-1,00
IP	-0,32	⊥	-	-0,57	0,79	0,71	⊥	⌊	0,12	-0,29
IK	-0,69	-0,29	-0,89	-	-0,51	-0,47	-0,62	-0,92	-0,84	-0,88
ICa	⌊	-0,10	-0,11	-0,16	-	0,27	⌊	⌊	⌊	⌊
IMg	4,20	-1,32	3,30	3,82	-1,78	-	3,65	3,68	4,78	4,52
IMn	-0,15	1,82	0,62	-0,26	1,71	⌊	-	-0,11	⌊	⌊
ICu	1,09	-0,22	0,80	1,10	0,23	1,38	0,88	-	0,86	1,32
IZn	0,69	1,19	1,28	0,63	1,24	1,69	0,77	1,20	-	0,30
IB	-1,32	-0,47	-0,85	-1,65	-0,11	-0,59	-1,03	-1,12	-0,79	-
P8 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers										
IN	-0,53	-	-0,61	-0,45	-0,40	-0,49	-0,69	-0,57	-0,61	-0,75
IP	-0,86	-0,40	-	-0,40	-0,33	-0,75	-0,84	-1,01	-0,72	-0,83
IK	-0,18	-0,19	-0,49	-	-0,10	-0,42	-0,23	-0,49	-0,13	-0,42
ICa	-0,54	-0,54	-0,59	-0,46	-	0,19	-0,17	0,41	⊥	0,30
IMg	-0,15	-0,53	-0,86	-0,54	-0,51	-	-0,27	0,47	-0,92	0,31
IMn	0,34	1,04	1,49	1,02	0,90	0,30	-	0,56	1,48	0,41
ICu	1,63	⌊	0,15	⊥	⌊	1,44	1,04	-	0,15	1,62
IZn	1,78	0,63	1,05	0,62	0,43	1,45	1,58	1,63	-	0,72
IB	-0,20	-0,14	⊥	-0,10	-0,18	⌊	0,10	⌊	0,23	-

FONTE: O autor (2020).

⌊ Valor negativo entre -0,1 e 0,0; ⊥ Valor positivo entre 0,0 e 0,1.

QUADRO 13 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 8 e 7 NUTRIENTES ($d = 8$ e $d = 7$) PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES

Índices	$d = 8$ (-S, -Fe, -Mg)	$d = 7$							
		-N	-P	-K	-Ca	-Mn	-Cu	-Zn	-B
P5 - Sem remoção de outliers									
IN	-0,77	-	-0,81	-0,82	-0,79	-0,70	-0,71	-0,71	-0,80
IP	-0,18	-0,57	-	-0,46	-0,14	0,10	±	±	-0,16
IK	-0,80	-0,86	-0,83	-	-0,83	-0,72	-0,74	-0,73	-0,81
ICa	0,18	±	0,16	±	-	0,34	0,32	0,32	0,17
IMn	1,19	1,19	1,15	1,16	1,16	-	1,24	1,26	1,16
ICu	1,18	1,16	1,13	1,16	1,14	1,23	-	1,23	1,15
IZn	1,34	1,37	1,26	1,30	1,29	1,41	1,38	-	1,28
IB	±	-0,20	⌞	-0,17	0,03	0,21	0,19	0,18	-
P6 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers									
IN	-0,83	-	-0,84	-0,89	-0,86	-0,73	-0,76	-0,75	-0,89
IP	-0,89	-0,89	-	-0,93	-0,91	-0,84	-0,85	-0,84	-0,93
IK	-0,75	-0,82	-0,86	-	-0,78	-0,59	-0,68	-0,62	-0,72
ICa	⌞	-0,30	-0,45	-0,29	-	0,24	0,11	0,19	⌞
IMn	1,15	1,16	1,16	1,12	1,12	-	1,17	1,18	1,11
ICu	1,16	1,13	1,10	1,13	1,11	1,23	-	1,23	1,12
IZn	1,24	1,27	1,27	1,20	1,20	1,27	1,26	-	1,17
IB	0,29	0,21	0,15	0,20	0,27	0,43	0,37	0,40	-
P7 - Com remoção de outliers									
IN	-0,57	-	-0,71	-0,59	-0,59	-0,75	-0,57	-0,65	-0,83
IP	0,71	0,41	-	0,74	0,78	0,86	0,67	0,77	0,68
IK	-0,47	-0,54	-0,50	-	-0,56	-0,53	-0,57	-0,54	-0,54
ICa	0,27	0,08	0,17	0,17	-	0,24	0,44	0,62	0,28
IMn	⌞	⌞	0,43	-0,15	±	-	0,52	0,69	0,30
ICu	1,38	1,52	1,25	1,44	1,32	1,13	-	0,99	1,51
IZn	1,69	1,99	1,75	1,89	1,63	1,72	1,84	-	1,23
IB	-0,59	-1,03	-0,44	-0,78	-0,44	-0,36	-0,46	⌞	-
P8 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers									
IN	-0,49	-	-0,76	-0,51	-0,51	-0,59	-0,47	-0,57	-0,79
IP	-0,75	-0,42	-	-0,76	-0,62	-0,76	-0,93	-0,63	-0,94
IK	-0,42	-0,43	-0,62	-	-0,53	-0,43	-0,41	-0,45	-0,33
ICa	0,19	0,95	±	±	-	0,19	0,44	0,58	0,24
IMn	0,30	0,87	0,78	0,32	1,15	-	0,61	0,94	0,58
ICu	1,44	0,67	0,79	1,61	0,48	0,93	-	0,69	1,51
IZn	1,45	⌞	1,45	1,47	0,52	1,48	1,70	-	1,14
IB	⌞	-0,15	⌞	-0,19	0,13	0,10	±	0,22	-

FONTE: O autor (2020).

⌞ Valor negativo entre -0,1 e 0,0; ± Valor positivo entre 0,0 e 0,1.

QUADRO 14 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 7 e 6 NUTRIENTES ($d = 7$ e $d = 6$) PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES

Índices	$d = 7$ (-S, -Fe, -Mg, -Cu)	$d = 6$						
		-N	-P	-K	-Ca	-Mn	-Zn	-B
P5 - Sem remoção de outliers								
IN	-0,71	-	-0,74	-0,77	-0,72	-0,61	-0,62	-0,74
IP	⊥	-0,22	-	-0,17	0,12	0,34	0,31	⊥
IK	-0,74	-0,80	-0,76	-	-0,75	-0,62	-0,64	-0,74
ICa	0,32	0,19	0,31	0,20	-	0,50	0,48	0,33
IMn	1,24	1,25	1,19	1,22	1,20	-	1,30	1,21
IZn	1,38	1,44	1,30	1,37	1,33	1,45	-	1,32
IB	0,19	⊥	0,18	⊥	0,22	0,40	0,37	-
P6 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers								
IN	-0,76	-	-0,79	-0,84	-0,79	-0,61	-0,64	-0,82
IP	-0,85	-0,85	-	-0,90	-0,87	-0,78	-0,79	-0,89
IK	-0,68	-0,76	-0,81	-	-0,70	-0,46	-0,50	-0,62
ICa	0,11	⌊	-0,24	⌊	-	0,43	0,38	0,18
IMn	1,17	1,19	1,19	1,15	1,14	-	1,21	1,13
IZn	1,26	1,30	1,32	1,23	1,22	1,30	-	1,19
IB	0,37	0,31	0,25	0,29	0,37	0,52	0,50	-
P7 - Com remoção de outliers								
IN	-0,57	-	-0,67	-0,26	-0,53	-0,60	-0,45	-0,76
IP	0,67	0,43	-	0,43	0,91	0,85	0,87	0,85
IK	-0,57	-0,66	-0,60	-	-0,53	-0,57	-0,50	-0,42
ICa	0,44	0,31	0,36	0,15	-	0,43	0,61	0,45
IMn	0,52	0,64	0,87	0,04	0,36	-	0,83	0,43
IZn	1,84	2,09	1,80	0,69	1,64	1,76	-	1,30
IB	-0,46	-0,82	-0,32	⌊	-0,27	-0,19	⌊	-
P8 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers								
IN	-0,47	-	-0,71	-0,52	-0,58	-0,42	-0,42	-0,74
IP	-0,93	-0,96	-	-0,84	-0,96	-0,78	-0,82	-0,98
IK	-0,41	-0,53	-0,65	-	-0,42	-0,42	-0,26	-0,29
ICa	0,44	0,23	-0,18	0,39	-	0,38	0,53	0,43
IMn	0,61	0,80	0,91	0,37	0,88	-	1,07	0,80
IZn	1,70	1,92	1,83	1,68	1,54	1,47	-	1,26
IB	⊥	⌊	-0,19	⊥	⊥	0,16	0,23	-

FONTE: O autor (2020).

⌊ Valor negativo entre -0,1 e 0,0; ⊥ Valor positivo entre 0,0 e 0,1.

QUADRO 15 - DEMONSTRATIVO DOS ÍNDICES CND CORRESPONDENTES E CONFLITANTES, COM ARRANJOS APRESENTANDO 6 e 5 NUTRIENTES ($d = 6$ e $d = 5$) PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES

Índices	$d = 6$ (-S, -Fe, -Mg, -Cu, -Mn)	$d = 5$					
		-N	-P	-K	-Ca	-Zn	-B
P5 - Sem remoção de outliers							
IN	-0,61	-	-0,63	-0,67	-0,60	-0,47	-0,62
IP	0,34	0,21	-	0,19	0,39	0,57	0,37
IK	-0,62	-0,69	-0,61	-	-0,60	-0,45	-0,59
ICa	0,50	0,42	0,50	0,42	-	0,67	0,51
IZn	1,45	1,55	1,36	1,46	1,39	-	1,38
IB	0,40	0,31	0,41	0,28	0,45	0,60	-
P6 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers							
IN	-0,61	-	-0,66	-0,70	-0,60	-0,34	-0,61
IP	-0,78	-0,77	-	-0,83	-0,79	-0,66	-0,81
IK	-0,46	-0,55	-0,63	-	-0,43	-0,17	-0,34
ICa	0,43	0,35	0,23	0,35	-	0,66	0,48
IZn	1,30	1,34	1,37	1,27	1,25	-	1,22
IB	0,52	0,51	0,46	0,47	0,53	0,65	-
P7 - Com remoção de outliers							
IN	-0,60	-	-0,50	-0,65	-0,60	-0,43	-0,35
IP	0,85	0,73	-	0,90	0,80	1,02	0,36
IK	-0,57	-0,57	-0,62	-	-0,56	-0,32	-0,27
ICa	0,43	0,34	0,44	0,39	-	0,65	0,29
IZn	1,76	1,98	1,58	1,74	1,66	-	0,66
IB	-0,19	-0,51	-0,08	-0,38	-0,09	0,16	-
P8 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers							
IN	-0,42	-	-0,52	-0,50	-0,40	⌊	-0,55
IP	-0,78	-0,75	-	-0,82	-0,80	-0,28	-0,88
IK	-0,42	-0,47	-0,63	-	-0,39	⌊	-0,26
ICa	0,38	0,32	0,21	0,32	-	0,30	0,51
IZn	1,47	1,58	1,58	1,46	1,41	-	1,20
IB	0,16	0,11	⊥	0,10	0,18	0,19	-

FONTE: O autor (2020).

⌊ Valor negativo entre -0,1 e 0,0; ⌋ Valor positivo entre 0,0 e 0,1.

TABELA 15 – COEFICIENTES KAPPA DE FLEISS E QUALIDADES DAS CONCORDÂNCIAS PARA OS ÍNDICES CND NA RELAÇÃO DOS ARRANJOS SUBDIMENSIONADOS COM O CONJUNTO INICIAL ($d = 11$), PARA A NORMA CND PADRÃO E OS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS

Índices	Coeficiente Kappa (Concordância)					
	$d = 10$	$d = 9$	$d = 8$	$d = 7$	$d = 6$	$d = 5$
P1 - Procedimento Padrão						
IN	0,957 (E)	0,951 (E)	0,937 (E)	0,927 (E)	0,935 (E)	0,352 (Ra)
IP	0,823 (E)	0,841 (E)	0,856 (E)	0,852 (E)	0,803 (E)	0,763 (Mb)
IK	0,934 (E)	0,917 (E)	0,928 (E)	0,919 (E)	0,940 (E)	0,927 (E)
ICa	0,905 (E)	0,872 (E)	0,872 (E)	0,864 (E)	0,880 (E)	0,862 (E)
IZn	0,846 (E)	0,895 (E)	0,871 (E)	0,843 (E)	0,838 (E)	0,873 (E)
IB	0,881 (E)	0,870 (E)	0,898 (E)	0,878 (E)	0,890 (E)	0,874 (E)
P2 - Sem remoção de outliers						
IN	0,977 (E)	0,977 (E)	0,920 (E)	0,953 (E)	0,892 (E)	0,345 (Ra)
IP	0,858 (E)	0,851 (E)	0,835 (E)	0,765 (Mb)	0,708 (Mb)	0,671 (Mb)
IK	0,937 (E)	0,940 (E)	0,895 (E)	0,904 (E)	0,879 (E)	0,851 (E)
ICa	0,902 (E)	0,902 (E)	0,839 (E)	0,776 (Mb)	0,769 (Mb)	0,704 (Mb)
IZn	0,902 (E)	0,901 (E)	0,879 (E)	0,873 (E)	0,851 (E)	0,851 (E)
IB	0,950 (E)	0,903 (E)	0,862 (E)	0,826 (E)	0,809 (E)	0,746 (Mb)
P3 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers						
IN	0,919 (E)	0,953 (E)	0,895 (E)	0,885 (E)	0,840 (E)	0,727 (Mb)
IP	0,960 (E)	0,969 (E)	0,958 (E)	0,961 (E)	0,959 (E)	0,937 (E)
IK	0,874 (E)	0,844 (E)	0,869 (E)	0,867 (E)	0,835 (E)	0,718 (Mb)
ICa	0,866 (E)	0,716 (Mb)	0,757 (Mb)	0,686 (Mb)	0,732 (Mb)	0,714 (Mb)
IZn	0,918 (E)	0,913 (E)	0,939 (E)	0,928 (E)	0,924 (E)	0,899 (E)
IB	0,877 (E)	0,921 (E)	0,881 (E)	0,867 (E)	0,836 (E)	0,806 (E)
P4 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers						
IN	0,883 (E)	0,928 (E)	0,844 (E)	0,885 (E)	0,840 (E)	0,732 (Mb)
IP	0,988 (E)	0,976 (E)	0,969 (E)	0,981 (E)	0,955 (E)	0,904 (E)
IK	0,873 (E)	0,936 (E)	0,906 (E)	0,915 (E)	0,910 (E)	0,820 (E)
ICa	0,937 (E)	0,797 (Mb)	0,856 (E)	0,795 (Mb)	0,797 (Mb)	0,846 (E)
IZn	0,863 (E)	0,834 (E)	0,935 (E)	0,908 (E)	0,934 (E)	0,938 (E)
IB	0,949 (E)	0,929 (E)	0,909 (E)	0,917 (E)	0,916 (E)	0,922 (E)

FONTE: O autor (2020).

Qualidade da concordância: (E) excelente; (Mb) muito boa; (Ra) razoável.

TABELA 16 – COEFICIENTES KAPPA DE FLEISS E QUALIDADES DAS CONCORDÂNCIAS PARA OS ÍNDICES CND NA RELAÇÃO DOS ARRANJOS SUBDIMENSIONADOS COM O CONJUNTO INICIAL ($d = 11$), PARA A NORMA CND MODIFICADA COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES

Índices	Coeficiente Kappa (Concordância)					
	$d = 10$	$d = 9$	$d = 8$	$d = 7$	$d = 6$	$d = 5$
P5 - Sem remoção de outliers						
IN	0,990 (E)	0,994 (E)	0,982 (E)	0,966 (E)	0,896 (E)	0,868 (E)
IP	0,843 (E)	0,881 (E)	0,836 (E)	0,784 (Mb)	0,714 (Mb)	0,699 (Mb)
IK	0,963 (E)	0,979 (E)	0,950 (E)	0,922 (E)	0,850 (E)	0,818 (E)
ICa	0,892 (E)	0,905 (E)	0,856 (E)	0,779 (Mb)	0,780 (Mb)	0,730 (Mb)
IZn	0,899 (E)	0,866 (E)	0,836 (E)	0,823 (E)	0,829 (E)	0,840 (E)
IB	0,943 (E)	0,908 (E)	0,863 (E)	0,839 (E)	0,809 (E)	0,743 (Mb)
P6 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers						
IN	0,952 (E)	0,959 (E)	0,946 (E)	0,936 (E)	0,861 (E)	0,746 (Mb)
IP	0,994 (E)	0,994 (E)	0,988 (E)	0,983 (E)	0,976 (E)	0,952 (E)
IK	0,877 (E)	0,965 (E)	0,840 (E)	0,829 (E)	0,827 (E)	0,705 (Mb)
ICa	0,847 (E)	0,709 (Mb)	0,763 (Mb)	0,682 (Mb)	0,711 (Mb)	0,747 (Mb)
IZn	0,955 (E)	0,953 (E)	0,972 (E)	0,953 (E)	0,950 (E)	0,942 (E)
IB	0,963 (E)	0,940 (E)	0,928 (E)	0,871 (E)	0,845 (E)	0,830 (E)
P7 - Com remoção de outliers						
IN	0,983 (E)	0,989 (E)	0,989 (E)	0,971 (E)	0,937 (E)	0,939 (E)
IP	0,810 (E)	0,855 (E)	0,836 (E)	0,846 (E)	0,834 (E)	0,806 (E)
IK	0,970 (E)	0,964 (E)	0,964 (E)	0,945 (E)	0,913 (E)	0,891 (E)
ICa	0,901 (E)	0,869 (E)	0,865 (E)	0,876 (E)	0,886 (E)	0,892 (E)
IZn	0,860 (E)	0,862 (E)	0,810 (E)	0,779 (Mb)	0,807 (E)	0,817 (E)
IB	0,929 (E)	0,915 (E)	0,911 (E)	0,885 (E)	0,846 (E)	0,865 (E)
P8 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers						
IN	0,946 (E)	0,946 (E)	0,868 (E)	0,934 (E)	0,860 (E)	0,768 (E)
IP	0,943 (E)	0,957 (E)	0,959 (E)	0,923 (E)	0,945 (E)	0,916 (E)
IK	0,848 (E)	0,857 (E)	0,912 (E)	0,899 (E)	0,899 (E)	0,810 (E)
ICa	0,969 (E)	0,800 (Mb)	0,875 (E)	0,753 (Mb)	0,794 (Mb)	0,894 (E)
IZn	0,716 (Mb)	0,794 (Mb)	0,918 (E)	0,914 (E)	0,950 (E)	0,969 (E)
IB	0,921 (E)	0,897 (E)	0,928 (E)	0,924 (E)	0,919 (E)	0,970 (E)

FONTE: O autor (2020).

Qualidade da concordância: (E) excelente; (Mb) muito boa.

**ANEXO 6 - ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA ENTRE OS ÍNDICES CND
OBTIDOS PARA MACRO E MICRONUTRIENTES COM ARRANJOS DISTINTOS E
ACURÁCIA DOS PROCEDIMENTOS.**

TABELA 17 - NORMA CND PADRÃO: DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (f_o) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS ⁽¹⁾, DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS ⁽²⁾, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>f_o</i>	χ^2	<i>f_o</i>	χ^2	<i>f_o</i>	χ^2	<i>f_o</i>	χ^2	<i>f_o</i>	χ^2	<i>f_o</i>	χ^2
1	▼29	0,03	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
2	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
3	▲29	0,03	▲14	1,20	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
4	▲26	0,53	▲9	17,7	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲27	3,6
5	▼29	0,03	▼25	0,83	▼30	0	▲28	0,13	▼30	0	▲17	0
6	▲30	0	▼24	1,20	▼30	0	▲23	1,63	▲27	0,30	▲12	0
7	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼7	17,6
8	▼29	0,03	▲30	0	▲26	0,53	▼11	12,0	▲29	0,03	▲30	0
9	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲29	0,03	▲30	0
10	▲30	0	▲25	0,83	▲30	0	▼29	0,03	▼29	0,03	▼30	0
11	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▲28	0,13
12	▲30	0	▲28	0,13	▲30	0	▲10	13,3	▼22	2,13	▲27	0,30
13	▼29	0,03	▲26	0,53	▲26	0,53	▲30	0	▲30	0	▲25	0,83
14	▲29	0,03	▲5	20,8	▲30	0	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0
15	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▲29	0,03	▼16	6,53	▼30	0
16	▲28	0,13	▲28	0,13	▼30	0	▼30	0	▲26	0,53	▼30	0
17	▲29	0,03	▼30	0	▼30	0	▲2	26,1	▲30	0	▼30	0
18	▼29	0,03	▲27	0,30	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
19	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
20	▲29	0,03	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0	▲10	13,3	▲12	10,8
21	▼29	0,03	▲28	0,13	▼30	0	▼6	19,2	▲30	0	▲30	0
22	▼2	26,1	▲30	0	▼27	0,30	▲30	0	▼30	0	▼30	0
23	▼29	0,03	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼4	22,5	▲30	0
24	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
25	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
26	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
27	▲29	0,03	▼30	0	▲11	12,0	▲7	17,6	▼30	0	▼30	0
28	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▼12	10,8	▲30	0	▲29	0,03
29	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼21	2,70	▼28	0,13
30	▲30	0	▲23	1,63	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
31	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲29	0,03	▲30	0
32	▼18	4,80	▼24	1,20	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0
33	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
34	▲29	0,03	▼28	0,13	▲30	0	▼27	0,30	▼30	0	▼29	0,03
35	▼29	0,03	▲30	0	▲16	6,53	▼30	0	▲30	0	▲30	0

[continua...]

[continua...]

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2
36	▼29	0,03	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
37	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
38	▼29	0,03	▲30	0	▼26	0,53	▲30	0	▲30	0	▲30	0
39	▲29	0,03	▼27	0,30	▲30	0	▼30	0	▲22	2,13	▼30	0
40	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
41	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
42	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼24	1,20	▼30	0	▼30	0
43	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼29	0,03	▼30	0
44	▲30	0	▲25	0,83	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0
45	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼20	3,33	▼30	0	▼30	0
46	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
47	▼26	0,53	▲27	0,30	▼30	0	▲30	0	▼3	24,3	▼7	17,6
48	▼24	1,20	▲6	19,2	▼30	0	▲8	16,1	▲30	0	▲30	0
49	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
50	▲30	0	▲26	0,53	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼27	0,30
51	▲29	0,03	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼16	6,53	▼30	0
52	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲28	0,13
53	▲21	2,70	▼28	0,13	▲30	0	▼30	0	▲15	7,50	▲30	0
54	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
55	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0
56	▲29	0,03	▼30	0	▲8	16,1	▼30	0	▼30	0	▼30	0
57	▲29	0,03	▲8	16,1	▲30	0	▼30	0	▲21	2,70	▲8	16,1
58	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
59	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲19	4,03	▼30	0
60	▲29	0,03	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0
61	▼29	0,03	▲30	0	▼27	0,30	▲30	0	▲30	0	▲30	0
62	▼12	10,8	▼13	9,63	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼7	17,6
63	▲29	0,03	▼30	0	▼28	0,13	▲30	0	▼30	0	▼30	0
64	▲22	2,13	▲6	19,2	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼26	0,53
65	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
66	▼26	0,53	▼22	2,13	▼30	0	▼30	0	▲29	0,03	▲30	0
χ^2	47,60 ^{ns}		119,70 *		37,03 ^{ns}		121,97 *		95,47 *		99,00 *	

FONTE: O autor (2020).

(1) quando o índice é positivo (▲), indica excesso do nutriente no tecido vegetal, e quando é negativo (▼), indica a falta do nutriente; (2) Foram avaliadas 51 combinações distribuídas em 10 arranjos (com $d = 10$ até $d = 5$), as quais foram comparadas com os índices de nitrogênio (IN), fósforo (IP), potássio (IK), cálcio (ICa), zinco (IZn) e boro (IB) obtidos no arranjo com 11 elementos ($d = 11$); n = número do talhão avaliado pela norma CND, organizado na ordem decrescente de produtividade; * = significativo a 5 %; ^{ns} = não significativo.

TABELA 18 - NORMA CND SEM A EXCLUSÃO DE *OUTLIERS*: DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (fo) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS ⁽¹⁾, DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS ⁽²⁾, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2
1	▼29	0,03	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
2	▲29	0,03	▼30	0	▲29	0,03	▼30	0	▼30	0	▼30	0
3	▲29	0,03	▲16	6,53	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
4	▲25	0,83	▲8	16,1	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲27	0,30
5	▼29	0,03	▼24	1,20	▼30	0	▲29	0,03	▼30	0	▲13	9,63
6	▲30	0	▼20	3,33	▼30	0	▲25	0,83	▲25	0,83	▲11	12,0
7	▲29	0,03	▼30	0	▼30	0	▼28	0,13	▼28	0,13	▼30	0
8	▲29	0,03	▼26	0,53	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼29	0,03
9	▼28	0,13	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼8	16,1
10	▼29	0,03	▲30	0	▲28	0,13	▼10	13,3	▲30	0	▲30	0
11	▼30	0	▼23	1,63	▲30	0	▼28	0,13	▼30	0	▲30	0
12	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
13	▲30	0	▲25	0,83	▲30	0	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0
14	▲29	0,03	▼24	1,20	▲15	7,50	▼27	0,30	▲30	0	▼30	0
15	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▲26	0,53
16	▲30	0	▲29	0,03	▲30	0	▲12	10,8	▼30	0	▲25	0,83
17	▼29	0,03	▲27	0,30	▲25	0,83	▲30	0	▲30	0	▲25	0,83
18	▲29	0,03	▲6	19,2	▲30	0	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0
19	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▼21	2,70	▼30	0
20	▲28	0,13	▲29	0,03	▼30	0	▼30	0	▲25	0,83	▼30	0
21	▲29	0,03	▼30	0	▼30	0	▲4	22,5	▲30	0	▼30	0
22	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲28	0,13	▲30	0	▲29	0,03
23	▼29	0,03	▲27	0,30	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
24	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
25	▲29	0,03	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0	▲6	19,2	▲9	14,7
26	▼29	0,03	▲28	0,13	▼30	0	▼5	20,8	▲30	0	▲30	0
27	▼4	22,5	▲30	0	▼26	0,53	▲30	0	▼30	0	▼30	0
28	▼29	0,03	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼7	17,6	▲30	0
29	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
30	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
31	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
32	▲29	0,03	▼30	0	▲13	9,63	▲7	17,6	▼30	0	▼30	0
33	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▼10	13,3	▲30	0	▲29	0,03
34	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼25	0,83	▼29	0,03
35	▲30	0	▲24	1,20	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
36	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲26	0,53	▲30	0
37	▼22	2,13	▼23	1,63	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0
38	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
39	▲29	0,03	▼28	0,13	▲30	0	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0
40	▼29	0,03	▲30	0	▲22	2,13	▼30	0	▲30	0	▲30	0
41	▼29	0,03	▲30	0	▲29	0,03	▼27	0,30	▲30	0	▲30	0

[continua...]

[continua...]

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>f_o</i>	χ^2	<i>f_o</i>	χ^2	<i>f_o</i>	χ^2	<i>f_o</i>	χ^2	<i>f_o</i>	χ^2	<i>f_o</i>	χ^2
42	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
43	▼29	0,03	▲30	0	▼26	0,53	▲30	0	▲30	0	▲30	0
44	▲29	0,03	▼26	0,53	▲30	0	▼30	0	▲24	1,20	▼30	0
45	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
46	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
47	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼23	1,63	▼30	0	▼30	0
48	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
49	▲30	0	▲26	0,53	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0
50	▲29	0,03	▼29	0,03	▲30	0	▼18	4,80	▼30	0	▼30	0
51	▼29	0,03	▼14	8,53	▼30	0	▼27	0,30	▲30	0	▼30	0
52	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
53	▼26	0,53	▲28	0,13	▼30	0	▲30	0	▼5	20,8	▼9	14,7
54	▼25	0,83	▲7	17,6	▼30	0	▲10	13,3	▲30	0	▲30	0
55	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
56	▲30	0	▲28	0,13	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼27	0,30
57	▲29	0,03	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼24	1,20	▼30	0
58	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲26	0,53
59	▲20	3,33	▼27	0,30	▲30	0	▼30	0	▲14	8,53	▲30	0
60	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
61	▼22	2,13	▼27	0,30	▼30	0	▼14	8,53	▼15	7,50	▼30	0
62	▲29	0,03	▼26	0,53	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0
63	▲29	0,03	▼30	0	▲12	10,8	▼30	0	▼30	0	▼30	0
64	▲29	0,03	▲8	16,1	▲30	0	▼30	0	▲23	1,63	▲6	19,2
65	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
66	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲20	3,33	▼30	0
67	▲29	0,03	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0
68	▼29	0,03	▲30	0	▼27	0,30	▲30	0	▲29	0,03	▲30	0
69	▼15	7,50	▼10	13,3	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼13	9,63
70	▲29	0,03	▼30	0	▼28	0,13	▲30	0	▼30	0	▼30	0
71	▲21	2,70	▲8	16,1	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼27	0,30
72	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
73	▲24	1,20	▼30	0	▼25	0,83	▲30	0	▲30	0	▲30	0
74	▼25	0,83	▼20	3,33	▼30	0	▼30	0	▲27	0,30	▲30	0
75	▼30	0	▼26	0,53	▼29	0,03	▼11	12,0	▼28	0,13	▲30	0
76	▼29	0,03	▼14	8,53	▼30	0	▼19	4,03	▼5	20,8	▼30	0
77	▼30	0	▼28	0,13	▼24	1,20	▼13	9,63	▼30	0	▲30	0
78	▲29	0,03	▼30	0	▼26	0,53	▼14	8,53	▼30	0	▼30	0
79	▼30	0	▼28	0,13	▼30	0	▼15	7,50	▼28	0,13	▲30	0
80	▼28	0,13	▼20	3,33	▼30	0	▼16	6,53	▼10	13,3	▼30	0
81	▼29	0,03	▲26	0,53	▼30	0	▼27	0,30	▲30	0	▼20	3,33
82	▼22	2,13	▼22	2,13	▼30	0	▼19	4,03	▼5	20,8	▼30	0
83	▼30	0	▼29	0,03	▼29	0,03	▼24	1,20	▲30	0	▼29	0,03
84	▼30	0	▼29	0,03	▼30	0	▼26	0,53	▲30	0	▼26	0,53
85	▼29	0,03	▼5	20,8	▼30	0	▼18	4,80	▲30	0	▼17	5,63

[continua...]

[continua...]

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'
86	▼29	0,03	▼11	12,0	▼10	13,3	▼26	0,53	▲30	0	▼26	0,53
87	▼29	0,03	▼17	5,63	▼30	0	▼15	7,50	▼28	0,13	▲30	0
88	▼27	0,30	▼24	1,20	▼30	0	▼15	7,50	▼5	20,8	▼30	0
89	▼27	0,30	▼15	7,50	▼28	0,13	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0
90	▼29	0,03	▼15	7,50	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼26	0,53
91	▼27	0,30	▼13	9,63	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼28	0,13
92	▼29	0,03	▼22	2,13	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼25	0,83
93	▼28	0,13	▼14	8,53	▼22	2,13	▼28	0,13	▲30	0	▼30	0
94	▼28	0,13	▼25	0,83	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼26	0,53
95	▼29	0,03	▼13	9,63	▼30	0	▼15	7,50	▲30	0	▼22	2,13
96	▼29	0,03	▲27	0,30	▼29	0,03	▼27	0,30	▲30	0	▼20	3,33
97	▼29	0,03	▼5	20,8	▼30	0	▲29	0,03	▲30	0	▼14	8,53
98	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲28	0,13	▼25	0,83
99	▼25	0,83	▼30	0	▼30	0	▼25	0,83	▼25	0,83	▼19	4,03
100	▼29	0,03	▼14	8,53	▼30	0	▲30	0	▼29	0,03	▼29	0,03
101	▼29	0,03	▼29	0,03	▼30	0	▼18	4,80	▲30	0	▼25	0,83
102	▼29	0,03	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▼19	4,03
103	▲29	0,03	▼30	0	▼30	0	▼29	0,03	▼29	0,03	▼29	0,03
104	▼22	2,13	▼15	7,50	▼28	0,13	▼29	0,03	▲30	0	▼29	0,03
105	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▼20	3,33	▲30	0	▼11	12,0
106	▼29	0,03	▲30	0	▼15	7,50	▼26	0,53	▲28	0,13	▼24	1,20
107	▼29	0,03	▲30	0	▼28	0,13	▼28	0,13	▲30	0	▼26	0,53
108	▼29	0,03	▼14	8,53	▼30	0	▼10	13,3	▲30	0	▼24	1,20
109	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲22	2,13	▲30	0	▲30	0
χ^2	48,83 ^{ns}		278,77 *		58,63 ^{ns}		237,07 *		164,67 *		150,70 *	

FONTE: O autor (2020).

(1) quando o índice é positivo (▲), indica excesso do nutriente no tecido vegetal, e quando é negativo (▼), indica a falta do nutriente; (2) Foram avaliadas 51 combinações distribuídas em 10 arranjos (com $d = 10$ até $d = 5$), as quais foram comparadas com os índices de nitrogênio (IN), fósforo (IP), potássio (IK), cálcio (ICa), zinco (IZn) e boro (IB) obtidos no arranjo com 11 elementos ($d = 11$); n = número do talhão avaliado pela norma CND, sem exclusão de *outliers*, organizado na ordem decrescente de produtividade; * = significativo a 5 %; *ns* = não significativo.

TABELA 19 - NORMA CND SEM A EXCLUSÃO DE *OUTLIERS* E COM TRATAMENTO PRÉVIO PRELIMINAR DOS DADOS: DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (fo) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS ⁽¹⁾, DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS ⁽²⁾, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>fo</i>	χ^2 '	<i>fo</i>	χ^2 '	<i>fo</i>	χ^2 '	<i>fo</i>	χ^2 '	<i>fo</i>	χ^2 '	<i>fo</i>	χ^2 '
1	▼30	0	▼30	0	▼21	2,70	▲30	0	▲30	0	▲30	0
2	▲30	0	▲30	0	▼10	13,3	▼30	0	▼30	0	▼30	0
3	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
4	▼7	17,6	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲17	5,63
5	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▼10	13,33	▼30	0	▼21	2,70
6	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼18	4,80	▲22	2,13	▼29	0,03
7	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼18	4,80	▼30	0	▼30	0
8	▲30	0	▲30	0	▲22	2,13	▼30	0	▼30	0	▼30	0
9	▼29	0,03	▼27	0,30	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0
10	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲19	4,03	▲30	0	▲30	0
11	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0
12	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
13	▲30	0	▲30	0	▲27	0,30	▼23	1,63	▼30	0	▼30	0
14	▲29	0,03	▲30	0	▼27	0,30	▼28	0,13	▲30	0	▼30	0
15	▼7	17,6	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼20	3,33
16	▲29	0,03	▲29	0,03	▲30	0	▼20	3,33	▼29	0,03	▲26	0,53
17	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲25	0,83	▲30	0	▲30	0
18	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0
19	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▲28	0,13	▼29	0,03	▼30	0
20	▲25	0,83	▲30	0	▼30	0	▼22	2,13	▼23	1,63	▼30	0
21	▲24	1,20	▲30	0	▼30	0	▼29	0,03	▼20	3,33	▼30	0
22	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲21	2,70	▲30	0	▲30	0
23	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
24	▲30	0	▲30	0	▲15	7,50	▼30	0	▼30	0	▼30	0
25	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
26	▼30	0	▼30	0	▲6	19,2	▲18	4,80	▲30	0	▲30	0
27	▲29	0,03	▲30	0	▼24	1,20	▲30	0	▼30	0	▼30	0
28	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
29	▲30	0	▲30	0	▲26	0,53	▼30	0	▼30	0	▼30	0
30	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
31	▼30	0	▼30	0	▲16	6,53	▲30	0	▲30	0	▲30	0
32	▲30	0	▲30	0	▼27	0,30	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0
33	▼30	0	▼30	0	▼28	0,13	▲19	4,03	▲30	0	▲30	0
34	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
35	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
36	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲28	0,13	▲30	0	▲30	0
37	▼16	6,53	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0
38	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲18	4,80	▲30	0	▲30	0
39	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0
40	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼28	0,13	▲30	0	▲30	0
41	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼27	0,30	▲30	0	▲30	0

[continua...]

[continua...]

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2
42	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
43	▼30	0	▼30	0	▲23	1,63	▲26	0,53	▲30	0	▲30	0
44	▲28	0,13	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼19	4,03	▼30	0
45	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
46	▼30	0	▼30	0	▼28	0,13	▲30	0	▲30	0	▲30	0
47	▲29	0,03	▲30	0	▲30	0	▼25	0,83	▼30	0	▼30	0
48	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
49	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▲27	0,30	▼30	0
50	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼18	4,80	▼30	0	▼30	0
51	▼30	0	▼30	0	▼29	0,03	▼28	0,13	▲30	0	▼27	0,30
52	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
53	▼26	0,53	▼27	0,30	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
54	▼29	0,03	▲28	0,13	▼30	0	▼29	0,03	▲30	0	▲30	0
55	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
56	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0
57	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
58	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
59	▼14	8,53	▼8	16,1	▲30	0	▼30	0	▼20	3,33	▲30	0
60	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
61	▼24	1,20	▼30	0	▼30	0	▲21	2,70	▲30	0	▼30	0
62	▲30	0	▲30	0	▲28	0,13	▲30	0	▼30	0	▼30	0
63	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
64	▲30	0	▲30	0	▲26	0,53	▼30	0	▼29	0,03	▼30	0
65	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
66	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼25	0,83	▼30	0
67	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲17	5,63
68	▼30	0	▼30	0	▲25	0,83	▲30	0	▲30	0	▲30	0
69	▼17	5,63	▼8	16,1	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲21	2,70
70	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0
71	▼14	8,53	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▲26	0,53	▼30	0
72	▼30	0	▼30	0	▼29	0,03	▲30	0	▲30	0	▲30	0
73	▼22	2,13	▼14	8,53	▼30	0	▲24	1,20	▲30	0	▲30	0
74	▼28	0,13	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0	▲28	0,13	▲30	0
75	▼30	0	▼30	0	▼28	0,13	▲25	0,83	▼22	2,13	▲30	0
76	▼30	0	▼30	0	▼28	0,13	▼19	4,03	▲30	0	▼28	0,13
77	▼30	0	▼30	0	▼21	2,70	▲21	2,70	▼29	0,03	▲30	0
78	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼17	5,63	▼30	0	▼30	0
79	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲11	12,0	▼24	1,20	▲30	0
80	▼27	0,30	▼30	0	▼30	0	▲15	7,50	▲30	0	▼26	0,53
81	▼30	0	▼30	0	▲9	14,7	▲9	14,7	▲30	0	▲30	0
82	▼24	1,20	▼30	0	▼30	0	▼21	2,70	▲30	0	▼29	0,03
83	▼30	0	▼30	0	▼29	0,03	▼27	0,30	▲30	0	▲8	16,1
84	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼29	0,03	▲30	0	▲10	13,3
85	▼30	0	▼30	0	▼26	0,53	▲18	4,80	▲30	0	▲30	0

[continua...]

[continua...]

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'
86	▼30	0	▼30	0	▲27	0,30	▼27	0,30	▲30	0	▼13	9,63
87	▼30	0	▼30	0	▼28	0,13	▲13	9,63	▼23	1,63	▲30	0
88	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0	▲15	7,50	▲30	0	▼27	0,30
89	▼26	0,53	▼30	0	▲9	14,7	▼28	0,13	▲30	0	▼30	0
90	▼27	0,30	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲21	2,70
91	▼23	1,63	▼30	0	▼28	0,13	▼30	0	▲30	0	▲12	10,8
92	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼29	0,03	▼16	6,53
93	▼27	0,30	▼30	0	▲26	0,53	▼27	0,30	▲30	0	▼27	0,30
94	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼21	2,70
95	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲20	3,33	▲30	0	▲29	0,03
96	▼30	0	▼30	0	▼24	1,20	▼27	0,30	▲30	0	▲21	2,70
97	▼30	0	▼30	0	▼27	0,30	▲22	2,13	▲30	0	▲29	0,03
98	▼29	0,03	▼23	1,63	▼30	0	▲10	13,3	▲15	7,50	▼26	0,53
99	▼26	0,53	▲25	0,83	▼30	0	▼29	0,03	▼28	0,13	▼26	0,53
100	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼25	0,83	▼24	1,20
101	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0	▼25	0,83	▲30	0	▼22	2,13
102	▼30	0	▼30	0	▼29	0,03	▲28	0,13	▲30	0	▲30	0
103	▲25	0,83	▲30	0	▼30	0	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0
104	▲14	8,53	▼30	0	▲10	13,3	▼28	0,13	▲30	0	▼24	1,20
105	▼29	0,03	▼30	0	▲15	7,50	▲21	2,70	▲30	0	▲30	0
106	▼30	0	▼30	0	▲21	2,70	▼26	0,53	▲30	0	▲22	2,13
107	▼30	0	▼30	0	▼20	3,33	▼26	0,53	▲30	0	▼9	14,7
108	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼17	5,63	▲30	0	▼12	10,8
109	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲19	4,03	▲30	0	▲30	0
χ^2	85,60 ^{ns}		44,17 ^{ns}		119,93 ^{ns}		169,37 *		29,87 ^{ns}		120,00 ^{ns}	

FONTE: O autor (2020).

(1) quando o índice é positivo (▲), indica excesso do nutriente no tecido vegetal, e quando é negativo (▼), indica a falta do nutriente; (2) Foram avaliadas 51 combinações distribuídas em 10 arranjos (com $d = 10$ até $d = 5$), as quais foram comparadas com os índices de nitrogênio (IN), fósforo (IP), potássio (IK), cálcio (ICa), zinco (IZn) e boro (IB) obtidos no arranjo com 11 elementos ($d = 11$); n = número do talhão avaliado pela norma CND, sem exclusão de *outliers* e com a tratamento prévio dos dados como tratamento inicial, organizado na ordem decrescente de produtividade; * = significativo a 5 %; *ns* = não significativo.

TABELA 20 - NORMA CND PADRÃO, COM TRATAMENTO PRÉVIO PRELIMINAR DOS DADOS: DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (f_o) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS ⁽¹⁾, DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS ⁽²⁾, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>f_o</i>	χ^2'	<i>f_o</i>	χ^2'	<i>f_o</i>	χ^2'	<i>f_o</i>	χ^2'	<i>f_o</i>	χ^2'	<i>f_o</i>	χ^2'
1	▼30	0	▼30	0	▼23	1,63	▲30	0	▲30	0	▲30	0
2	▲30	0	▲30	0	▼10	13,3	▼30	0	▼30	0	▼30	0
3	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
4	▼9	14,7	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼17	5,63
5	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▼8	16,1	▼30	0	▼16	6,53
6	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼19	4,03	▼10	13,3	▼29	0,03
7	▲30	0	▲30	0	▼9	14,7	▼30	0	▼30	0	▼30	0
8	▼28	0,13	▼27	0,30	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0
9	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲18	4,80	▲30	0	▲30	0
10	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
11	▲30	0	▲30	0	▲27	0,30	▼23	1,63	▼30	0	▼30	0
12	▲22	2,13	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼19	4,03
13	▲30	0	▲28	0,13	▲30	0	▼22	2,13	▼28	0,13	▲25	0,83
14	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲24	1,20	▲30	0	▲30	0
15	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0
16	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▲26	0,53	▼27	0,30	▼30	0
17	▲23	1,63	▲30	0	▼30	0	▼22	2,13	▼21	2,70	▼30	0
18	▲21	2,70	▲30	0	▼30	0	▼29	0,03	▼23	1,63	▼30	0
19	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
20	▲30	0	▲30	0	▼16	6,53	▼30	0	▼30	0	▼30	0
21	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
22	▼30	0	▼30	0	▼24	1,20	▲19	4,03	▲30	0	▲30	0
23	▲27	0,30	▲30	0	▼27	0,30	▲30	0	▼30	0	▼30	0
24	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
25	▲30	0	▲30	0	▲25	0,83	▼30	0	▼30	0	▼30	0
26	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
27	▲30	0	▲29	0,03	▼28	0,13	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0
28	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
29	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
30	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲28	0,13	▲30	0	▲30	0
31	▼14	8,53	▼29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0
32	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲20	3,33	▲30	0	▲30	0
33	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0
34	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼28	0,13	▲30	0	▲30	0
35	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼28	0,13	▲30	0	▲30	0
36	▼30	0	▼30	0	▲21	2,70	▲27	0,30	▲30	0	▲30	0
37	▲28	0,13	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼22	2,13	▼30	0
38	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
39	▲29	0,03	▲30	0	▲30	0	▼26	0,53	▼30	0	▼30	0
40	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
41	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▲28	0,13	▼30	0

[continua...]

[continua...]

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'
42	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼21	2,70	▼30	0	▼30	0
43	▼26	0,53	▼27	0,30	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
44	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▼29	0,03	▲30	0	▲30	0
45	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
46	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0
47	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
48	▲14	8,53	▲17	5,63	▲30	0	▼30	0	▼19	4,03	▲30	0
49	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
50	▲30	0	▲30	0	▲28	0,13	▲30	0	▼30	0	▼30	0
51	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
52	▲30	0	▲30	0	▲25	0,83	▼30	0	▼28	0,13	▼30	0
53	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
54	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼23	1,63	▼30	0
55	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼16	6,53
56	▼30	0	▼30	0	▲24	1,20	▲30	0	▲30	0	▲30	0
57	▼14	8,53	▲29	0,03	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲21	2,70
58	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0
59	▲18	4,80	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▲28	0,13	▼30	0
60	▼30	0	▼30	0	▼29	0,03	▲30	0	▲30	0	▲30	0
61	▼25	0,83	▼23	1,63	▼30	0	▼30	0	▲28	0,13	▲30	0
χ^2	55,90 ^{ns}		8,10 ^{ns}		48,87 ^{ns}		44,17 ^{ns}		26,43 ^{ns}		26,30 ^{ns}	

FONTE: O autor (2020).

(1) quando o índice é positivo (▲), indica excesso do nutriente no tecido vegetal, e quando é negativo (▼), indica a falta do nutriente; (2) Foram avaliadas 51 combinações distribuídas em 10 arranjos (com $d = 10$ até $d = 5$), as quais foram comparadas com os índices de nitrogênio (IN), fósforo (IP), potássio (IK), cálcio (ICa), zinco (IZn) e boro (IB) obtidos no arranjo com 11 elementos ($d = 11$); n = número do talhão avaliado pela norma CND, com a tratamento prévio dos dados como tratamento inicial, organizado na ordem decrescente de produtividade; * = significativo a 5 %; ns = não significativo.

TABELA 21 - NORMA CND COM DIVISÃO DOS GRUPOS DE PRODUTIVIDADE PELO MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA ($PLC = d_{\max}$), SEM A EXCLUSÃO DE *OUTLIERS*: DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (fo) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS ⁽¹⁾, DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS ⁽²⁾, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2
1	▼30	0	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
2	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
3	▲30	0	▲12	10,8	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
4	▲28	0,13	▲9	14,7	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲26	0,53
5	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲25	0,83	▼30	0	▲10	13,3
6	▲30	0	▼26	0,53	▼30	0	▲16	6,53	▲23	1,63	▲8	16,1
7	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼28	0,13	▼28	0,13	▼30	0
8	▲30	0	▼27	0,30	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
9	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼9	14,7
10	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▼12	10,8	▲30	0	▲30	0
11	▼30	0	▼24	1,20	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0
12	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
13	▲30	0	▲23	1,63	▲30	0	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0
14	▲30	0	▼26	0,53	▲24	1,20	▼28	0,13	▲30	0	▼30	0
15	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▲24	1,20
16	▲30	0	▲27	0,30	▲30	0	▲8	16,1	▼30	0	▲22	2,13
17	▼30	0	▲25	0,83	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▲25	0,83
18	▲30	0	▲5	20,8	▲30	0	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0
19	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲28	0,13	▼25	0,83	▼30	0
20	▲30	0	▲28	0,13	▼30	0	▼30	0	▲10	13,3	▼30	0
21	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼29	0,03	▲24	1,20	▼30	0
22	▼30	0	▲28	0,13	▼30	0	▲28	0,13	▲30	0	▲28	0,13
23	▼30	0	▲27	0,30	▼30	0	▲30	0	▲27	0,30	▲30	0
24	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
25	▲30	0	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0	▼27	0,30	▲9	14,7
26	▼30	0	▲29	0,03	▼27	0,30	▼8	16,1	▲30	0	▲30	0
27	▲30	0	▲30	0	▲28	0,13	▲30	0	▼30	0	▼30	0
28	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼13	9,63	▲30	0
29	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
30	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
31	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
32	▲30	0	▼30	0	▲26	0,53	▲7	17,6	▼30	0	▼30	0
33	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼13	9,63	▲30	0	▲29	0,03
34	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼28	0,13	▼28	0,13
35	▲30	0	▲19	4,03	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
36	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼7	17,6	▲30	0
37	▲30	0	▼27	0,30	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0
38	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲29	0,03	▲30	0	▲30	0
39	▲30	0	▼28	0,13	▲30	0	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0
40	▼30	0	▲30	0	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▲30	0

[continua...]

[continua...]

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>f_o</i>	χ^2 '	<i>f_o</i>	χ^2 '	<i>f_o</i>	χ^2 '	<i>f_o</i>	χ^2 '	<i>f_o</i>	χ^2 '	<i>f_o</i>	χ^2 '
41	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
42	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
43	▼30	0	▲30	0	▼22	2,13	▲30	0	▲30	0	▲30	0
44	▲30	0	▼27	0,30	▲30	0	▼30	0	▲17	5,63	▼30	0
45	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▲28	0,13	▲29	0,03
46	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
47	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼23	1,63	▼30	0	▼30	0
48	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
49	▲30	0	▲21	2,70	▼30	0	▼30	0	▲29	0,03	▼30	0
50	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼24	1,20	▼30	0	▼30	0
51	▼30	0	▼14	8,53	▼30	0	▼28	0,13	▲30	0	▼30	0
52	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
53	▼24	1,20	▲28	0,13	▼30	0	▲30	0	▼9	14,7	▼9	14,7
54	▲17	5,63	▲4	22,5	▼30	0	▲4	22,5	▲30	0	▲30	0
55	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲29	0,03	▲29	0,03	▲30	0
56	▲30	0	▲24	1,20	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0
57	▲30	0	▼30	0	▼25	0,83	▼30	0	▼25	0,83	▼30	0
58	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲26	0,53
59	▲25	0,83	▼28	0,13	▲30	0	▼30	0	▲9	14,7	▲30	0
60	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
61	▼21	2,70	▼27	0,30	▼30	0	▼15	7,50	▼15	7,50	▼30	0
62	▲30	0	▼29	0,03	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0
63	▲30	0	▼30	0	▲25	0,83	▼30	0	▼30	0	▼30	0
64	▲30	0	▲7	17,6	▲30	0	▼30	0	▲14	8,53	▲7	17,6
65	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
66	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲12	10,8	▼30	0
67	▲30	0	▼30	0	▼27	0,30	▼30	0	▼30	0	▲30	0
68	▼30	0	▲30	0	▼18	4,80	▲30	0	▲26	0,53	▲30	0
69	▲30	0	▼25	0,83	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼20	3,33
70	▲30	0	▼30	0	▲16	6,53	▲30	0	▼30	0	▼30	0
71	▲30	0	▲6	19,2	▲30	0	▼30	0	▲25	0,83	▼27	0,30
72	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
73	▲29	0,03	▼30	0	▲24	1,20	▲30	0	▲29	0,03	▲30	0
74	▲22	2,13	▼27	0,30	▼30	0	▼30	0	▼15	7,50	▲30	0
75	▼30	0	▼27	0,30	▼28	0,13	▼11	12,0	▼28	0,13	▲30	0
76	▼30	0	▼14	8,53	▼28	0,13	▼22	2,13	▼5	20,8	▼30	0
77	▼30	0	▼28	0,13	▼20	3,33	▼13	9,63	▼30	0	▲30	0
78	▲30	0	▼30	0	▼18	4,80	▼17	5,63	▼30	0	▼30	0
79	▼30	0	▼28	0,13	▼30	0	▼16	6,53	▼28	0,13	▲30	0
80	▼28	0,13	▼20	3,33	▼30	0	▼16	6,53	▼11	12,0	▼30	0
81	▼30	0	▲26	0,53	▼30	0	▼28	0,13	▲30	0	▼22	2,13
82	▼22	2,13	▼22	2,13	▼30	0	▼19	4,03	▼6	19,2	▼30	0
83	▼30	0	▼29	0,03	▼28	0,13	▼24	1,20	▲30	0	▼29	0,03
84	▼30	0	▼29	0,03	▼30	0	▼28	0,13	▲30	0	▼28	0,13

[continua...]

[continua...]

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'
85	▼30	0	▼5	20,8	▼30	0	▼19	4,03	▲30	0	▼17	5,63
86	▼30	0	▼12	10,8	▲26	0,53	▼28	0,13	▲30	0	▼27	0,30
87	▼30	0	▼19	4,03	▼30	0	▼16	6,53	▼28	0,13	▲30	0
88	▼28	0,13	▼25	0,83	▼30	0	▼16	6,53	▼6	19,2	▼30	0
89	▼27	0,30	▼15	7,50	▼25	0,83	▼30	0	▲30	0	▼30	0
90	▼28	0,13	▼15	7,50	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼27	0,30
91	▼27	0,30	▼14	8,53	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼29	0,03
92	▼30	0	▼23	1,63	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼26	0,53
93	▼29	0,03	▼14	8,53	▼17	5,63	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0
94	▼28	0,13	▼27	0,30	▼30	0	▲29	0,03	▼30	0	▼28	0,13
95	▼30	0	▼13	9,63	▼30	0	▼15	7,50	▲30	0	▼24	1,20
96	▼30	0	▲26	0,53	▼28	0,13	▼28	0,13	▲30	0	▼21	2,70
97	▼30	0	▼7	17,6	▼30	0	▲29	0,03	▲30	0	▼15	7,50
98	▼27	0,30	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲26	0,53	▼25	0,83
99	▼19	4,03	▼30	0	▼30	0	▼26	0,53	▼25	0,83	▼20	3,33
100	▼30	0	▼14	8,53	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼29	0,03
101	▼28	0,13	▼29	0,03	▼30	0	▼19	4,03	▲30	0	▼25	0,83
102	▼30	0	▲27	0,30	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▼20	3,33
103	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼29	0,03
104	▼23	1,63	▼15	7,50	▼25	0,83	▼30	0	▲30	0	▼29	0,03
105	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼21	2,70	▲30	0	▼11	12,0
106	▼30	0	▲30	0	▼11	12,0	▼27	0,30	▲26	0,53	▼24	1,20
107	▼30	0	▲30	0	▼27	0,30	▼28	0,13	▲30	0	▼26	0,53
108	▼30	0	▼14	8,53	▼30	0	▼10	13,3	▲30	0	▼25	0,83
109	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼10	13,3	▲30	0	▲30	0
χ^2	22,10 ^{ns}		269,10 *		47,67 ^{ns}		218,87 *		190,50 *		144,70 *	

FONTE: O autor (2020).

(1) quando o índice é positivo (▲), indica excesso do nutriente no tecido vegetal, e quando é negativo (▼), indica a falta do nutriente; (2) Foram avaliadas 51 combinações distribuídas em 10 arranjos (com $d = 10$ até $d = 5$), as quais foram comparadas com os índices de nitrogênio (IN), fósforo (IP), potássio (IK), cálcio (ICa), zinco (IZn) e boro (IB) obtidos no arranjo com 11 elementos ($d = 11$); n = número do talhão avaliado pela norma CND, sem exclusão de *outliers*, organizado na ordem decrescente de produtividade; * = significativo a 5 %; *ns* = não significativo.

TABELA 22 - NORMA CND COM DIVISÃO DOS GRUPOS DE PRODUTIVIDADE PELO MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA ($PLC = d_{\max}$), COM TRATAMENTO PRÉVIO PRELIMINAR DOS DADOS E SEM A EXCLUSÃO DE *OUTLIERS*: DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (fo) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS ⁽¹⁾, DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS ⁽²⁾, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2
1	▼30	0	▼30	0	▲14	8,53	▲30	0	▲30	0	▲30	0
2	▲30	0	▲30	0	▲24	1,20	▼30	0	▼30	0	▼30	0
3	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
4	▲27	0,30	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼24	1,20
5	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▼16	6,53	▼30	0	▼30	0
6	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼21	2,70	▼30	0	▼30	0
7	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼21	2,70	▼30	0	▼30	0
8	▲30	0	▲30	0	▲28	0,13	▼30	0	▼30	0	▼30	0
9	▼25	0,83	▼12	10,8	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲23	1,63
10	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲18	4,80	▲30	0	▲30	0
11	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0
12	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
13	▲30	0	▲30	0	▲28	0,13	▼25	0,83	▼30	0	▼30	0
14	▲29	0,03	▲30	0	▼16	6,53	▼28	0,13	▲30	0	▼30	0
15	▲26	0,53	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼25	0,83
16	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼25	0,83	▼30	0	▲17	5,63
17	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲25	0,83	▲30	0	▲30	0
18	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0
19	▲29	0,03	▲30	0	▲30	0	▲25	0,83	▼30	0	▼30	0
20	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼26	0,53	▼30	0	▼30	0
21	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0
22	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲20	3,33	▲30	0	▲30	0
23	▼27	0,30	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
24	▲30	0	▲30	0	▲22	2,13	▼30	0	▼30	0	▼30	0
25	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
26	▼30	0	▼30	0	▲21	2,70	▲16	6,53	▲30	0	▲30	0
27	▲29	0,03	▲30	0	▲26	0,53	▲30	0	▼30	0	▼30	0
28	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
29	▲30	0	▲30	0	▲27	0,30	▼30	0	▼30	0	▼30	0
30	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
31	▼30	0	▼30	0	▲19	4,03	▲30	0	▲30	0	▲30	0
32	▲30	0	▲30	0	▲14	8,53	▼30	0	▼30	0	▼30	0
33	▼30	0	▼30	0	▼26	0,53	▲18	4,80	▲30	0	▲30	0
34	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
35	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
36	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲28	0,13	▲30	0	▲30	0
37	▲30	0	▼27	0,30	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0
38	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲18	4,80	▲30	0	▲30	0
39	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0
40	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0

[continua...]

[continua...]

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>f_o</i>	χ^2	<i>f_o</i>	χ^2	<i>f_o</i>	χ^2	<i>f_o</i>	χ^2	<i>f_o</i>	χ^2	<i>f_o</i>	χ^2
41	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
42	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
43	▼30	0	▼30	0	▲27	0,30	▲26	0,53	▲30	0	▲30	0
44	▲28	0,13	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼29	0,03	▼30	0
45	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
46	▼30	0	▼30	0	▼28	0,13	▲30	0	▲30	0	▲30	0
47	▲29	0,03	▲30	0	▲30	0	▼26	0,53	▼30	0	▼30	0
48	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
49	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼16	6,53	▼30	0
50	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼21	2,70	▼30	0	▼30	0
51	▼29	0,03	▼30	0	▼28	0,13	▼28	0,13	▲30	0	▼28	0,13
52	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
53	▼22	2,13	▼23	1,63	▼30	0	▲30	0	▲25	0,83	▲28	0,13
54	▼27	0,30	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
55	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
56	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0
57	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
58	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
59	▲24	1,20	▲26	0,53	▲30	0	▼30	0	▼29	0,03	▲30	0
60	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
61	▼21	2,70	▼30	0	▼30	0	▲18	4,80	▲29	0,03	▼30	0
62	▲30	0	▲30	0	▲29	0,03	▲30	0	▼30	0	▼30	0
63	▲30	0	▲30	0	▼26	0,53	▼30	0	▼30	0	▼30	0
64	▲30	0	▲30	0	▲27	0,30	▼30	0	▼30	0	▼30	0
65	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
66	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
67	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼23	1,63
68	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
69	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0
70	▲30	0	▲30	0	▼28	0,13	▲28	0,13	▼30	0	▼30	0
71	▲27	0,30	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼21	2,70	▼30	0
72	▼30	0	▼30	0	▼28	0,13	▲30	0	▲30	0	▲30	0
73	▼12	10,8	▲30	0	▼27	0,30	▼12	10,8	▼12	10,8	▲30	0
74	▼14	8,53	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼27	0,30	▲30	0
75	▼30	0	▼30	0	▼26	0,53	▲25	0,83	▼26	0,53	▲30	0
76	▼30	0	▼30	0	▼22	2,13	▼22	2,13	▲30	0	▼28	0,13
77	▼30	0	▼30	0	▼15	7,50	▲20	3,33	▼30	0	▲30	0
78	▲30	0	▲30	0	▼29	0,03	▼19	4,03	▼30	0	▼30	0
79	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲11	12,0	▼26	0,53	▲30	0
80	▼26	0,53	▼30	0	▼30	0	▲13	9,63	▲30	0	▼27	0,30
81	▼30	0	▼30	0	▲9	14,7	▲8	16,1	▲30	0	▲30	0
82	▼22	2,13	▼30	0	▼30	0	▼23	1,63	▲30	0	▼30	0
83	▼30	0	▼30	0	▼27	0,30	▼28	0,13	▲30	0	▼27	0,30
84	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼29	0,03	▲30	0	▼25	0,83

[continua...]

[continua...]

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'
85	▼30	0	▼30	0	▲5	20,8	▲16	6,53	▲30	0	▲30	0
86	▼30	0	▼30	0	▲29	0,03	▼28	0,13	▲30	0	▼15	7,50
87	▼30	0	▼30	0	▼28	0,13	▲9	14,7	▼25	0,83	▲30	0
88	▼26	0,53	▼30	0	▼30	0	▲15	7,50	▲30	0	▼28	0,13
89	▲8	16,1	▼30	0	▲15	7,50	▼28	0,13	▲30	0	▼30	0
90	▼27	0,30	▼30	0	▼28	0,13	▲30	0	▼30	0	▼16	6,53
91	▲13	9,63	▼30	0	▼27	0,30	▼30	0	▲30	0	▼25	0,83
92	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼22	2,13
93	▼25	0,83	▼30	0	▲26	0,53	▼27	0,30	▲30	0	▼29	0,03
94	▼27	0,30	▼29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼23	1,63
95	▼30	0	▼30	0	▼29	0,03	▲19	4,03	▲30	0	▲26	0,53
96	▼30	0	▼30	0	▼21	2,70	▼28	0,13	▲30	0	▼10	13,3
97	▼30	0	▼30	0	▼26	0,53	▲19	4,03	▲30	0	▲28	0,13
98	▼30	0	▲19	4,03	▼30	0	▲7	17,6	▼25	0,83	▼27	0,30
99	▼26	0,53	▲30	0	▼30	0	▼29	0,03	▼30	0	▼28	0,13
100	▼29	0,03	▼30	0	▼29	0,03	▲30	0	▼28	0,13	▼25	0,83
101	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0	▼26	0,53	▲30	0	▼25	0,83
102	▼30	0	▼30	0	▼27	0,30	▲28	0,13	▲30	0	▲29	0,03
103	▲27	0,30	▲30	0	▼30	0	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0
104	▲19	4,03	▼30	0	▲14	8,53	▼29	0,03	▲30	0	▼26	0,53
105	▼29	0,03	▼30	0	▲19	4,03	▲19	4,03	▲30	0	▲30	0
106	▼30	0	▼30	0	▲23	1,63	▼27	0,30	▲30	0	▼11	12,0
107	▼30	0	▼30	0	▼16	6,53	▼27	0,30	▲30	0	▼12	10,8
108	▼30	0	▼30	0	▼29	0,03	▼18	4,80	▲30	0	▼16	6,53
109	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0	▲18	4,80	▲30	0	▲30	0
χ^2	63,80 ^{ns}		17,33 ^{ns}		116,33 ^{ns}		218,87 *		24,13 ^{ns}		77,60 ^{ns}	

FONTE: O autor (2020).

(1) quando o índice é positivo (▲), indica excesso do nutriente no tecido vegetal, e quando é negativo (▼), indica a falta do nutriente; (2) Foram avaliadas 51 combinações distribuídas em 10 arranjos (com $d = 10$ até $d = 5$), as quais foram comparadas com os índices de nitrogênio (IN), fósforo (IP), potássio (IK), cálcio (ICa), zinco (IZn) e boro (IB) obtidos no arranjo com 11 elementos ($d = 11$); n = número do talhão avaliado pela norma CND, sem exclusão de *outliers*, organizado na ordem decrescente de produtividade; * = significativo a 5 %; *ns* = não significativo.

TABELA 23 - NORMA CND COM DIVISÃO DOS GRUPOS DE PRODUTIVIDADE PELO MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA ($PLC = d_{max}$), COM A EXCLUSÃO DE *OUTLIERS*: DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (fo) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS ⁽¹⁾, DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS ⁽²⁾, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2
1	▼30	0	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
2	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
3	▲30	0	▼25	0,83	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
4	▲28	0,13	▲5	20,8	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲26	0,53
5	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲22	2,13	▼30	0	▼21	2,70
6	▲30	0	▼28	0,13	▼30	0	▲13	9,63	▲20	3,33	▼24	1,20
7	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼10	13,3
8	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▼12	10,8	▲30	0	▲30	0
9	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
10	▲30	0	▲18	4,80	▲30	0	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0
11	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▲24	1,20
12	▲30	0	▲25	0,83	▲30	0	▼22	2,13	▼30	0	▲22	2,13
13	▼30	0	▲25	0,83	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▲25	0,83
14	▲30	0	▼28	0,13	▲30	0	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0
15	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲27	0,30	▼23	1,63	▼30	0
16	▲30	0	▲25	0,83	▼30	0	▼30	0	▲11	12,0	▼30	0
17	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲24	1,20	▼30	0
18	▼30	0	▲26	0,53	▼30	0	▲30	0	▲28	0,13	▲30	0
19	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
20	▲30	0	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0	▼26	0,53	▲9	14,7
21	▼30	0	▼7	17,6	▼27	0,30	▼10	13,3	▲30	0	▲30	0
22	▲30	0	▲29	0,03	▲28	0,13	▲30	0	▼30	0	▼30	0
23	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼12	10,80	▲30	0
24	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
25	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
26	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
27	▲30	0	▼30	0	▲25	0,83	▲5	20,3	▼30	0	▼30	0
28	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼13	9,63	▲30	0	▲29	0,03
29	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼28	0,13	▼29	0,03
30	▲30	0	▲14	8,53	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
31	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼9	14,7	▲30	0
32	▲30	0	▼27	0,30	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0
33	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲29	0,03	▲30	0	▲30	0
34	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0
35	▼30	0	▲30	0	▲28	0,13	▼30	0	▲30	0	▲30	0
36	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
37	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
38	▼30	0	▲30	0	▼22	2,13	▲30	0	▲30	0	▲30	0
39	▲30	0	▼28	0,13	▲30	0	▼30	0	▲16	6,53	▼30	0
40	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▲29	0,03	▲30	0

[continua...]

[continua...]

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'
41	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
42	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼25	0,83	▼30	0	▼30	0
43	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
44	▲30	0	▲18	4,80	▼30	0	▼30	0	▲29	0,03	▼30	0
45	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼24	1,20	▼30	0	▼30	0
46	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
47	▼23	1,63	▼7	17,6	▼30	0	▲30	0	▼10	13,3	▼9	14,7
48	▲18	4,80	▼26	0,53	▼30	0	▲4	22,5	▲30	0	▲30	0
49	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲29	0,03	▲29	0,03	▲30	0
50	▲30	0	▼10	13,3	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0
51	▲30	0	▼30	0	▼26	0,53	▼30	0	▼25	0,83	▼30	0
52	▼30	0	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲26	0,53
53	▲26	0,53	▼29	0,03	▲30	0	▼30	0	▲8	16,1	▲30	0
54	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
55	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0
56	▲30	0	▼30	0	▲24	1,20	▼30	0	▼30	0	▼30	0
57	▲30	0	▲5	20,8	▲30	0	▼30	0	▲15	7,50	▲5	20,8
58	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
59	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲14	8,53	▼30	0
60	▲30	0	▼30	0	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0	▲30	0
61	▼30	0	▲30	0	▼21	2,70	▲30	0	▲27	0,30	▲30	0
62	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼21	2,70
63	▲30	0	▼30	0	▲12	10,8	▲30	0	▼30	0	▼30	0
64	▲30	0	▲4	22,5	▲30	0	▼30	0	▲25	0,83	▼29	0,03
65	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
66	▲23	1,63	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0	▼15	7,50	▲30	0
χ^2	8,77 ^{ns}		136,33 *		18,90 ^{ns}		93,63 *		106,10 *		75,50 ^{ns}	

FONTE: O autor (2020).

(1) quando o índice é positivo (▲), indica excesso do nutriente no tecido vegetal, e quando é negativo (▼), indica a falta do nutriente; (2) Foram avaliadas 51 combinações distribuídas em 10 arranjos (com d = 10 até d = 5), as quais foram comparadas com os índices de nitrogênio (IN), fósforo (IP), potássio (IK), cálcio (ICa), zinco (IZn) e boro (IB) obtidos no arranjo com 11 elementos (d = 11); *n* = número do talhão avaliado pela norma CND, organizado na ordem decrescente de produtividade; * = significativo a 5 %; *ns* = não significativo.

TABELA 24 - NORMA CND COM DIVISÃO DOS GRUPOS DE PRODUTIVIDADE PELO MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA ($PLC = d_{máx}$), COM TRATAMENTO PRÉVIO PRELIMINAR DOS DADOS E EXCLUSÃO DE *OUTLIERS*: DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO (χ^2), DAS FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (fo) DAS ANÁLISES QUALITATIVAS ⁽¹⁾, DOS ÍNDICES CND DE TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS ⁽²⁾, EM RELAÇÃO AOS ÍNDICES OBSERVADOS NO ARRANJO INICIAL ($d = 11$), COM FREQUÊNCIAS ESPERADAS DE 30 OCORRÊNCIAS CORRESPONDENTES

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2	<i>fo</i>	χ^2
1	▼30	0	▼30	0	▼15	7,50	▲30	0	▲30	0	▲30	0
2	▲30	0	▲30	0	▼5	20,8	▼30	0	▼30	0	▼30	0
3	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼28	0,13	▼30	0
4	▲26	0,53	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▼20	3,33
5	▼28	0,13	▲30	0	▼28	0,13	▼14	8,53	▼30	0	▼29	0,03
6	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼22	2,13	▼23	1,63	▼30	0
7	▲30	0	▲30	0	▲27	0,30	▼30	0	▼30	0	▼30	0
8	▼24	1,20	▼19	4,03	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲24	1,20
9	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲17	5,63	▲30	0	▲30	0
10	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
11	▲30	0	▲30	0	▲28	0,13	▼24	1,20	▼30	0	▼30	0
12	▲24	1,20	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼23	1,63
13	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼27	0,30	▼27	0,30	▲17	5,63
14	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲24	1,20	▲30	0	▲30	0
15	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼29	0,03	▼30	0	▼30	0
16	▲29	0,03	▲30	0	▲30	0	▲25	0,83	▼27	0,30	▼30	0
17	▲29	0,03	▲30	0	▼30	0	▼26	0,53	▼27	0,30	▼30	0
18	▲29	0,03	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼27	0,30	▼30	0
19	▼27	0,30	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
20	▲30	0	▲30	0	▲18	4,80	▼30	0	▼30	0	▼30	0
21	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
22	▼30	0	▼30	0	▲19	4,03	▲17	5,63	▲30	0	▲30	0
23	▲29	0,03	▲30	0	▼9	14,7	▲30	0	▼27	0,30	▼30	0
24	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
25	▲30	0	▲30	0	▲27	0,30	▼30	0	▼30	0	▼30	0
26	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
27	▲30	0	▲30	0	▼21	2,70	▼30	0	▼30	0	▼30	0
28	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼27	0,30	▼30	0
29	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
30	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲28	0,13	▲30	0	▲30	0
31	▲26	0,53	▼27	0,30	▼30	0	▲30	0	▼29	0,03	▲30	0
32	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲19	4,03	▲30	0	▲30	0
33	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼28	0,13	▼30	0	▼30	0
34	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
35	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
36	▼30	0	▼30	0	▲24	1,20	▲27	0,30	▲30	0	▲30	0
37	▲28	0,13	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼26	0,53	▼30	0
38	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0
39	▲29	0,03	▲30	0	▲30	0	▼26	0,53	▼30	0	▼30	0
40	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0

[continua...]

[continua...]

<i>n</i>	--- IN ---		--- IP ---		--- IK ---		--- ICa ---		--- IZn ---		--- IB ---	
	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'	<i>fo</i>	χ^2'
41	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼13	9,63	▼30	0
42	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼21	2,70	▼30	0	▼30	0
43	▼22	2,13	▼23	1,63	▼30	0	▲29	0,03	▲29	0,03	▲29	0,03
44	▼27	0,30	▲29	0,03	▼30	0	▼29	0,03	▲30	0	▲30	0
45	▼29	0,03	▼29	0,03	▼30	0	▲29	0,03	▲30	0	▲30	0
46	▲30	0	▲29	0,03	▼30	0	▲30	0	▼26	0,53	▼30	0
47	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0
48	▲19	4,03	▲23	1,63	▲30	0	▼30	0	▼24	1,20	▲30	0
49	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
50	▲30	0	▲30	0	▲29	0,03	▲30	0	▼30	0	▼30	0
51	▲30	0	▲30	0	▼25	0,83	▼30	0	▼30	0	▼30	0
52	▲30	0	▲30	0	▲27	0,30	▼30	0	▼27	0,30	▼30	0
53	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
54	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼27	0,30	▼30	0
55	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▼30	0	▼30	0	▼18	4,80
56	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0	▲30	0
57	▲27	0,30	▲27	0,30	▼30	0	▼30	0	▲30	0	▼24	1,20
58	▲30	0	▲30	0	▼27	0,30	▲28	0,13	▼30	0	▼30	0
59	▲24	1,20	▲30	0	▲30	0	▼30	0	▲15	7,50	▼30	0
60	▼30	0	▼30	0	▼28	0,13	▲30	0	▲30	0	▲30	0
61	▼15	7,50	▲19	4,03	▼30	0	▼30	0	▼21	2,70	▲30	0
χ^2	19,70 ^{ns}		12,03 ^{ns}		58,23 ^{ns}		34,10 ^{ns}		26,33 ^{ns}		17,87 ^{ns}	

FONTE: O autor (2020).

(1) quando o índice é positivo (▲), indica excesso do nutriente no tecido vegetal, e quando é negativo (▼), indica a falta do nutriente; (2) Foram avaliadas 51 combinações distribuídas em 10 arranjos (com d = 10 até d = 5), as quais foram comparadas com os índices de nitrogênio (IN), fósforo (IP), potássio (IK), cálcio (ICa), zinco (IZn) e boro (IB) obtidos no arranjo com 11 elementos (d = 11); *n* = número do talhão avaliado pela norma CND, organizado na ordem decrescente de produtividade; * = significativo a 5 %; *ns* = não significativo.

TABELA 25 - ACURÁCIA MÉDIA E DESVIO PADRÃO OBTIDOS PELA NORMA CND PADRÃO E PELOS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS, POR VALIDAÇÃO CRUZADA K-FOLD E MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA, EM TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS (*d*), COM BASE NA PRODUTIVIDADE E NO ÍNDICE DE BALANÇO GERAL (CND-*r*²) DE CADA GRUPO ⁽¹⁾

<i>d</i>	ACURÁCIA (DESVIO PADRÃO)					
	-N	-P	-K	-Ca	-Zn	-B
P1 - Procedimento padrão						
<i>d</i> = 11: 0,56 (0,22)						
10	0,64 (0,27)	0,82 (0,15)	0,58 (0,26)	0,73 (0,29)	0,75 (0,14)	0,58 (0,21)
9	0,53 (0,23)	0,62 (0,22)	0,63 (0,24)	0,65 (0,25)	0,69 (0,17)	0,59 (0,22)
8	0,79 (0,22)	0,74 (0,18)	0,77 (0,20)	0,68 (0,15)	0,71 (0,21)	0,80 (0,19)
7	0,82 (0,17)	0,68 (0,15)	0,75 (0,21)	0,71 (0,18)	0,74 (0,12)	0,79 (0,15)
6	0,76 (0,22)	0,72 (0,17)	0,68 (0,16)	0,73 (0,15)	0,76 (0,16)	0,72 (0,19)
5	0,85 (0,11)	0,87 (0,16)	0,72 (0,16)	0,86 (0,15)	0,98 (0,06)	0,75 (0,14)
P2 - Sem remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,96 (0,08)						
10	0,86 (0,19)	0,85 (0,16)	0,74 (0,21)	0,89 (0,13)	0,77 (0,19)	0,77 (0,19)
9	0,85 (0,12)	0,78 (0,15)	0,82 (0,17)	0,82 (0,14)	0,77 (0,22)	0,82 (0,22)
8	0,77 (0,19)	0,91 (0,13)	0,81 (0,14)	0,81 (0,17)	0,90 (0,16)	0,83 (0,22)
7	0,89 (0,12)	0,84 (0,15)	0,91 (0,15)	0,88 (0,19)	0,80 (0,22)	0,86 (0,23)
6	0,94 (0,11)	0,73 (0,23)	0,70 (0,22)	0,78 (0,14)	0,76 (0,22)	0,80 (0,20)
5	0,82 (0,11)	0,78 (0,17)	0,71 (0,18)	0,80 (0,15)	0,89 (0,17)	0,73 (0,17)
P3 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,84 (0,13)						
10	0,87 (0,16)	0,95 (0,07)	0,88 (0,14)	0,89 (0,16)	0,73 (0,27)	0,93 (0,11)
9	0,83 (0,16)	0,79 (0,14)	0,82 (0,15)	0,93 (0,11)	0,80 (0,19)	0,79 (0,18)
8	0,82 (0,11)	0,80 (0,13)	0,77 (0,12)	0,69 (0,14)	0,71 (0,15)	0,86 (0,15)
7	0,86 (0,12)	0,87 (0,17)	0,84 (0,15)	0,81 (0,19)	0,85 (0,19)	0,77 (0,19)
6	0,82 (0,13)	0,73 (0,19)	0,77 (0,23)	0,83 (0,16)	0,81 (0,21)	0,64 (0,15)
5	0,75 (0,15)	0,85 (0,16)	0,89 (0,16)	0,91 (0,13)	0,94 (0,16)	0,80 (0,20)
P4 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,73 (0,26)						
10	0,84 (0,14)	0,70 (0,11)	0,54 (0,21)	0,94 (0,10)	0,73 (0,14)	0,71 (0,18)
9	0,55 (0,18)	0,62 (0,18)	0,51 (0,21)	0,70 (0,27)	0,75 (0,14)	0,66 (0,18)
8	0,87 (0,20)	0,79 (0,20)	0,89 (0,21)	0,84 (0,15)	0,70 (0,33)	0,89 (0,11)
7	0,67 (0,26)	0,78 (0,19)	0,81 (0,14)	0,78 (0,16)	0,80 (0,14)	0,87 (0,15)
6	0,73 (0,15)	0,69 (0,09)	0,73 (0,19)	0,84 (0,17)	0,93 (0,08)	0,85 (0,14)
5	0,76 (0,17)	0,76 (0,20)	0,97 (0,09)	0,90 (0,14)	0,99 (0,03)	0,89 (0,11)

FONTE: O autor (2020).

⁽¹⁾ alta e baixa produtividade.

TABELA 26 - ACURÁCIA MÉDIA E DESVIO PADRÃO OBTIDOS PELA NORMA CND PADRÃO E PELOS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS, POR VALIDAÇÃO CRUZADA *K-FOLD* E MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA, EM TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS (*d*), COM BASE NA PRODUTIVIDADE DE CADA GRUPO ⁽¹⁾

<i>d</i>	ACURÁCIA (DESVIO PADRÃO)					
	-N	-P	-K	-Ca	-Zn	-B
P1 - Procedimento padrão						
<i>d</i> = 11: 0,68 (0,25)						
10	0,69 (0,26)	0,78 (0,16)	0,68 (0,25)	0,68 (0,25)	0,91 (0,16)	0,74 (0,26)
9	0,68 (0,23)	0,65 (0,25)	0,68 (0,25)	0,68 (0,25)	0,73 (0,16)	0,57 (0,19)
8	0,66 (0,30)	1,00 (0,00)	0,84 (0,14)	0,82 (0,22)	0,96 (0,07)	0,87 (0,16)
7	0,82 (0,19)	0,95 (0,12)	0,90 (0,20)	0,73 (0,17)	0,82 (0,23)	0,88 (0,16)
6	1,00 (0,00)	1,00 (0,00)	0,73 (0,15)	0,74 (0,11)	0,95 (0,12)	0,91 (0,12)
5	0,96 (0,08)	0,90 (0,19)	0,92 (0,11)	1,00 (0,00)	0,85 (0,08)	0,96 (0,12)
P2 - Sem remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,92 (0,15)						
10	0,95 (0,11)	0,92 (0,15)	0,93 (0,16)	0,91 (0,13)	0,91 (0,19)	0,93 (0,16)
9	0,91 (0,13)	0,85 (0,15)	0,88 (0,18)	0,95 (0,11)	0,92 (0,15)	0,92 (0,15)
8	0,93 (0,16)	0,95 (0,07)	0,91 (0,13)	0,78 (0,24)	0,92 (0,15)	0,92 (0,15)
7	0,95 (0,07)	0,90 (0,14)	0,90 (0,14)	0,91 (0,14)	0,91 (0,19)	0,91 (0,19)
6	0,92 (0,15)	0,95 (0,10)	0,97 (0,06)	0,91 (0,13)	0,90 (0,11)	0,91 (0,19)
5	0,85 (0,15)	0,92 (0,15)	0,95 (0,10)	0,91 (0,13)	0,92 (0,15)	0,93 (0,16)
P3 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,85 (0,15)						
10	0,95 (0,07)	0,91 (0,13)	0,91 (0,14)	0,95 (0,07)	0,91 (0,19)	0,93 (0,16)
9	0,95 (0,11)	0,95 (0,07)	0,95 (0,07)	0,95 (0,11)	0,91 (0,14)	0,91 (0,14)
8	0,88 (0,15)	0,91 (0,13)	0,95 (0,07)	0,92 (0,15)	0,95 (0,11)	0,91 (0,14)
7	0,88 (0,15)	0,91 (0,14)	0,95 (0,07)	0,92 (0,15)	0,92 (0,15)	0,95 (0,11)
6	0,85 (0,15)	0,95 (0,10)	0,93 (0,16)	0,85 (0,15)	0,83 (0,14)	0,94 (0,08)
5	0,90 (0,14)	0,92 (0,15)	0,91 (0,13)	0,93 (0,16)	0,95 (0,11)	0,92 (0,15)
P4 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,72 (0,19)						
10	0,78 (0,14)	0,81 (0,16)	0,71 (0,18)	0,89 (0,10)	0,88 (0,15)	0,90 (0,20)
9	0,77 (0,18)	0,91 (0,11)	0,77 (0,25)	0,69 (0,29)	0,88 (0,15)	0,81 (0,16)
8	0,59 (0,22)	0,88 (0,13)	0,69 (0,20)	0,72 (0,14)	0,76 (0,28)	0,82 (0,11)
7	0,60 (0,19)	0,88 (0,20)	0,83 (0,21)	0,75 (0,15)	0,78 (0,23)	0,81 (0,10)
6	0,91 (0,18)	0,87 (0,14)	0,77 (0,16)	0,85 (0,17)	0,86 (0,18)	0,86 (0,14)
5	0,98 (0,04)	0,85 (0,14)	0,95 (0,15)	0,95 (0,15)	0,92 (0,08)	0,95 (0,09)

FONTE: O autor (2020).

⁽¹⁾ alta e baixa produtividade.

TABELA 27 - ACURÁCIA MÉDIA E DESVIO PADRÃO OBTIDOS PELA NORMA CND PADRÃO E PELOS PROCEDIMENTOS ADAPTADOS, POR VALIDAÇÃO CRUZADA *K-FOLD* E MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA, EM TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS (*d*), COM BASE NO ÍNDICE DE BALANÇO GERAL (CND- r^2) DE CADA GRUPO ⁽¹⁾

<i>d</i>	ACURÁCIA (DESVIO PADRÃO)					
	-N	-P	-K	-Ca	-Zn	-B
P1 - Procedimento padrão						
<i>d</i> = 11: 0,49 (0,18)						
10	0,56 (0,18)	0,69 (0,08)	0,49 (0,20)	0,51 (0,18)	0,67 (0,09)	0,57 (0,21)
9	0,47 (0,19)	0,50 (0,14)	0,52 (0,16)	0,52 (0,21)	0,64 (0,17)	0,49 (0,10)
8	0,52 (0,23)	0,67 (0,13)	0,66 (0,13)	0,68 (0,15)	0,66 (0,14)	0,71 (0,11)
7	0,73 (0,16)	0,68 (0,07)	0,66 (0,16)	0,70 (0,12)	0,65 (0,17)	0,71 (0,07)
6	0,70 (0,13)	0,69 (0,10)	0,67 (0,15)	0,71 (0,08)	0,68 (0,11)	0,64 (0,12)
5	0,82 (0,09)	0,70 (0,11)	0,63 (0,08)	0,68 (0,08)	0,80 (0,08)	0,67 (0,11)
P2 - Sem remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,63 (0,14)						
10	0,67 (0,10)	0,62 (0,14)	0,58 (0,13)	0,76 (0,12)	0,62 (0,14)	0,61 (0,13)
9	0,76 (0,12)	0,75 (0,12)	0,70 (0,13)	0,78 (0,11)	0,65 (0,14)	0,64 (0,15)
8	0,62 (0,12)	0,77 (0,12)	0,76 (0,12)	0,63 (0,11)	0,64 (0,13)	0,62 (0,12)
7	0,77 (0,12)	0,71 (0,13)	0,71 (0,13)	0,72 (0,11)	0,62 (0,14)	0,64 (0,12)
6	0,70 (0,11)	0,65 (0,14)	0,66 (0,16)	0,76 (0,12)	0,61 (0,14)	0,64 (0,14)
5	0,75 (0,12)	0,68 (0,14)	0,63 (0,13)	0,74 (0,11)	0,70 (0,16)	0,63 (0,13)
P3 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,75 (0,12)						
10	0,77 (0,12)	0,76 (0,12)	0,72 (0,12)	0,77 (0,12)	0,60 (0,13)	0,60 (0,13)
9	0,78 (0,11)	0,77 (0,12)	0,77 (0,12)	0,78 (0,11)	0,73 (0,13)	0,72 (0,11)
8	0,79 (0,10)	0,76 (0,12)	0,77 (0,12)	0,70 (0,16)	0,71 (0,15)	0,73 (0,13)
7	0,79 (0,10)	0,72 (0,12)	0,77 (0,12)	0,68 (0,14)	0,70 (0,16)	0,68 (0,12)
6	0,75 (0,12)	0,62 (0,15)	0,64 (0,14)	0,75 (0,12)	0,65 (0,17)	0,62 (0,13)
5	0,72 (0,14)	0,67 (0,14)	0,74 (0,11)	0,69 (0,18)	0,71 (0,15)	0,70 (0,16)
P4 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,60 (0,17)						
10	0,78 (0,14)	0,70 (0,11)	0,56 (0,16)	0,89 (0,10)	0,71 (0,11)	0,66 (0,16)
9	0,53 (0,22)	0,66 (0,19)	0,57 (0,15)	0,59 (0,22)	0,71 (0,15)	0,60 (0,18)
8	0,59 (0,22)	0,70 (0,15)	0,60 (0,23)	0,71 (0,11)	0,57 (0,23)	0,74 (0,12)
7	0,57 (0,19)	0,66 (0,14)	0,68 (0,09)	0,72 (0,11)	0,68 (0,15)	0,74 (0,09)
6	0,68 (0,06)	0,71 (0,09)	0,64 (0,16)	0,70 (0,07)	0,70 (0,08)	0,71 (0,09)
5	0,66 (0,11)	0,70 (0,12)	0,69 (0,11)	0,69 (0,11)	0,78 (0,11)	0,76 (0,11)

FONTE: O autor (2020).

⁽¹⁾ alta e baixa produtividade.

TABELA 28 - ACURÁCIA MÉDIA E DESVIO PADRÃO OBTIDOS PELA NORMA CND MODIFICADO COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES, POR VALIDAÇÃO CRUZADA *K-FOLD* E MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA, EM TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS (*d*), COM BASE NA PRODUTIVIDADE E NO ÍNDICE DE BALANÇO GERAL (CND- r^2) DE CADA GRUPO ⁽¹⁾

<i>d</i>	ACURÁCIA (DESVIO PADRÃO)					
	-N	-P	-K	-Ca	-Zn	-B
P5 - Sem remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,99 (0,03)						
10	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,99 (0,03)
9	0,97 (0,06)	0,99 (0,03)	0,96 (0,06)	0,98 (0,05)	0,99 (0,03)	0,97 (0,06)
8	0,98 (0,04)	0,99 (0,03)	0,97 (0,06)	0,99 (0,03)	0,97 (0,06)	0,99 (0,03)
7	0,95 (0,07)	0,97 (0,06)	0,95 (0,08)	0,98 (0,04)	0,99 (0,03)	0,97 (0,06)
6	0,98 (0,04)	0,94 (0,09)	0,96 (0,09)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,95 (0,11)
5	0,98 (0,04)	0,99 (0,03)	0,95 (0,11)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,95 (0,14)
P6 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,98 (0,04)						
10	0,97 (0,04)	0,99 (0,03)	0,97 (0,06)	0,98 (0,04)	0,98 (0,04)	0,99 (0,03)
9	0,99 (0,03)	0,97 (0,06)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,96 (0,06)
8	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,99 (0,03)	0,96 (0,08)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)
7	0,93 (0,11)	0,97 (0,06)	0,96 (0,08)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,98 (0,04)
6	0,92 (0,12)	0,97 (0,04)	0,98 (0,04)	0,90 (0,14)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)
5	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)
P7 - Com remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,99 (0,04)						
10	0,97 (0,05)	0,98 (0,07)	0,99 (0,04)	0,99 (0,04)	0,98 (0,04)	0,99 (0,03)
9	0,99 (0,04)	0,99 (0,04)	0,99 (0,04)	0,97 (0,05)	0,97 (0,07)	0,98 (0,04)
8	0,93 (0,09)	0,99 (0,03)	0,99 (0,04)	0,99 (0,04)	0,97 (0,07)	0,99 (0,03)
7	0,98 (0,04)	0,97 (0,07)	0,99 (0,03)	0,98 (0,04)	0,99 (0,03)	0,95 (0,13)
6	0,98 (0,04)	0,97 (0,06)	0,96 (0,07)	0,99 (0,03)	0,95 (0,15)	0,94 (0,10)
5	0,98 (0,04)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)
P8 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,99 (0,04)						
10	0,88 (0,13)	0,98 (0,05)	0,99 (0,04)	0,94 (0,08)	0,98 (0,04)	0,99 (0,04)
9	0,97 (0,05)	0,97 (0,05)	0,99 (0,04)	0,91 (0,12)	0,98 (0,04)	0,96 (0,06)
8	0,97 (0,09)	0,96 (0,09)	0,95 (0,09)	0,99 (0,04)	0,99 (0,04)	0,99 (0,03)
7	0,93 (0,12)	0,99 (0,03)	0,97 (0,05)	0,93 (0,15)	0,93 (0,12)	0,99 (0,03)
6	0,97 (0,07)	0,98 (0,04)	0,95 (0,08)	0,94 (0,11)	0,99 (0,03)	0,94 (0,15)
5	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)	0,99 (0,03)

FONTE: O autor (2020).

⁽¹⁾ alta e baixa produtividade.

TABELA 29 - ACURÁCIA MÉDIA E DESVIO PADRÃO OBTIDOS PELA NORMA CND MODIFICADO COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES, POR VALIDAÇÃO CRUZADA *K-FOLD* E MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA, EM TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS (*d*), COM BASE NA PRODUTIVIDADE DE CADA GRUPO ⁽¹⁾

<i>d</i>	ACURÁCIA (DESVIO PADRÃO)					
	-N	-P	-K	-Ca	-Zn	-B
P5 - Sem remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,97 (0,06)						
10	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)
9	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)
8	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)
7	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)
6	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)
5	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)
P6 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,97 (0,06)						
10	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)
9	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)
8	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)
7	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)
6	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)
5	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)	0,97 (0,06)
P7 - Com remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,95 (0,07)						
10	0,91 (0,11)	0,93 (0,13)	0,95 (0,07)	0,95 (0,07)	0,91 (0,12)	0,89 (0,11)
9	0,95 (0,07)	0,95 (0,08)	0,95 (0,07)	0,95 (0,07)	0,92 (0,13)	0,88 (0,10)
8	0,97 (0,06)	0,99 (0,03)	0,96 (0,08)	0,96 (0,09)	0,94 (0,09)	0,86 (0,12)
7	0,92 (0,20)	0,93 (0,11)	0,97 (0,07)	0,88 (0,04)	0,92 (0,12)	0,88 (0,18)
6	0,87 (0,18)	0,96 (0,09)	0,96 (0,07)	0,91 (0,14)	0,91 (0,16)	0,93 (0,15)
5	0,99 (0,03)	0,95 (0,12)	0,86 (0,16)	0,99 (0,03)	0,86 (0,17)	0,90 (0,13)
P8 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,97 (0,05)						
10	0,90 (0,13)	0,95 (0,11)	0,93 (0,10)	0,90 (0,13)	0,88 (0,17)	0,91 (0,06)
9	0,92 (0,12)	0,99 (0,04)	0,93 (0,10)	0,88 (0,13)	0,88 (0,17)	0,81 (0,16)
8	0,95 (0,09)	0,97 (0,05)	0,95 (0,09)	0,97 (0,09)	0,91 (0,13)	0,80 (0,21)
7	0,93 (0,13)	0,92 (0,20)	0,97 (0,05)	0,94 (0,12)	0,93 (0,13)	0,87 (0,15)
6	0,95 (0,11)	0,96 (0,09)	0,83 (0,15)	0,93 (0,12)	0,90 (0,03)	0,88 (0,15)
5	0,84 (0,19)	0,95 (0,12)	0,99 (0,13)	0,99 (0,03)	0,95 (0,12)	0,95 (0,12)

FONTE: O autor (2020).

⁽¹⁾ alta e baixa produtividade.

TABELA 30 - ACURÁCIA MÉDIA E DESVIO PADRÃO OBTIDOS PELA NORMA CND MODIFICADO COM O MÉTODO DO PONTO LIMITE DE CONVERGÊNCIA E VARIAÇÕES, POR VALIDAÇÃO CRUZADA *K-FOLD* E MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA, EM TODOS OS ARRANJOS AVALIADOS (*d*), COM BASE NO ÍNDICE DE BALANÇO GERAL (CND-*r*²) DE CADA GRUPO ⁽¹⁾

<i>d</i>	ACURÁCIA (DESVIO PADRÃO)					
	-N	-P	-K	-Ca	-Zn	-B
P5 - Sem remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,94 (0,07)						
10	0,93 (0,07)	0,93 (0,08)	0,94 (0,07)	0,94 (0,07)	0,93 (0,07)	0,94 (0,07)
9	0,93 (0,08)	0,94 (0,08)	0,94 (0,08)	0,93 (0,10)	0,94 (0,08)	0,93 (0,10)
8	0,89 (0,12)	0,89 (0,13)	0,91 (0,10)	0,89 (0,11)	0,88 (0,13)	0,89 (0,12)
7	0,87 (0,13)	0,83 (0,15)	0,84 (0,11)	0,81 (0,16)	0,76 (0,16)	0,81 (0,17)
6	0,86 (0,14)	0,79 (0,16)	0,82 (0,13)	0,81 (0,12)	0,72 (0,13)	0,77 (0,19)
5	0,84 (0,15)	0,70 (0,15)	0,80 (0,08)	0,71 (0,11)	0,68 (0,15)	0,69 (0,15)
P6 - Com tratamento prévio dos dados e sem remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,89 (0,09)						
10	0,91 (0,09)	0,92 (0,09)	0,90 (0,09)	0,88 (0,08)	0,90 (0,09)	0,91 (0,10)
9	0,86 (0,11)	0,87 (0,11)	0,86 (0,11)	0,84 (0,11)	0,81 (0,10)	0,84 (0,11)
8	0,81 (0,15)	0,80 (0,17)	0,79 (0,15)	0,77 (0,14)	0,72 (0,14)	0,75 (0,16)
7	0,82 (0,15)	0,83 (0,14)	0,81 (0,14)	0,80 (0,16)	0,72 (0,16)	0,80 (0,18)
6	0,82 (0,14)	0,81 (0,16)	0,78 (0,14)	0,86 (0,13)	0,70 (0,14)	0,71 (0,17)
5	0,74 (0,17)	0,71 (0,14)	0,69 (0,12)	0,70 (0,13)	0,66 (0,14)	0,65 (0,18)
P7 - Com remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,97 (0,05)						
10	0,97 (0,05)	0,94 (0,09)	0,97 (0,05)	0,99 (0,04)	0,92 (0,08)	0,97 (0,05)
9	0,99 (0,04)	0,96 (0,08)	0,99 (0,04)	0,97 (0,05)	0,97 (0,07)	0,98 (0,04)
8	0,90 (0,11)	0,87 (0,09)	0,91 (0,10)	0,88 (0,09)	0,90 (0,08)	0,89 (0,10)
7	0,87 (0,10)	0,80 (0,14)	0,86 (0,10)	0,83 (0,10)	0,78 (0,15)	0,83 (0,16)
6	0,84 (0,11)	0,78 (0,11)	0,84 (0,07)	0,79 (0,09)	0,69 (0,14)	0,78 (0,18)
5	0,80 (0,06)	0,68 (0,14)	0,77 (0,10)	0,73 (0,07)	0,70 (0,12)	0,71 (0,17)
P8 - Com tratamento prévio dos dados e remoção de outliers						
<i>d</i> = 11: 0,92 (0,08)						
10	0,88 (0,13)	0,93 (0,08)	0,91 (0,08)	0,88 (0,13)	0,89 (0,10)	0,93 (0,10)
9	0,96 (0,08)	0,95 (0,08)	0,90 (0,09)	0,88 (0,13)	0,85 (0,11)	0,86 (0,10)
8	0,94 (0,10)	0,89 (0,08)	0,94 (0,10)	0,93 (0,12)	0,91 (0,13)	0,76 (0,19)
7	0,89 (0,14)	0,83 (0,12)	0,82 (0,20)	0,86 (0,17)	0,89 (0,14)	0,78 (0,15)
6	0,82 (0,15)	0,79 (0,09)	0,78 (0,15)	0,75 (0,14)	0,68 (0,12)	0,72 (0,17)
5	0,71 (0,10)	0,72 (0,16)	0,69 (0,13)	0,69 (0,16)	0,69 (0,13)	0,68 (0,17)

FONTE: O autor (2020).

⁽¹⁾ alta e baixa produtividade.