



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIODIVERSIDADE
E BIOTECNOLOGIA - REDE BIONORTE**



ILA RAQUEL MELLO CARDOSO

**CINÉTICA DA HIDRATAÇÃO DOS GRÃOS DE MILHO VERDE E
MILHO DOCE COM FOCO NO USO DA BIODIVERSIDADE PARA
PRODUÇÃO DE CONSERVAS ALIMENTÍCIAS**

Palmas – TO

2022

ILA RAQUEL MELLO CARDOSO

**CINÉTICA DA HIDRATAÇÃO DOS GRÃOS DE MILHO VERDE E
MILHO DOCE COM FOCO NO USO DA BIODIVERSIDADE PARA
PRODUÇÃO DE CONSERVAS ALIMENTÍCIAS**

Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE, na Universidade Federal do Tocantins, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia.

Orientadora: Prof. Dr. Glêndara Aparecida de Souza Martins

Coorientador: Prof. Dr. Flávio Sérgio Afféri

Palmas – TO

JANEIRO/2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

M527c Cardoso, Ila Raquel Mello.
Cinética da hidratação dos grãos de milho verde e milho doce com foco no uso da biodiversidade para produção de conservas alimentícias. / Ila Raquel Mello Cardoso. – Palmas, TO, 2022.
63 f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Biodiversidade e Biotecnologia, 2022.

Orientadora : Glêndara Aparecida de Souza Martins
Coorientador: Flávio Sérgio Afféri

1. Zea mays L.. 2. Adubação nitrogenada. 3. Modelagem Matemática. 4. Redes Neurais Artificiais. I. Título

CDD 660.6

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ILA RAQUEL MELLO CARDOSO

**CINÉTICA DA HIDRATAÇÃO DOS GRÃOS DE MILHO VERDE E
MILHO DOCE COM FOCO NO USO DA BIODIVERSIDADE PARA
PRODUÇÃO DE CONSERVAS ALIMENTÍCIAS**

Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE, na Universidade Federal do Tocantins, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia.

Aprovada em 26/01/2022

Banca Examinadora

Prof. Dr. Glêndara Aparecida de Souza Martins
Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Adriana Régia Marques Souza
Universidade Federal de Goiás

Prof. Dr. Bárbara Catarina Bastos de Freitas
King Abdullah University of Science and Technology

Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Joenes Mucci Peluzio
Universidade Federal do Tocantins

DEDICATÓRIA

Dedico,

Ao meu Deus,

Pela vida e oportunidade de crescer.

À nossa Senhora de Fátima,

Pelo seu poder intercessor.

Aos meus pais,

Ana Ilza (*in memoria*) e José Filho, pela prática do amor.

Às minhas irmãs,

Ilana, Isadora e Lavínia, pelo carinho e amor dedicados a mim.

Que Deus os abençoe sempre.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pois recebo presentes divinos em toda minha vida.

Aos meus queridos pais, Ana Ilza (*in memoria*) e José Filho, pelo amor, incentivo, compreensão, por todos os esforços dedicados a mim e por terem possibilitado que eu tivesse um direcionamento pessoal e profissional.

Às minhas irmãs, Ilana e Isadora, pelo amor e carinho.

À minha afilhada e sobrinha Lavínia, por nos alegrar todos os dias com muito sorriso e pureza.

Aos meus cunhados João Vitor e Weiller, por me auxiliarem nas etapas de plantio e colheita do milho.

À minha família, meus avós, tias e tios, primos e primas (em especial Ana Alice, Engenheira Agrônoma que me auxiliou nas noites no laboratório), que sempre me incentivaram nos estudos.

Aos professores, a orientadora Dr. Glêndara Aparecida de Souza Martins e o Co-Orientador Dr. Flávio Sérgio Afférri pelo acompanhamento, orientação e ajuda para a realização deste doutorado. Também ao prof. Dr. Joenes Mucci Peluzio pelo auxílio na indicação de orientador e disponibilidade da área para aplicação do experimento.

Ao meu amigo Márcio, por estar sempre à disposição para me auxiliar desde o plantio, manejo, colheita, análises do milho, elaboração de seminários e até as publicações dos artigos científicos, serei eternamente grata por ser sua colega de doutorado.

Às minhas amigas, em especial a Cyntia e a Rayza, que sempre estiveram ao meu lado e compreenderam a minha ausência em alguns momentos, muito obrigada pela colaboração e amizade. Às minhas amigas, Diana e Juliana que estiveram presentes nesta correria do doutorado com as aulas, provas, seminários, laboratório, artigos, congressos, pois souberam me consolar nos momentos de desânimo.

Aos meus amigos dos laboratórios da UFT e IFTO do campus de Paraíso, em especial o Lacimp, pois estiveram presentes na batalha das análises laboratoriais, sempre com muita dedicação e comprometimento.

Aos meus amigos do Lacen-TO e UniCatólica, que souberam entender as minhas ausências no trabalho para desempenhar as atividades do doutorado.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a execução deste trabalho.

“Prepara-se o cavalo para o dia da batalha, mas é do Senhor que depende a vitória”.
Provérbios 21,31

CARDOSO, Ila Raquel Mello. **Cinética da hidratação dos grãos de milho verde e milho doce com foco no uso da biodiversidade para produção de conservas alimentícias**. 2022. 62 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2022.

RESUMO

O milho (*Zea mays L.*) se destaca como sendo um dos principais grãos cultivados em todo o mundo. O consumo de milho varia desde a forma “*in natura*”, até os processados, como por exemplo, conserva alimentícia. Este estudo teve como objetivo estudar a cinética da hidratação dos grãos de milho verde e milho doce com foco no uso da biodiversidade para produção de conservas alimentícias. Os experimentos foram realizados na Universidade Federal do Tocantins e Instituto Federal do Tocantins, onde foram plantados 4 cultivares de milho (C1, C2 e C3 de milho verde comum e C4 de milho doce), sobre diferentes ambientes, níveis de adubação e épocas de semeadura. Foram colhidas espigas, no estágio de milho verde, com umidade dos grãos entre 70 a 80%, realizou a caracterização física e química dos grãos quanto ao teor de umidade, proteína, lipídios, cinzas, carboidrato e fibras. Para a cinética de hidratação, os grãos de milho foram embebidos em água destilada em temperaturas de 25, 35, 45, 55 e 65 °C por até 70 minutos. Para o ajuste matemático utilizou-se o *Software MatLab* para os modelos de PELEG, PAGE, Weibull, Ibarz *et al.* e Henderson e Pabis e para o desenvolvimento da Rede Neural Artificial utilizou-se o *Software SPSS*. Os rendimentos de grãos verdes da C4 foram semelhantes ($p < 0,05$), pelo teste de Scott-Knott, com as C1 e C3 nos ambientes 2 e 4. Já nos ambientes 1 a C1 assemelhou-se com a C3, e no ambiente 3 (plântio realizado em Paraíso em 2019) a C3 teve um maior rendimento de 77%. Observa-se que o milho doce cultivado em Palmas - TO apresentou um rendimento de grãos verdes de 60 %, semelhante a C1, desta forma nota-se que mesmo em condições climáticas distintas e genótipos de milho diferentes, o milho doce apresentou viabilidade produtiva semelhante ao milho verde. Os teores médios de cinzas, umidade, carboidrato, fibras, lipídeos e proteína das cultivares de milho verde e doce apresentaram valores superiores para o nível de adubação de 120N. Em relação a modelagem matemática, o coeficiente de determinação R^2 para a C1 apresentou o melhor ajuste para o modelo de Ibarz *et al* a 25°C. Para a C2 o melhor modelo matemático foi o de Ibarz *et al* para as temperaturas de 25°C e modelo de PELEG para a temperaturas de 45 °C. Os resultados obtidos para a C3 e C4, assemelham-se com a C1, pois também teve o melhor modelo o Ibarz *et al*. Todos os R^2 encontrados na Rede Neural Artificial apresentaram valores acima de 0,90, indicando que 90% das variáveis estudadas para o teor de absorção foram explicadas pelas variáveis tempo e temperatura, também observou linearidade entre os valores de absorção e valor previsto da modelagem. Diante destes resultados observou-se a importância de estudar o rendimento dos grãos de milho doce e verde, pois a escolha das cultivares, do ambiente, da época da semeadura, entre outros fatores influenciam na produtividade. E pode-se concluir que o milho verde “*in natura*” conseguiu manter os padrões de qualidade relacionados a absorção de água, assemelhando-se ao milho doce, possibilitando assim a utilização destes grãos no processamento de conservas alimentícias.

Palavras-chave: *Zea mays L.*; Adubação nitrogenada; Modelagem Matemática; Redes Neurais Artificiais.

CARDOSO, Ila Raquel Mello. **Hydration kinetics of green and sweet corn grains with focus on the use of biodiversity for the production of canned food.** 2022. 62 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2022.

ABSTRACT

Corn (*Zea mays* L.) stands out as one of the main grains cultivated worldwide. The consumption of corn varies from the "in natura" form, to the processed ones, such as canned food. This study aimed to study the kinetics of hydration of green corn and sweet corn grains with a focus on the use of biodiversity for the production of canned food. The experiments were conducted at the Federal University of Tocantins and Federal Institute of Tocantins, where 4 corn cultivars (C1, C2 and C3 common green corn and C4 sweet corn) were planted, under different environments, fertilizer levels and sowing times. The cobs were harvested, at the green corn stage, with grain moisture between 70 and 80%, performed the physical and chemical characterization of the grains for moisture content, protein, lipids, ash, carbohydrate and fiber. For the hydration kinetics, the corn grains were soaked in distilled water at temperatures of 25, 35, 45, 55, and 65 °C for up to 70 minutes. MatLab Software was used for mathematical fitting for the PELEG, PAGE, Weibull, Ibarz et al. and Henderson and Pabis models and SPSS Software was used to develop the Artificial Neural Network. The green grain yields of C4 were similar ($p < 0.05$), by the Scott-Knott test, with C1 and C3 in environments 2 and 4. In environments 1, C1 was similar to C3, and in environment 3 C3 had a higher yield of 77%. It can be observed that the sweet corn cultivated in Palmas - TO presented a yield of green grains of 60%, similar to C1, thus noting that even under different climatic conditions and different corn genotypes, sweet corn presented productive viability similar to green corn. The average contents of ash, moisture, carbohydrate, fiber, lipids and protein of green and sweet corn cultivars showed higher values for the 120N fertilization level. Regarding mathematical modeling, the coefficient of determination R^2 for C1 showed the best fit to the model of Ibarz et al at 25°C. For C2 the best mathematical model was that of Ibarz et al at 25°C and the PELEG model at 45°C. The results obtained for C3 and C4 are similar to those obtained for C1, because the best model was also the Ibarz et al. All R^2 found in the ANN presented values above 0.90, indicating that 90% of the variables studied for the uptake content were explained by the variables time and temperature, also observed linearity between the values of uptake and predicted value of the modeling. Given these results it was observed the important to study the yield of sweet and green corn grains, because they influence productivity. And it can be concluded that green corn "in natura" managed to maintain the quality standards related to water absorption, resembling sweet corn, thus enabling the use of these grains in the processing of canned food.

Keywords: *Zea mays* L.; Nitrogen Fertilization; Mathematical Modeling; Artificial Neural Networks.

FIGURAS, TABELAS E GRÁFICOS

Figura 1 Esquema do plantio de milho verde e milho doce e o estágio destes milhos após 25 dias do plantio	14
Figura 2 - Espigas com casca de milho verde (C1, C2 e C3) e milho doce (C4) após 60 dias do plantio	14
Figura 3 - Grãos de milho verde comum (C1, C2 e C3) e de milho doce (C4) “ <i>in natura</i> ”	15
Figura 4 - Composição de uma Rede Neural Artificial.	20
Figura 5 - Funções de Transferência	21
Tabela 1 - Resumo da Análise de Variância de MVESP, CEVSP, DEVSP, MGTV e RG para as 4 cultivares de milho com dois níveis de nitrogênio, sob 4 ambientes	26
Tabela 2 - Comparação dos valores médios da massa verde de espiga sem palha (g), para as cultivares de milho verde e milho doce para os 4 ambientes	27
Tabela 3 - Comparação dos valores médios do comprimento da espiga verde sem palha – cm, para as cultivares de milho verde e milho doce para os 4 ambientes.....	28
Tabela 4 - Comparação dos valores médios do diâmetro da espiga verde sem palha - cm, para as cultivares de milho verde e milho doce para os 4 ambientes	29
Tabela 5 - Comparação dos valores médios da massa verde dos grãos da espiga – g, para as cultivares de milho verde e milho doce para os 4 ambientes.	30
Tabela 6 - Comparação dos valores médios do rendimento dos grãos verdes - %, para as cultivares de milho verde e milho doce para os 4 ambientes.....	31
Tabela 7 - Modelos Matemáticos utilizados.....	39
Tabela 8 - Médias das análises físicas e químicas do milho verde e doce “ <i>in natura</i> ” (C1, C2, C3 e C4) em duas adubações (40 N e 120 N).....	40
Gráfico 1 - Efeito da temperatura e do tempo de hidratação sobre o teor de umidade grãos de milho e as curvas de ajustes para os modelos matemáticos, cultivares C1 (a), C2 (b), C3 (c) e C4 (d)	43
Tabela 9 - Parâmetros da modelagem matemática durante a hidratação dos grãos de milho verde e milho doce “ <i>in natura</i> ”	45
Figura 6 - Representação de infraestrutura da RNA para a modelagem preditiva das cultivares C1 (a), C2 (b), C3 (c) e C4 (d).....	49
Gráfico 2 - Comparação dos dados de Absorção e o Valor Previsto na modelagem da RNA, para as cultivares (a) C1, (b) C2, (c) C3 e (d) C4.....	51
Tabela 10 - Resultados do erro padrão da estimativa (SE) e dos coeficientes de determinação (R^2) para a modelagem da RNA, para as cultivares (C1, C2, C3 e C4)	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. PRODUÇÃO, CULTIVO e caracterização DO MILHO	13
2.2. APLICABILIDADE DO MILHO	16
2.3. CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO	17
2.4. MODELAGEM DE REDE NEURAL ARTIFICIAL (RNA)	20
CAPÍTULO 1	22
1. INTRODUÇÃO	23
2. METODOLOGIA	24
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
REFERÊNCIAS	31
CAPÍTULO 2	33
1. INTRODUÇÃO	35
2. METODOLOGIA	37
2.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO MILHO VERDE E MILHO DOCE “IN NATURA”	37
2.2. HIDRATAÇÃO DOS GRÃOS DE MILHO	38
2.3. MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO	38
2.4. MODELAGEM DE REDE NEURAL ARTIFICIAL (RNA)	39
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
3.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO MILHO VERDE E MILHO DOCE “IN NATURA”	40
3.2. HIDRATAÇÃO DOS GRÃOS DE MILHO	42
3.4. MODELAGEM DE REDE NEURAL ARTIFICIAL (RNA)	48
4. CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXOS	60

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) pertence à família Poaceae e é uma espécie originária da América do Norte, destaca-se como sendo um dos principais grãos de cereais cultivados em todo o mundo, estando presente na dieta básica das pessoas da região da América Latina, Ásia e África (SILVEIRA *et al.*, 2015). Segundo a CONAB (2020), o Brasil teve uma produção de milho na temporada 2019/20 de em torno de 18,5 milhões de hectares plantados com uma produção de 102,3 milhões de toneladas pós-colheita. Neste período observou-se, ainda, um aumento das exportações.

Segundo Perfeito *et al.* (2017), as condições climáticas, a adubação, a seleção da cultivar entre outros fatores, e a manutenção do estado fisiológico pós-colheita dos grãos de milho contribuem para o aumento da produtividade e a obtenção do padrão de qualidade exigido pelo processamento industrial. A produtividade do milho também depende da eficiência de canalização de carbono e nitrogênio para os grãos e da transformação desses elementos em compostos de reserva (Martin *et al.*, 2011).

No Brasil é uma tradição o plantio do milho verde e as espigas são colhidas com umidade entre 70 a 80%, para o consumo ainda frescas “*in natura*”, também podendo ser utilizadas na produção de pamonhas, bolos, sorvetes, farinhas entre outros e há poucos estudos evidenciando a aplicabilidade do milho verde “comum” em conservas alimentícias (LUZ *et al.*, 2014). Já o milho doce é utilizado principalmente na indústria de conservas alimentícias (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2006), pois apresenta uma mutação espontânea quando comparada com o milho verde tradicional, a qual bloqueia a conversão de açúcares em amido no endosperma, tornando-se um grão de alto teor de açúcares e baixo teor de amido (ZUCARELI *et al.*, 2012).

Há poucos relatos sobre as propriedades físicas, químicas e sensoriais do milho doce e sobre a produção desta cultivar na Região Norte do Brasil, sendo que estes parâmetros associados ao rendimento produtivo dos grãos contribuem para um aproveitamento adequado na indústria alimentícia (CRUZ, 2014).

Segundo ANVISA (2002), as conservas de alimentos podem ser elaboradas por meio do envasamento de grãos de vegetais crus, reidratados ou pré-cozidos, imersos em líquido de cobertura (salmoura, solução ácida), submetidos ao tratamento térmico (esterilização) para evitar alteração sensorial e microbiológica. Desta forma o estudo da cinética de hidratação possibilita a avaliação do comportamento dos grãos de milho no processo de hidratação, verificando a influência das diferentes temperaturas e tempo de hidratação sobre as taxas de absorção de água (IBIAPINA *et al.*, 2019).

A modelagem matemática é uma ferramenta, utilizada para o estudo da cinética de hidratação, que permite a otimização do processo de absorção de água e a manutenção do padrão de qualidade, lembrando que o teor de absorção afeta os processos posteriores, tais

como a cocção, e consecutivamente a qualidade do produto final (BALBINOTIA, JORGE e JORGE, 2018).

A Rede Neural Artificial (RNA) também é uma ferramenta de modelagem, com capacidade de prever vários fenômenos, solucionar problemas considerados complexos, com variáveis não rigorosamente conhecidas (KUMAR *et al.*, 2020). A RNA pode ser aplicada no controle de qualidade de produtos alimentícios (BHARGAVA e BANSAL, 2018), possibilitando avaliar a capacidade de adaptação dos grãos de milho em diferentes cenários de temperatura e tempo distinto de hidratação.

Diante deste contexto, este trabalho tem como objetivo estudar a cinética da hidratação dos grãos de milho verde e milho doce com foco no uso da biodiversidade para produção de conservas alimentícias.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PRODUÇÃO, CULTIVO E CARACTERIZAÇÃO DO MILHO

O milho (*Zea mays L.*) se destaca como sendo um dos principais grãos de cereais cultivados em todo o mundo, estando presente na dieta básica das pessoas da região da América Latina, Ásia, África e América do Sul. O consumo dos grãos de milho varia desde a forma *in natura*, até os processados, como por exemplo, milho em conserva, farinha de milho, amido de milho, cereais matinais e também é usado para alimentação animal (GIORDANO *et al.*, 2018).

Entre os tipos de milho mais consumidos estão os grãos amarelo e branco. Apesar dos milhos da coloração roxo, azul e preto apresentarem maior valor nutricional, sua produção ainda é em baixa escala (GIORDANO *et al.*, 2018).

Segundo a CONAB (2020), o Brasil teve uma produção de milho na temporada 2019/20 de em torno de 18,5 milhões de hectares plantados com uma produção de 102,3 milhões de toneladas pós-colheita. Neste período observou-se, ainda, um aumento das exportações.

No ano de 2020, a Região Norte-Nordeste do Brasil aumentou em 9,6% a área de produção de milho, em relação ao ano anterior, totalizando uma área de 1.313,7 mil hectares, atingindo desta maneira uma produção de 5.570,8 mil toneladas, contribuindo para o aumento produtivo dos grãos de 20,9%. No Estado do Tocantins as lavouras de milho, para a primeira safra do período 2019/20, obtiveram resultados produtivos equivalentes a 260 mil toneladas (CONAB, 2020). O Estado do Tocantins representa uma nova fronteira agrícola para a produção de milho, destacando-se com o aumento da produtividade, para isso é necessária a escolha correta época de plantio e a seleção de cultivares a serem plantadas em cada região (EMBRAPA, 2016). O plantio de milho no Tocantins ocorre entre os meses de novembro e fevereiro, sendo que o milho safrinha deve ser plantado ainda no período do verão, até a primeira quinzena do mês de fevereiro, dependendo do período chuvoso. Para o monitoramento da quantidade de chuva no período do plantio, no Anexo 01 apresenta-se a precipitação pluvial (mm), para a cidade de Palmas – TO no período de 2018 e 2019.

A produtividade do milho depende de uma série de fatores, sendo que a eficiência de canalização de carbono e nitrogênio para os grãos e da transformação desses elementos em compostos de reserva, é um deles, uma vez que a escassez de nitrogênio influencia diretamente na capacidade fotossintética das plantas (MARTIN *et al.*, 2011). Segundo Couto *et al.* (2017), a adubação nitrogenada realizada no plantio do milho também contribui para maior produtividade e influencia na produção de bioativos presentes na farinha de milho integral, tais como: fenólicos totais ligados à parede celular e as duas xantofilas presentes nos grãos de milho. Desta forma, a adubação nitrogenada influencia na produtividade e na

qualidade do produto, pois auxilia no aumento do teor proteico nas sementes, o qual são constituintes importantes no desenvolvimento do embrião do grão de milho.

A semeadura precoce é outro fator que contribui para o aumento do rendimento de grão, isso ocorre devido a maior eficiência do uso da radiação durante o processo de amadurecimento dos grãos. Desta forma observa-se que o período de semeadura é um dos fatores correlacionados para a melhoria da produtividade do milho e na produção de compostos bioativos, como a capacidade antioxidante, conteúdo de ácidos fenólicos, carotenóides e antocianinas de grãos (COUTO *et al.*, 2017). Na Figura 1, apresenta o esquema do plantio de milho e o estágio do milho após 25 dias do plantio para este estudo. E na Figura 2, demonstra as espigas com casca de milho verde e doce após 60 dias do plantio.

Figura 1. Esquema do plantio de milho verde e milho doce e o estágio destes milhos após 25 dias do plantio



Fonte: Autor (2019).

Figura 2. Espigas com casca de milho verde (C1, C2 e C3) e milho doce (C4) após 60 dias do plantio



Fonte: Autor (2019).

As cultivares de milho podem ser classificadas como híbridos simples, simples modificado, duplo, triplo ou variedades (cultivares de polinização aberta). As cultivares de híbridos simples é a resposta do cruzamento entre duas linhagens puras, apresentam

vantagens quanto a maior uniformidade da planta e da espiga e a maior produtividade, porém o custo da semente é maior quando comparado com as demais (EMBRAPA, 2014).

A cultivar híbrido duplo é o resultado do cruzamento entre dois híbridos simples, apresenta a vantagem de aumentar a produtividade e o custo de produção é menor quando comparado com as demais cultivares (PINHO *et al.*, 2010). Já a híbrido triplo corresponde ao cruzamento entre uma linha pura e um híbrido simples, tem a vantagem de produzir uma planta e espiga bastante uniforme, com produção intermediária quando comparada com os híbridos simples e duplos, com custo da semente menor que o simples e mais caro que o duplo (PINHO *et al.*, 2010).

As variedades são compostas pela livre polinização de um grupo de indivíduos selecionados, possuem alta heterogeneidade, apresentando maior estabilidade produtiva e variabilidade genética (ALVAREZ, 2012).

Para este estudo foi utilizado cultivares comerciais e estas foram adquiridas no comércio local. As cultivares de milho plantadas foram: C1 (milho híbrido simples, com graus dia (GD) utilizado na produção de milho verde "in natura"), C2 (variedade, aplicado na produção de milho verde "in natura"), C3 (híbrido triplo, utilizado na produção de milho verde "in natura") e C4 (milho doce híbrido simples), o qual podem ser observados na Figura 3.

Figura 3. Grãos de milho verde comum (C1, C2 e C3) e de milho doce (C4) "in natura"



Fonte: Autor (2019).

Os grãos de milho são formados pelas seguintes partes: ponta, pericarpo, germe e endosperma, sendo que a ponta corresponde a parte de ligação entre o grão e a espiga; o endosperma corresponde a maior parte do grão, com aproximadamente 61% de amido e 7% de glúten; o pericarpo é a parte de cobertura do grão com elevada quantidade de fibras; e o germe é composto por aproximadamente 34,5% de lipídeos e possui elevada quantidade de proteína (MARQUES, JORGE e JORGE, 2014).

O milho (*Zea mays L.*) é alimento rico em carboidratos, considerado como energético; é também fonte de óleo e fibras e fornece pequenas quantidades de vitaminas E, B1, B2 e ácido pantotênico, além de alguns minerais, como o fósforo e o potássio (MOTA *et al.*, 2020).

O milho é considerado um cereal com alto valor nutritivo, proporcionando vários benefícios à saúde humana, por ser um grão rico em carboidratos, proteínas, vitaminas, sais minerais e fibras, auxilia no funcionamento e manutenção do intestino humano (EMBRAPA, 2020).

Os grãos de milho verde comum, quanto a composição mineral, apresenta potássio e fósforo de 112,7 g e 184,8 g, respectivamente, este cereal também é rico em vitaminas, destacando-se a vitamina do complexo B, a qual trans benefícios pra o funcionamento adequado do sistema nervoso (EMBRAPA, 2020).

Os grãos do milho possuem a coloração amarela ou branca, podendo variar desde o preto até o vermelho. O peso médio do grão é de 250 a 300mg, tendo a seguinte composição em base seca: 72% de amido, 7 a 14%% de proteínas, 9% de fibra (a maioria resíduo detergente neutro) e 2,5 a 5% de óleo (SANTOS, 2018). Segundo Mota *et al.* (2020), os grãos de milho apresentaram umidade igual a 64,38%, cinzas 0,75%, lipídeos 1,55%, proteína 4,59% e carboidratos 28,72%. Conforme o estudo de Perfeito *et al.* (2017) os parâmetros físicos e químicos do milho doce demonstraram umidade entre 69,08 e 73,61% e cinzas entre 1,89 e 2,01 %.

De acordo com o mercado de milho verde, há uma classificação deste cereal em milho comum, milho doce e superdoce. O milho doce pode ser consumido na forma de milho verde “*in natura*” ou industrializado. Sendo que o milho comum ou normal possui 3% de açúcar e entre 60% e 70% de amido, o milho doce tem entre 9% e 14% de açúcar e de 30% a 35% de amido e o superdoce tem até 25% de açúcar e de 15% a 25% de amido (PEREIRA FILHO, CRUZ e GAMA, 2002).

2.2. APLICABILIDADE DO MILHO

Em face da inovação tecnológica inerente ao melhoramento genético, há uma crescente tendência em desenvolver plantas de milho com maiores níveis nutricionais, não somente para a ração animal, mas, principalmente, para o consumo humano (SELEME, 2014).

No Brasil o consumo de milho verde é uma tradição, sendo comercializado para consumo “*in natura*” ou processado, tais como: pamonha, curau, suco, bolo, sorvete, farinhas entre outros. Já o milho doce possui uma grande diversidade de aplicações, podendo ser utilizado em conservas, congelados na forma de espigas ou grãos, desidratados e “baby corn” ou minimilho (colhido antes da polinização) (REGITANO-D'ARCE; FILLET SPOTO; CASTELLUCCI, 2015).

Para atender as exigências da indústria de processamento e da produção para o consumo “*in natura*”, é necessário atribuir as seguintes características tanto para o milho verde como para o doce: produção durante o ano todo (utilizando processo de irrigação), uniformidade de maturação das espigas, comprimento em torno de 15 cm, formato cilíndrico

, grãos profundos e de coloração amarelo intenso ou alaranjado e rendimento industrial igual ou maior que 30% para a espiga com palha (REGITANO-D'ARCE; FILLET SPOTO; CASTELLUCCI, 2015).

Devido ao aumento da demanda e os novos padrões de consumo, as indústrias processadoras de milho estão cada vez mais exigentes. Há, ainda, um interesse no uso do milho doce para este fim, considerando sua gama de aplicabilidade já padronizada para a indústria de alimentos. O interesse industrial por grãos de milho pré-cozidos e enlatados é evidente, pois possibilita o consumo destes alimentos em diversos períodos do ano e, devido o processamento térmico, já uma ampliação da vida de prateleira e conserva das características sensoriais do produto (VENDRUSCOLO *et al.*, 2017).

O baixo teor de amido presente no milho doce, inviabiliza o desenvolvimento de alguns produtos como pamonha e curau, priorizando o uso dessa biodiversidade na forma de conserva alimentícia (PEREIRA FILHO, 2003). Já o milho verde é utilizado em ampla gama de processamentos, porém, sua aplicação em conservas é pouco estudada. Nesse contexto, a hidratação dos grãos de milho, para produção de conservas, corresponde ao processamento industrial aplicado para separar o amido, a proteína (glúten), as fibras e o germe do milho, o que influencia diretamente a qualidade do produto final, tornando indispensável o estudo da modelagem da transferência de massa dos grãos durante o processamento (SCHOENINGER, 2012).

O processo de enlatamento dos grãos de milho tem como principais etapas o branqueamento, envase, adição de salmoura e outros compostos. No entanto, faz-se de suma importância destacar que a etapa de hidratação, proporciona o aumento da plasticidade dos grãos, a diminuição do tempo de absorção de água e impacta diretamente nas etapas seguintes desse processamento (SCHOENINGER, 2012).

Segundo Kachhadiya, Kumar e Seth (2018) o milho doce (*Zea mays* L.) pode ser consumido fresco “*in natura*” depois do branqueamento a vapor, cozimento ou fervura, e também é comercializado congelado e enlatado, desta forma o processo térmico aplicado interferir na qualidade final do milho doce, contribuindo para a conservação das características sensoriais, tais como a cor.

O estudo de Park *et al.* (2019), desenvolveu um processo de esterilização (aquecimento) para conservar as qualidades sensoriais do milho, aplicando-se diferentes temperaturas e tempos de imersão, o qual possibilitou a identificação da temperatura ideal de esterilização por meio da análise das propriedades de textura do milho.

2.3. CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO

O estudo da cinética de hidratação avalia o comportamento do produto diante da imersão em um líquido, de acordo com o tempo e temperatura do processo. Assim o processo

de hidratação está associado a reação cinética realizada pelo produto durante o período de absorção de água (AUGUSTO, 2017)

Desta forma, os modelos matemáticos são aplicados para estudar e conhecer o processo de hidratação de biodiversidade de origem vegetal pode ser empírico (PELEG, 1988) e fenomenológico (NICOLIN *et al.*, 2012). Os empíricos baseiam-se na correlação matemática dos dados experimentais, já os fenomenológicos estão relacionados com leis e teorias e permitem a análise o transporte de água do alimento.

A modelagem matemática é uma técnica utilizada para representar quantitativamente um determinado processo e os problemas reais. Os modelos matemáticos podem ser classificados em prescritivos e descritivos. Os modelos prescritivos (simulação de sistemas) têm como objetivo utilizar técnica para identificar uma melhor solução para um determinado problema, baseiam-se em descobrir uma solução otimizada. Já os modelos descritivos são aplicados para representar sistemas reais (ou propostos) e a experimentação de diferentes cenários, neste modelo há a programação matemática, as redes neurais artificiais entre outros (ÖZILGEN, 2011).

Dentre os modelos mais estudados encontra-se o descrito por Peleg (1988) que demonstra uma equação não exponencial para descrever a absorção da água em grãos e cereais. A vantagem da utilização desse modelo é a simplicidade com relação aos métodos teóricos e empíricos, sendo muito aplicado para modelar o comportamento de diferentes grãos e alimentos hidratados.

O modelo de Peleg (1988) foi ajustado para os dados experimentais de hidratação, e pode ser demonstrado na Equação 1, sendo que Y_0 (%b.u) corresponde a umidade inicial do material, x (min) é o tempo durante a hidratação, k_1 (min.%b.u) é o parâmetro relacionado à taxa de absorção no início do processo e k_2 (%b.u⁻¹) é o parâmetro relacionado com a capacidade máxima de absorção de água.

$$Y_0 + \left(\frac{x}{k_1 + k_2 + x} \right) \text{ (Equação 1)}$$

Segundo Moura, *et al.* (2019), verificou-se que no estudo da absorção dos grãos de feijão e lentilha, o modelo de Peleg possibilitou representar as principais tendências do processo de hidratação dos grãos, possibilitando a aplicação destes alimentos na produção de enlatados.

O modelo de Page também é utilizado para estudar o comportamento cinético da hidratação de grãos, este modelo tem como base na equação de Fick, demonstrado resumidamente na Equação 2, o qual k_1 representa a constante de hidratação, x é o coeficiente de correção de ordem potencial n .

$$\exp(k_1 * x^n) \text{ (Equação 2)}$$

Já o modelo de distribuição de Weibull representa, por meio de uma equação matemática, a resistência da ruptura dos materiais e é utilizada para descrever o

comportamento de um sistema que possui variabilidade (CUNHA, OLIVEIRA e OLIVEIRA, 1998). Enquanto, o modelo cinético de 1ª ordem associa a umidade em um dado instante, umidade de saturação e umidade inicial (CUNHA, OLIVEIRA e OLIVEIRA, 1998). Sendo que, ambos os modelos podem apresentar respostas importantes que determinarão as condições de processamento e obtenção de conservas.

Quando se tem um evento ocorrendo várias vezes em uma determinada unidade de tempo, sendo que o número total de ocorrências do evento é desconhecido, como uma variável aleatória x , pode-se utilizar o Modelo de Distribuição de Weibull (distribuição exponencial) representado pela na Equação 3, sendo que b e a representam as constante do modelo.

$$\exp\left(\left(\frac{x}{b}\right)^a\right) \text{ (Equação 3)}$$

Segundo o modelo descrito por Ibarz *et al.* (2004 apresentado na Equação 4, sendo que k_7 , k_8 e M_0 correspondem aos parâmetros do modelo, x é o tempo de imersão. Este modelo pode ser utilizado para avaliar o comportamento dos alimentos quanto as taxas de absorção de água e o tempo de imersão, compreendendo as deformações estruturais do alimento.

$$(k_7/k_8) - ((k_7/k_8) - M_0) * \exp(-k_8 * x) \text{ (Equação 4)}$$

Conforme o modelo matemático de Henderson e Pabis (1961), a Equação 5 apresenta os coeficientes genéricos da hidratação, k , dependentes da temperatura da hidratação, e o comportamento da água no interior do produto.

$$a * \exp^{k*x} \text{ (Equação 5)}$$

Nesse contexto, conforme descreve Marques, Jorge e Jorge (2015), o estudo da cinética de hidratação dos grãos do milho doce e milho verde, por meio da modelagem matemática, auxiliam no processo de industrialização dos grãos, pois os modelos matemáticos permitem predizer e simular o comportamento de determinados parâmetros e processos e seu impacto no padrão de qualidade e identidade do produto final.

Para as indústrias processadoras de alimentos o estudo da cinética de absorção de umidade dos grãos otimiza as variáveis de processo e as propriedades do produto final, fornecendo informações necessárias sobre o comportamento do alimento por um período de tempo. Lembrando-se que há estudos que evidenciam a influência da temperatura na taxa e na quantidade de água transferida para o interior do produto (MIRANDA *et al.*, 2013).

No Brasil o consumo de milho verde é uma tradição, sendo comercializado para consumo "*in natura*" ou processado, tais como: pamonha, curau, suco, bolo, sorvete, farinhas entre outros. Já o milho doce possui uma grande diversidade de aplicações, podendo ser utilizado em conservas, congelados na forma de espigas ou grãos, desidratados e "baby corn" ou minimilho (colhido antes da polinização) (FRITSCHÉ-NETO *et al.*, 2012). E com o estudo da cinética de hidratação dos grãos de milho verde "*in natura*", possibilita-se a utilização desta

cultivar em conservas e enlatados, devido ao comportamento dos grãos quanto a absorção de água em diferentes temperaturas.

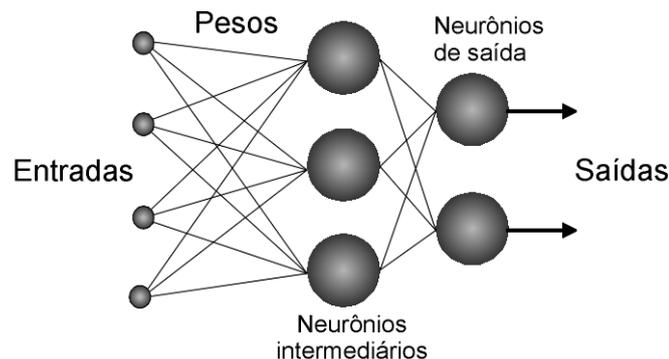
No branqueamento dos grãos do milho doce é importante verificar o efeito da temperatura, o tempo de duração do processo e métodos aplicados neste processo térmico, tonando-se necessário investigar a influência e a cinética dos métodos de branqueamento, água fervente e vapor em algumas propriedades sensoriais, físicas, químicas e microbiológicas do milho doce (Kachhadiya, Kumar e Seth, 2018).

2.4. MODELAGEM DE REDE NEURAL ARTIFICIAL (RNA)

As Redes Neurais Artificiais estão incluídas no segmento da Inteligência Artificial, e permitem a resolução de problemas sem conhecer o algoritmo necessário para solucionar a falha. A RNA é inspirada no funcionamento do cérebro humano e no comportamento das células diante dos estímulos (HAYKIN, 2001).

A Rede Neural Artificial (RNA) é composta por três camadas (uma camada de entrada, uma camada de saída e uma ou mais camadas ocultas), conforme a Figura 4.

Figura 4. Composição de uma Rede Neural Artificial.



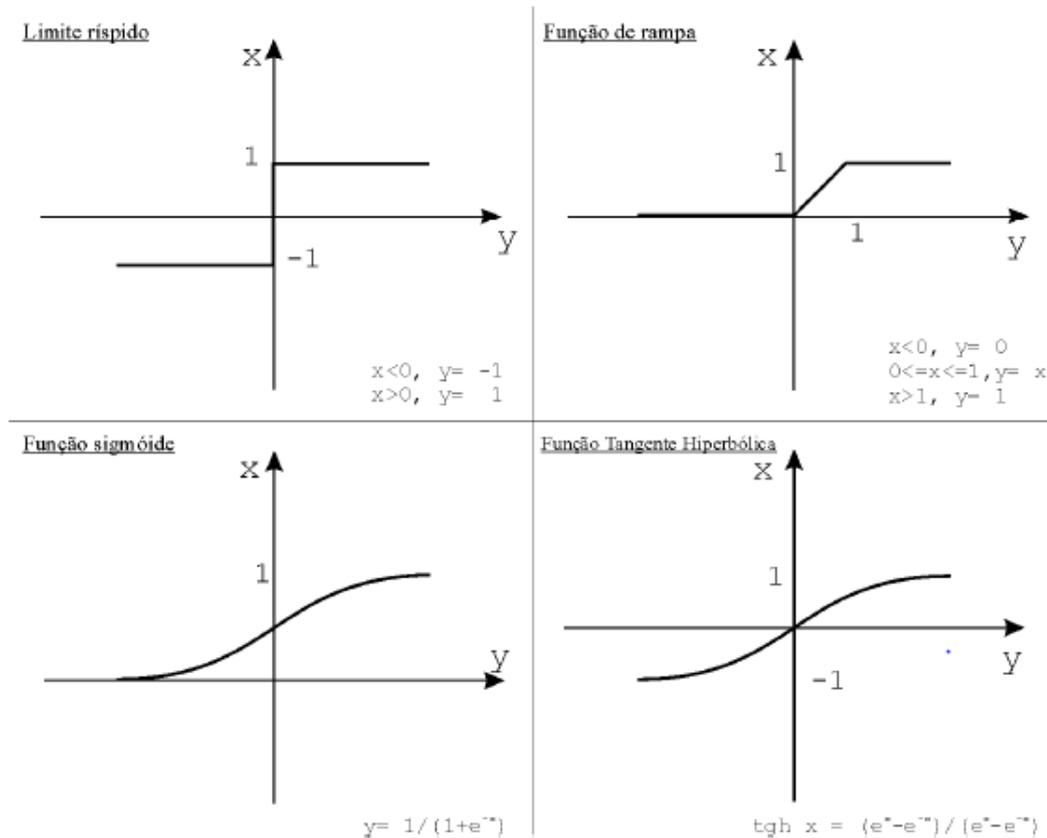
Fonte: Ludermir (2013).

Conforme a Figura 4, observa-se que cada camada é composta de vários neurônios ou nós, e este número de neurônios varia de acordo com os dados analisados. Para a conexão entre as camadas existem “pesos de rede”, os quais são responsáveis pela previsão dos dados. As sinapses são responsáveis por transmitir as informações entre os neurônios e cada uma delas tem um “peso de rede” distinto, os quais são fundamentais para a previsão dos dados.

Para que haja processamento de informação no neurônio, são associados pesos sinápticos às variáveis de entrada e se define a importância de cada uma destas variáveis, cada neurônio é dotado de outro parâmetro que interfere no sistema, porém não pode ser controlado. Posteriormente realiza-se o cálculo do coeficiente de ativação (soma das variáveis de entrada ponderadas pelos pesos sinápticos), e aplica-se a função de ativação do neurônio

(funções contínuas, tais como: tangente hiperbólica, linear e sigmoide, conforme a Figura 5) gerando a saída (CHOJI *et al.*, 2021).

Figura 5. Funções de Transferência



Fonte: CHOJI *et al.*, 2021.

No estudo de Kumar *et al.* (2020) foi possível aplicar a modelagem matemática para avaliar as características de hidratação do grão de bico verde, e com a rede neural artificial possibilitou melhorar e/ou prever este processo de hidratação em diferentes temperaturas e tempos de imersão.

Para se avaliar o efeito da hidratação nas propriedades físicas e químicas do cereal hidratado com leite, realizou-se o estudo da cinética de hidratação com a utilização de modelagem matemática e Redes Neurais Artificiais (RNA), o qual apresentou eficiência no ajuste dos dados para absorção (ALMEIDA *et al.*, 2021).

CAPÍTULO 1

Rendimento do milho doce e verde para consumo "in natura" cultivados no Tocantins

The yield of sweet and green corn consumed "in natura" (unprocessed) cultivated in Tocantins

Rendimiento de maíz dulce y verde para consumo "in natura" cultivado en Tocantins

Recebido: 00/12/2020 | Revisado: 00/01/2021 | Aceito: 00/01/2021 | Publicado: 18/01/2021

Ila Raquel Mello Cardoso

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3481-0090>
Universidade Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: ila.cardoso@catolica-to.edu.br

Marcio Eckardt

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6756-9053>
Universidade Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: adm1marcio@gmail.com

Flávio Sérgio Afféri

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0819-4108>
Universidade Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: flavioafferi@gmail.com

Glêndara Aparecida de Souza Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3813-1028>
Universidade Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: glendarasouza@mail.uft.edu.br

Joênes Mucci Peluzio

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9336-2072>
Universidade Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: joenesp@mail.uft.edu.br

Juliana Santos Moura

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2117-394X>
Instituto Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: juliana.moura@ifto.edu.br

Polliana Cristina de Lima Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2536-1019>
Instituto Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: pollycrispollycris@gmail.com

Lourena Jacy Fonseca Borges

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1326-0875>
Instituto Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: lourennajacy@gmail.com

Rafaela Soares Biase

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5648-4524>
Instituto Federal do Tocantins, Brasil
E-mail: rafahbiase@gmail.com

Resumo

O milho (*Zea mays L.*) pertence à família *Poaceae*, se destaca pela grande diversidade genética, adaptando-se em diversos climas. Este estudo tem como objetivo estudar o rendimento do milho verde e milho doce cultivadas no Tocantins. Os experimentos foram realizado na Universidade Federal do Tocantins – UFT, Campus de Palmas e Instituto Federal do Tocantins – IFTO, Campus de Paraíso, onde foram plantados 4 cultivares de milho (C1, C2 e C3 de milho verde comum e C4 de milho doce), sobre diferentes ambientes, níveis de adubação e épocas de semeadura. Os rendimentos de grãos verdes da C4 foram semelhantes ($p < 0,05$), pelo teste de Scott-Knott, com as C1 e C3 nos ambientes 2 e 4. Já nos ambientes 1 a C1 assemelhou-se com a C3, e no ambiente 3 a C3 teve um maior rendimento de 77%. Observa-se que o milho doce cultivado em Palmas - TO apresentou um rendimento de grãos verdes de 60 %, semelhante a C1, desta forma nota-se que mesmo em condições climáticas distintas e genótipos de milho diferentes, o milho doce apresentou viabilidade produtiva semelhante ao milho verde. Conclui-se que é importante estudar o rendimento dos grãos de milho doce e verde, pois influenciam na produtividade.

Palavras-chave: *Zea mays L.*; Adubação nitrogenada; Cereais.

Abstract

Corn (*Zea mays L.*) belongs to the Poaceae family, stands out for its great genetic diversity, adapting in different climates. This study aims to study the yield of green and sweet corn grown in Tocantins. The experiments were carried out at the Federal University of Tocantins - UFT, Palmas's Campus and Federal Institute of Tocantins - IFTO, Paraiso's Campus, where 4 corn cultivars were planted (C1, C2 and C3 of common green corn and C4 of sweet corn), on different environments, fertilization levels and sowing times. The yield green grains of C4 were similar ($p < 0.05$), by the *Scott-Knott* test, with C1 and C3 in environments 2 and 4. In environment 1, C1 was similar to C3, and environment 3 to C3 had higher yield of 77%. It is observed that sweet corn grown in Palmas - TO presented a yield green grain of 60%, similar to C1, it is noted that even under different climatic conditions and different corn genotypes, sweet corn showing similar productive viability to green corn. It is concluded that it is important to study the yield of sweet and green corn grains, as they influence productivity.

Keywords: *Zea mays L.*; Nitrogen fertilization; Cereals.

Resumen

El maíz (*Zea mays L.*) pertenece a la familia Poaceae, destaca por su gran diversidad genética, adaptándose en diferentes climas. Este estudio tiene como objetivo estudiar el rendimiento del maíz verde y dulce cultivado en Tocantins. Los experimentos se realizaron en la Universidad Federal de Tocantins - UFT, Campus de Palmas e Instituto Federal de Tocantins - IFTO, Campus de Paraíso, donde se sembraron 4 cultivares de maíz (C1, C2 y C3 de maíz verde común y C4 de maíz dulce), en diferentes ambientes, niveles de fertilización y tiempos de siembra. Los rendimientos de granos verdes de C4 fueron similares ($p < 0.05$), según la prueba de *Scott-Knott*, con C1 y C3 en los ambientes 2 y 4. En los ambientes 1 a C1 fue similar a C3, y en el ambiente 3 a C3 tuvo un rendimiento superior del 77%. Se observa que el maíz dulce cultivado en Palmas - TO mostró un rendimiento de grano verde de 60%, similar al C1, por lo que se observa que aún bajo diferentes condiciones climáticas y diferentes genotipos de maíz, el maíz dulce mostró una viabilidad productiva similar al maíz verde. Concluimos que es importante estudiar el rendimiento de los granos de maíz dulce y verde, ya que influyen en la productividad.

Palabras clave: *Zea mays L.*; Fertilización con nitrógeno; Cereales.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) é uma planta da família Poaceae, originária da América Central, com grande capacidade de adaptação a diversos climas desde regiões úmidas a regiões secas, devido a uma diversidade genética dentro da espécie. Os grãos do milho possuem a coloração amarela ou branca, podendo variar desde o preto até o vermelho. O peso médio do grão é de 250 a 300mg, tendo a seguinte composição em base seca: 72% de amido, 7 a 14% de proteínas, 9% de fibra (a maioria resíduo detergente neutro) e 2,5 a 5% de óleo (Santos, 2018).

O milho (*Zea mays L.*) se destaca como sendo um dos principais grãos de cereais cultivados em todo o mundo, estando presente na dieta básica nas pessoas da região da América Latina, Ásia e África. O consumo dos grãos de milho variam desde a forma *in natura*, até os processados, como por exemplo, milho em conserva, farinha de milho, amido de milho, cereais matinais e também é usado para alimentação animal (Giordano et al., 2018).

No Brasil é uma tradição o plantio do milho verde, mesmo com a disponibilidade reduzidas de sementes para produção de milho verde *in natura*, esta atividade se destaca em pequenas e médias propriedades com áreas entre 1 e 10 ha (Nascimento, 2017).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB] (2020), o Brasil teve uma produção de milho na temporada 2019/20 em torno de 18,5 milhões de hectares plantados com uma produção de 102,3 milhões de toneladas, neste período observou-se um aumento das exportações, processo contribuído pelo crescimento da aplicabilidade deste cereal na produção de etanol e no aumento do confinamento de animais.

Segundo CONAB (2020), a Região Norte-Nordeste do Brasil aumentou 9,6% da área de produção de milho, em relação ao ano anterior, totalizando uma área de 1.313,7 mil hectares, atingindo desta maneira uma

produção de 5.570,8 mil toneladas, contribuindo para o aumento de 20,9% da produção para o ano de 2020. No Estado do Tocantins as lavouras de milho para a primeira safra do período 2019/20 obtiveram resultados produtivos equivalente a 260 mil toneladas (CONAB, 2020). O Estado do Tocantins representa uma nova fronteira agrícola para a produção de milho, destacando-se com o aumento da produtividade, para isso é necessário escolher a correta época de plantio e a seleção de cultivares a serem plantadas em cada região, segundo Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [Embrapa] (2016). O plantio de milho no Tocantins ocorre entre os meses de novembro e fevereiro, sendo que o milho safrinha deve ser plantado ainda no período do verão, até a primeira quinzena do mês de fevereiro, dependendo do período chuvoso.

A produtividade do milho também depende da eficiência de canalização de carbono e nitrogênio para os grãos e da transformação desses elementos em compostos de reserva. Ainda, a escassez de nitrogênio influencia diretamente na capacidade fotossintética das plantas. (Martin et al., 2011). Considera-se que em áreas temperadas, a semeadura precoce contribui para o aumento do rendimento de grão, isso ocorre devido a maior eficiência do uso da radiação durante o processo de amadurecimento dos grãos. Desta forma observa-se que o período de semeadura é um dos fatores correlacionados para a melhoria da produtividade do milho e na produção de compostos bioativos, como a capacidade antioxidante, conteúdo de ácidos fenólicos, carotenóides e antocianinas de grãos (Couto et al., 2017).

Segundo Couto et al. (2017), a adubação nitrogenada realizada no plantio do milho também contribui para maior produtividade e influencia na produção de bioativos presentes na farinha de milho integral, tais como: fenólicos totais ligados à parede celular e as duas xantofilas presentes nos grãos de milho. Diante dos resultados observados neste estudo, nota-se o rendimento dos grãos sofre efeitos significativos com a nitrogênio na adubação e com período de semeadura.

O milho (*Zea mays* L.) possui uma aplicabilidade não apenas associada a alimentação humana e animal, mas também é aplicado em forragem, energia e materiais industriais. Para as diversas maneiras de se utilizar os grãos de milho há características agrônômicas relevantes, tais como o número e peso de grãos (determinam o rendimento de grãos por planta), também é necessário avaliar os fatores genéticos, fisiológicos e ambientais (Xiaotong et al., 2018).

No Brasil o consumo de milho verde é uma tradição, sendo comercializado para consumo “*in natura*” ou processado, tais como: pamonha, curau, suco, bolo, sorvete, farinhas entre outros. Já o milho doce possui uma grande diversidade de aplicações, podendo ser utilizado em conservas, congelados na forma de espigas ou grãos, desidratados e “baby corn” ou minimilho (colhido antes da polinização) (Fritsche-neto et al., 2012). Desta forma este estudo tem como objetivo estudar e comparar o rendimento das cultivares de milho verde e de milho doce para o consumo “*in natura*”, cultivadas no estado do Tocantins, pois há poucos estudos sobre o cultivo de milho doce na Região Norte do Brasil.

2. METODOLOGIA

Este trabalho baseia-se em um método hipotético-dedutivo, pois formulou-se hipóteses para a solução de um problema, sendo que foi realizado um estudo prático e experimental (pesquisa prática), a abordagem do problema foi realizada de forma quantitativa (utilização de informações numéricas e construção de tabelas demonstrativas) (Gil, 1994). Para a realização deste estudo foram semeados três cultivares de milho verde e uma cultivar de milho doce no Centro Agrotecnológico da Universidade Federal do Tocantins – UFT, Campus de Palmas (220 m de altitude, 10°45' de latitude Sul e 47°14' de longitude Oeste), em solo do tipo Latossolo Vermelho

Amarelo Distrófico; e no Instituto Federal do Tocantins – IFTO, Campus de Paraíso (387 m de altitude, 10 °15' de latitude Sul e 48°53' de longitude Oeste), em solo do tipo Latossolo Vermelho Distrófico.

Utilizaram-se cultivares comerciais e estas foram adquiridas no comércio local. As cultivares de milho plantadas foram: C1 (milho híbrido simples, com graus dia (GD) utilizado na produção de milho verde "in natura", C2 (variedade, aplicado na produção de milho verde "in natura", C3 (híbrido triplo, utilizado na produção de milho verde "in natura") e C4 (milho doce híbrido simples), aplicado para a produção de milho em conserva e consumo "in natura".

Os atributos químicos do solo (0 a 20 cm), da área plantada, da cidade de Palmas – TO foram: pH em Cacl₂ = 5,92; V (saturação bases) = 54,02 % e CTC = 3,48; e para a área de Paraíso do Tocantins foram: pH em Cacl₂ = 6,1, V (saturação bases) = 76,43 % e CTC = 5,94; por meio destes dados realizou-se um tratamento prévio do solo, do tipo convencional, com uma gradagem e nivelamento da área. A adubação de pré-semeadura foi realizada manualmente, utilizando 400 kg ha⁻¹ de NPK de 8-28-16 + 0,3% Zn, para todos os ensaios. A semeadura foi realizada com o intuito de se obter 40.000 plantas por hectares.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com 3 repetições, sendo a parcela representada em N na adubação em dois níveis de 40 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹ e a sub-parcela representa as cultivares de milho verde e milho doce, totalizando combinações entre cultivares e nitrogênio. Cada parcela experimental foi composta por três linhas de cinco metros lineares cada, com espaçamento de 0,8 m entre linhas.

Os 4 experimentos foram realizados em 4 ambientes (ambiente 1 = plantio em dezembro de 2018 em Palmas – TO; ambiente 2 = plantio em dezembro de 2018 em Paraíso – TO; ambiente 3 = plantio em janeiro de 2019 em Palmas – TO e ambiente 4 = plantio em janeiro de 2019 em Paraíso – TO).

A adubação em cobertura foi realizada manualmente e em dose única, nas plantas que se encontravam no estágio com quatro folhas completamente abertas, utilizaram-se níveis de 40 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio.

Para o controle fitossanitário contra as doenças, as pragas e as plantas daninhas aplicaram-se os tratamentos culturais, de acordo com as recomendações técnicas de cada cultura.

Para avaliar o rendimento das cultivares de milho verde e doce, colheram-se as espigas no estágio de milho verde, considerado milho para consumo *in natura* (ponto de milho verde) com umidade dos grãos entre 70 a 80%, o qual realizou as seguintes avaliações: MVESP (Massa verde média de espiga sem palha – g), CEVSP (Comprimento médio de espiga verde sem palha – cm), DEVSP (Diâmetro médio de espiga verde sem palha - cm), MGVP (Massa verde de grãos média da espiga – g) e RG (Rendimento de grãos verdes na espiga = 100 x (MGV/MVESP - %). Nestas etapas utilizou-se paquímetro manual para medir o diâmetro (mm) comprimento (cm), e balança analítica com precisão de três casas decimais para determinar o peso (g) da espiga e grãos de milho.

Para a análise dos dados foi realizada a análise de variância em parcela subdividida para cada ambiente separadamente, e quando verificado efeito significativo para 1 % de probabilidade pelo teste F aplicou-se a comparação de médias por meio do teste de *Scott-Knott*, utilizou-se o software *Sisvar* versão 5.6.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 apresenta-se o resumo da análise de variância – ANOVA (por meio dos cálculos do Quadrado Médio – QM e do teste F) para 5 características: MVESP (Massa verde média de espiga sem palha – g), CEVSP (Comprimento médio de espiga verde sem palha – cm), DEVSP (Diâmetro médio de espiga verde sem palha - cm), MGVP (Massa verde de grãos média da espiga – g) e 5 - RG (Rendimento dos grãos - %), sob 4 ambientes

(ambiente 1 = plantio em dezembro de 2018 em Palmas – TO; ambiente 2 = plantio em dezembro de 2018 em Paraiso – TO; ambiente 3 = plantio em janeiro de 2019 em Palmas – TO e ambiente 4 = plantio em janeiro de 2019 em Paraiso – TO).

Tabela 1. Resumo da Análise de Variância de MVESP, CEVSP, DEVSP, MGV e RG para as 4 cultivares de milho com dois níveis de nitrogênio, sob 4 ambientes

		QM (Palmas – TO)					QM (Paráiso – TO)															
FV	GL	MVESP	CEVSP	DEVSP	MGV	RG	MVESP	CEVSP	DEVSP	MGV	RG											
N	1	6583 ^{ns}	4,4 ^{ns}	0,534 ^{ns}	1916 ^{ns}	9 ^{ns}	7529 ^{ns}	7,4 ^{ns}	1,4 ^{ns}	1990 ^{ns}	84 ^{ns}											
												3	4954 ^{**}	8,0 ^{ns}	0,435 ^{**}	3135 ^{**}	226 ^{**}	5076 ^{**}	18,1 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1729 ^{**}	269 ^{ns}
cv1%		14,01	3,97	1,75	12,29	2,93	26,84	6,09	6,38	29,21	14,49											
cv2%		6,25	9,84	3,64	7,77	6	21,64	6,19	8,87	29,37	21,72											
FV	GL	MVESP	CEVSP	DEVSP	MGV	RG	MVESP	CEVSP	DEVSP	MGV	RG											
N	1	6105 ^{ns}	1,8 ^{ns}	0,041 ^{ns}	834 ^{ns}	147 ^{ns}	3927 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1959 ^{ns}	67 ^{ns}											
												3	1926 ^{**}	11,1 ^{ns}	1,102 ^{**}	4072 ^{**}	856 ^{**}	4788 ^{ns}	26,19 ^{**}	0,43 ^{ns}	3530 ^{ns}	448 ^{**}
cv1%		23,35	4,62	3,76	30,18	6,16	25,3	1,93	6,35	27,63	11,84											
cv2%		15,9	7,9	7,87	17,92	15,6	25,16	6,44	7,6	35,47	11,37											

** significativo a 0,01 de probabilidade respectivamente pelo teste F; ^{ns} não significativo

Fonte: Autores.

Conforme a tabela 1 observou-se, para cada ambiente separadamente, que há diferença significativa ($p < 0,01$) apenas para a comparação entre as cultivares (C1, C2, C3 e C4), no ambiente 1 identificou-se diferença significativa ($p < 0,01$) para as características MVESP (Massa verde média de uma espiga sem palha – g), DEVSP (Diâmetro médio de uma espiga verde sem palha - cm), MGV (Massa verde de grãos média da espiga – g) e RG (Rendimento dos grãos - %). Para o ambiente 2, observou-se as diferenças significativas para as características MVESP e MGV. Também pode-se observar que em todos os ambientes o nitrogênio, aplicado na adubação em cobertura, não promoveu diferença significativa ($p < 0,01$). Este fator pode ter ocorrido devido a influência dos genótipos dos grãos de milho verde e doce, a disponibilidade de nutrientes e as condições climáticas durante a etapa de enchimento dos grãos.

No ambiente 3 obtiveram diferença significativa ($p < 0,01$) para as mesmas características avaliadas no ambiente 1, assim nota-se que os plantios realizados em Palmas – TO apresentam comportamentos semelhantes mesmo em períodos diferentes de plantio (dezembro e janeiro), conforme demonstrado no Anexo 1 - Precipitação Pluvial (mm).

Já o ambiente 4, as características CEVSP e RG apresentaram diferença significativa ($p < 0,01$), diferenciando do ambiente 2, cujas características distintas foram: MVESP, MGV e RG. Nota-se que os plantios realizados em Paraiso do TO tiveram comportamentos distintos, podendo ser influenciado pelas condições climáticas (período de chuva).

Na tabela 1, calculou-se dois coeficientes de variação – CV (%), quantificação do erro experimental, devido ao delineamento em sub-parcela, o qual o coeficiente de variação da sub-parcela e da parcela demonstraram

confiabilidade dos dados tendo valores inferiores a 30% em sua maioria, sendo que apenas dois superiores a 30% (30,18 e 35,47) para a característica MGV para o ambiente 3 e 4, entre os valores de coeficientes de variação. Observou-se que os milhos cultivados em Paraíso do TO tiveram um CV maior devido a maior diferença entre os grãos, desde o comprimento médio de espiga verde sem palha até o rendimento e segundo Fritsche-Neto et al. (2012), a classificação do CV para os experimentos com cultivo de milho varia depende das características avaliadas no estudo.

Na tabela 2 compara-se os valores médias da massa verde de espiga sem palha – g para as cultivares (C1, C2 e C3 = milho verde e C4 = milho doce) nos 4 ambientes com os 2 níveis de adubação de cobertura (40 e 120 kg.ha⁻¹).

Tabela 2. Comparação dos valores médios da massa verde de espiga sem palha (g), para as cultivares de milho verde e milho doce para os 4 ambientes

MVESP (g)	Ambiente 1			Ambiente 2			Ambiente 3			Ambiente 4		
	Cultivar	40N	120N	Média*	40N	120N	Média*	40N	120N	Média*	40N	120N
C1	194	220	207 ^a	107	137	122 ^b	127	178	153 ^a	126	166	146 ^a
C3	165	207	186 ^b	131	190	160 ^a	151	162	156 ^a	161	175	167 ^a
C4	181	217	199 ^a	103	154	128 ^b	143	165	154 ^a	120	166	143 ^a
C2	128	157	143 ^c	88	90	89 ^c	96	141	119 ^b	99	101	100 ^b
Média**	167A	200A	184,1	107A	143A	125	129A	161A	145	126A	152A	139

**Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de *Scott-Knott*, ao nível de 0,05 de probabilidade. *Letras minúsculas para a comparação na coluna (entre cultivares) e **letras maiúsculas para comparação entre os níveis de adubação de cobertura na mesma característica (ambiente).

Fonte: Autores.

Na tabela 2, observa-se que em todos os ambientes não houve diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de *Scott-Knott*, na massa da espiga sem palha associada a adubação de cobertura (40 e 120 kg.ha⁻¹).

No ambiente 1, observou-se que o milho doce se assemelhou da cultivar C1, com os valores médios da massa verde de espiga sem palha entre 199g e 207g. E no ambiente 2, a cultivar C3 obteve um maior valor do MVESP quando comparado com as demais, sendo que esta característica pode contribuir para a produtividade do milho verde. Para os ambientes 3 e 4 as cultivares C1, C3 e C4 apresentaram semelhança para a massa da espiga sem palha, mostrando que o cultivo de milho doce se assemelhou do milho verde nas cidades de Palmas – TO e Paraíso – TO. Já a cultivar de milho verde C2 obteve os valores médios de MVESP inferiores em todos os ambientes avaliados.

Segundo Perfeito et al. (2017), o milho doce cultivado sob irrigação em Urutaí – GO obteve a massa das espigas sem palha de 218 g a 242 g; já os resultados do milho doce (C4) produzido neste experimento no ambiente 1 – Palmas TO foi um peso médio de 199 g.

O peso médio da massa verde da espiga sem palha da C1 no ambiente 1 (tabela 2) foi de 207 g, assemelhando-se dos dados obtidos para os milhos verdes cultivados em Goiás, com peso das espigas sem palha de 200 g a 254 g (Couto et al., 2017), indicando-se a possibilidade da produção de milho verde no Tocantins com rendimento de MVESP semelhante ao produzido no estado de Goiás.

Na tabela 3 compara-se os valores médias do comprimento da espiga verde sem palha – cm para as cultivares (C1, C2 e C3 e C4) nos 4 ambientes com os 2 níveis de adubação de cobertura.

Tabela 3. Comparação dos valores médios do comprimento da espiga verde sem palha – cm, para as cultivares de milho verde e milho doce para os 4 ambientes

CEVSP (cm)	Ambiente 1			Ambiente 2			Ambiente 3			Ambiente 4			
	Cultivar	40N	120N	Média*									
C1		15,6	16,5	16,0 ^a	15,5	16,0	16,0 ^a	15,5	14,8	15,0 ^a	15	15,1	15,2 ^a
C3		15,1	15,6	15,4 ^a	14,0	14,5	14,3 ^b	12,2	15,2	14,0 ^b	14,5	14,3	14,4 ^a
C4		13,0	13,8	13,4 ^a	10,0	13,0	12,0 ^c	13,0	12,5	13,0 ^c	13,7	13,2	13,5 ^b
C2		13,8	15,0	14,4 ^a	12,0	13,2	13,0 ^c	11,8	12,2	12,0 ^c	10,9	9,9	10,4 ^c
Média**		14,0A	15,0A	14,8	13,0A	14,2A	14	13,1A	13,7A	13	13,5A	13,0A	13,3

**Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de *Scott-Knott*, ao nível de 0,05 de probabilidade. *Letras minúsculas para a comparação na coluna (entre cultivares) e **letras maiúsculas para comparação entre os níveis de adubação de cobertura na mesma característica (ambiente).

Fonte: Autores.

Na tabela 3, observa-se que não houve diferença significativa ($p < 0,05$), pelo teste de *Scott-Knott*, entre os comprimentos médios da espiga verde sem palha para os diferentes níveis de adubação de cobertura em todos ambientes. No ambiente 1 as 4 cultivares não obtiveram diferenças significativas, com comprimento médio de 14,8 cm. No ambiente 2 e 3, a cultivar C1 apresentou o maior valor médio em relação as demais, com 16 cm e 15 cm de comprimento, respectivamente.

Segundo De Lima et al. (2019), o comprimento de espiga cultivados em Jataí – GO não apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre as cultivares de milho verde, tendo comprimentos médios de 16,57 cm, o qual assemelha-se com os comprimentos médios obtidos para a C1 no ambiente 1 e 2, com valores médios de 16 cm. Esta característica tem uma relevância comercial, pois segundo Paiva Junior et al. (2001), o milho *in natura* verde comercializado em bandejas deve ter um comprimento da espiga sem palha maior de 15 cm e de diâmetro superior a 4 cm. Segundo Regitano-d'arce, Fillet Spoto & Castellucci (2015) o milho doce é comumente aplicado na comercialização de enlatados, não há indicação de comprimento da espiga do milho doce para a venda em bandejas. Mas o diâmetro da espiga pode influenciar o rendimento dos grãos, contribuindo para a maior produção.

Na tabela 4 demonstra os valores médios do diâmetro da espiga verde sem palha - cm, para as cultivares (C1, C2 e C3 e C4) nos 4 ambientes com os 2 níveis de adubação de cobertura.

Conforme a tabela 4, notou-se que não há diferença significativa ($p < 0,05$), pelo teste de *Scott-Knott*, para os diferentes níveis de adubação. Nos ambientes 2 e 4 também não se identificou diferença entre os diâmetros médios para as 4 cultivares de milho, mesmo sendo plantios realizados em Paraíso do TO em períodos distintos, as condições climáticas não influenciaram no DEVSP. Já para o ambiente 1, as cultivares de milho verde C1 e C3 apresentaram semelhança em relação a este diâmetro médio. E no ambiente 3 a cultivar C3 apresentou maior diâmetro e o milho doce assemelhou-se com as demais cultivares, com diâmetro médio de 4,4cm.

Tabela 4. Comparação dos valores médios do diâmetro da espiga verde sem palha - cm, para as cultivares de milho verde e milho doce para os 4 ambientes

DEVSP (mm)	Ambiente 1			Ambiente 2			Ambiente 3			Ambiente 4			
	Cultivar	40N	120N	Média*									
C1		4,7	5,0	5,0 ^a	3,8	4,3	4,0 ^a	4,6	4,7	4,7 ^b	4,4	4,7	4,5 ^a
C3		4,7	5,0	4,8 ^a	4,2	4,2	4,2 ^a	5,1	5,3	5,2 ^a	4,8	4,8	4,8 ^a
C4		4,2	4,6	4,4 ^b	3,5	4,3	4,0 ^a	4,3	4,5	4,4 ^b	4,0	4,4	4,1 ^a
C2		4,4	4,5	4,5 ^b	3,6	4,2	3,8 ^a	4,6	3,9	4,2 ^b	4,4	4,4	4,4 ^a
Média**		4,5A	4,8A	4,6	3,8A	4,2A	4	4,7A	4,6A	4,6	4,4A	4,6A	4,4

**Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de *Scott-Knott*, ao nível de 0,05 de probabilidade. *Letras minúsculas para a comparação na coluna (entre cultivares) e **letras maiúsculas para comparação entre os níveis de adubação de cobertura na mesma característica (ambiente).

Fonte: Autores.

Segundo de Lima et al. (2019), não houve diferença significativa ($p < 0,05$) para o diâmetro das espigas sem palha de milho verde com valores médios entre 4,26 e 4,55 cm. Já a cultivar C1 e C3, no ambiente 1, obtiveram diâmetro médio entre 4,8 e 5 cm. Desta forma observou-se que os plantios realizados em Palmas – TO apresentaram resultados superiores e as condições climáticas não influenciaram significativamente no DEVSP, esta característica contribui para um maior rendimento na produção, demonstrando a possibilidade de cultivar o milho verde no Tocantins em períodos distintos de plantio.

O milho doce cultivado em Urutaí – GO obteve um diâmetro médio que variou entre 4,35 e 4,70 cm (Perfeito et al., 2017), assemelhando-se com os resultados obtidos pela C4 nos ambientes 1 e 3, com 4,4 cm para ambos os ambientes.

Na tabela 5 apresenta os valores médios da massa verde dos grãos de 1 espiga /planta – g, para as cultivares (C1, C2 e C3 = milho verde e C4 = milho doce) nos 4 ambientes com os 2 níveis de adubação de cobertura (40 e 120 kg.ha⁻¹).

Na tabela 5 verificou-se que no ambiente 1, a C1 teve a maior massa de grãos em relação as demais cultivares, já no ambiente 3 a cultivar 3 se destacou com 119 g de massa de grãos. Os ambientes 2 e 4, o milho doce apresentou semelhança ($p < 0,05$), pelo teste de *Scott-Knott*, na massa dos grãos quando comparado com as cultivares de milho verde (C1 e C3), sendo de 60 e 71 g de massa dos grãos, para os respectivos ambientes. Desta forma observou-se que a possibilidade de se produzir milho doce no estado do Tocantins, pois apresentou massa verde dos grãos semelhante em alguns ambientes.

Em todos os ambientes a massa dos grãos do C2 possuiu valores médios inferiores quando comparado com as demais cultivares, sendo que esta cultivar de milho verde não se adaptou em nenhum dos ambientes, fatores que podem ser influenciados pelo genótipo da semente, condições climáticas entre outros.

Tabela 5. Comparação dos valores médios da massa verde dos grãos da espiga– g, para as cultivares de milho verde e milho doce para os 4 ambientes.

MG1PL (g)	Ambiente 1			Ambiente 2			Ambiente 3			Ambiente 4		
	Cultivar	40N	120N	Média*	40N	120N	Média*	40N	120N	Média*	40N	120N
C1	102	120	111 ^a	52	70	61 ^a	66	100	83 ^b	61	102	82 ^a
C3	83	110	97 ^b	68	74	71 ^a	116	123	119 ^a	87	94	91 ^a
C4	86	98	92 ^b	40	80	60 ^a	88	93	90 ^b	57	85	71 ^a
C2	49	65	57 ^c	27	36	31 ^b	56	56	56 ^c	37	34	35 ^b
Média**	80A	98A	89	47A	65A	56	81A	93A	87	61A	79A	70

**Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de *Scott-Knott*, ao nível de 0,05 de probabilidade. *Letras minúsculas para a comparação na coluna (entre cultivares) e **letras maiúsculas para comparação entre os níveis de adubação de cobertura na mesma característica (ambiente).

Fonte: Autores.

Na tabela 6 apresenta os valores médios do rendimento dos grãos em %, para as C1, C2, C3 e C4 nos 4 ambientes com os 2 níveis de adubação de cobertura.

Na tabela 6, os rendimentos de grãos verdes da cultivar C4 foram semelhantes ($p < 0,05$), pelo teste de *Scott-Knott*, com as cultivares C1 e C3 nos ambientes 2 e 4. Já nos ambientes 1 a cultivar C1 assemelhou-se com a cultivar C3, e no ambiente 3 a cultivar C3 teve um maior rendimento de 77%. Observa-se que o milho doce cultivado em Palmas - TO apresentou um rendimento de grãos verdes de 60 %, semelhante a C1, desta forma nota-se que mesmo em condições climáticas distintas e genótipos de milho diferentes, o milho doce apresentou um rendimento significativo, possibilitando o estudo do cultivo de milho doce na Região Norte do Brasil.

De acordo com Gundim et al. (2019), para o experimento realizado com milhos verdes produzidos no Acre, plantio com espaçamento de 0,75 m e 1 m de comprimento, obtiveram um rendimento médio dos grãos leitosos de aproximadamente 70%, sendo que as cultivares C1 e C3 alcançaram médias superiores (54% e 77%) para o ambiente 3.

Segundo Cruz (2014) o rendimento de grãos para o milho doce cultivado com irrigação não obteve diferença significativa ($p < 0,05$) em relação as doses e formas de parcelamento de N, porém a massa de grãos apresentou correlação positiva com a massa das espigas, promovendo alteração semelhante entre a quantidade da massa de grãos e com a massa das espigas. Neste estudo para as doses de zero a 300 kg.ha⁻¹ de N, o rendimento de grãos variou de 47,1 a 56,9%, assemelhando-se com os resultados obtidos para o milho doce cultivada nos ambientes 4 ambientes, cujos valores médios do rendimento dos grãos variaram entre 46 a 60 %.

Tabela 6. Comparação dos valores médios do rendimento dos grãos verdes - %, para as cultivares de milho verde e milho doce para os 4 ambientes

RG (%)	Ambiente 1			Ambiente 2			Ambiente 3			Ambiente 4		
	Cultivar	40N	120N	Média*	40N	120N	Média*	40N	120N	Média*	40N	120N
C1	52	55	53 ^a	47	51	49 ^a	52	56	54 ^b	47	61	54 ^a
C3	51	53	51 ^a	51	42	47 ^a	76	77	77 ^a	53	53	53 ^a
C4	48	45	46 ^b	40	52	46 ^a	63	57	60 ^b	47	51	49 ^a
C2	38	41	40 ^c	30	38	34 ^b	58	40	49 ^b	38	33	35 ^b
Média**	47A	49A	48	42A	46A	44	62A	57A	60	46A	49A	48

**Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de *Scott-Knott*, ao nível de 0,05 de probabilidade. *Letras minúsculas para a comparação na coluna (entre cultivares) e **letras maiúsculas para comparação entre os níveis de adubação de cobertura na mesma característica (ambiente).

Fonte: Autores.

Avaliar o rendimento médio dos grãos de milho é um parâmetro importante para o processo produtivo, pois a escolha de uma determinada cultivar pode contribuir para a maior rentabilidade econômica no processamento industrial.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo possibilitou a comparação dos rendimentos das cultivares de milho verde e milho doce, cultivados em Palmas – TO e Paraíso do TO, para o consumo *in natura*, observou-se que as características físicas de comprimento, diâmetro, massa das espigas sem palha e massa dos grãos podem ser influenciadas pelos diferentes ambientes, épocas de semeadura e fatores genótipos das cultivares do milho.

Desta forma foi importante realizar este levantamento agrônomo do milho verde e do milho doce “*in natura*”, pois possibilitou a avaliação e comparação das características do milho doce cultivado no Estado do Tocantins.

Como sugestão para trabalhos futuros seria proposto avaliar mais uma cultivar de milho doce e inserir adubação de nitrogênio em dosagens distintas.

REFERÊNCIAS

- Companhia Nacional de Abastecimento. (2020). *Acompanhamento da Safra Brasileira: 8º Levantamento de grãos*. SAFRA 2020. Brasília: CONAB, 2020.
- Couto, C.A., et al. (2017). Desempenho de Cultivares de Milho Destinados para Produção de Milho Verde e Silagem. *Journal of Social, Technological and Environmental Science*. <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2017v6i1.p232-251>.
- Cruz, C.A. (2014). *Produtividade e rendimento industrial do milho doce irrigado em função de dose e parcelamento de nitrogênio*. 68 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.
- de Lima, N.G., et al. (2019). Avaliação de cultivares de milho para consumo *in natura* em Jataí – GO. Caderno de ciências agrárias. *Agrarian Sciences Journal*. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2016). *Época de plantio e cultivares de milho safrinha no Tocantins*. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura.
- Fritsche-neto, R., et al. (2012). Updating the ranking of the coefficients of variation from maize experiments. *Acta Scientiarum*, Maringá. doi: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v34i1.13115>.

- Gil, A.C. (1994). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (4 ed.). São Paulo, SP: Atlas.
- Giordano, D., et al. (2018). Influence of Agricultural Management on Phytochemicals of Colored Corn Genotypes (*Zea mays* L.). Part 1: Nitrogen Fertilization. *J. Agric. Food Chem.*
- Gundim, A.S. (2019). Produtividade do milho verde irrigado por gotejamento na amazônia ocidental. *Enciclopédia biosfera*. doi: http://dx.doi.org/10.18677/EnciBio_2019A110.
- Martin, T.N., et al. (2011). Perfil do manejo da cultura de milho no sudoeste do Paraná. *Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2011000100001>.
- Nascimento, F.N. (2017). Desempenho da produtividade de espigas de milho verde sob diferentes regimes hídricos. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477>.
- Paiva Junior, M.C., et al. (2001). Desempenho de cultivares para a produção de milho verde em diferentes épocas e densidades de semeadura em Lavras – MG. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras.
- Perfeito, D.G.A., et al. (2017). Caracterização pós-colheita de milho doce submetido ao parcelamento de fertirrigação nitrogenada. *Braz. J. Food Technol.* Campinas. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.14016>.
- Regitano-d'arce, M.A.B., Fillet Spoto, M.H., & Castellucci, A.C.L. (2015). Processamento e industrialização do milho para alimentação humana. *Visão agrícola*.
- Santos, D.S. (2018). Composição centesimal de milho Crioulo coletado em localidades do estado da Paraíba. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v13i3.5628>.
- Xiaotong, G., et al. (2018). Genetic Engineering of Maize (*Zea mays* L.) with Improved Grain Nutrients. *J. Agric. Food Chem.* doi: [10.1021/acs.jafc.7b05390](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05390).

CAPÍTULO 2

Modelagem da Cinética de Hidratação do Milho Verde e Doce para Consumo Humano

RESUMO

O milho (*Zea mays L.*) se destaca como sendo um dos principais grãos cultivados em todo o mundo. O milho doce (*Zea mays* subsp. *saccharata*) pertencente à família das Poáceas ou Gramínea e difere-se do milho verde “comum” devido aos genes mutantes que afetam a biossíntese de carboidratos, contribuindo para um grão de altos teores de açúcares e pouco amido. Este trabalho teve como objetivo estudar a cinética de hidratação do milho e verde doce por meio da modelagem matemática e da Rede Neural Artificial para fins de produção de conserva alimentícia. Para a realização deste estudo foram semeados três cultivares de milho verde (C1, C2 e C3) e uma cultivar de milho doce (C4) no Centro Agrotecnológico da Universidade Federal do Tocantins – UFT e no Instituto Federal do Tocantins – IFTO. As amostras foram quantificadas em relação: teor de umidade, proteína, lipídios, cinzas, carboidrato e fibras. Foram colhidas espigas no estágio de milho verde com umidade dos grãos entre 70 a 80%, sendo que os grãos de milho verde e milho doce foram embebidos em água destilada, na proporção de 1/6 e destinados ao banho-maria, a temperaturas de 25, 35, 45, 55 e 65 °C por até 70 minutos. O ajuste matemático foi realizado no *Software MatLab* para os modelos matemáticos de PELEG, PAGE, Weibull, Ibarz *et al.* e Henderson e Pabis e para o desenvolvimento da Rede Neural Artificial utilizou o *Software SPSS*. Os teores médios de cinzas, umidade, carboidrato, fibras, lipídeos e proteína das cultivares de milho verde e doce apresentaram valores superiores para o nível de adubação de 120N. Também foi possível observar que a C4 apresentou o maior teor médio de cinzas, fibras, lipídeos e proteína em relação as demais cultivares, já a C3 apresentou o maior teor de umidade. A C2 apresentou valor superior de carboidrato igual a 14,91%. Em relação a modelagem matemática, o coeficiente de determinação R^2 para a C1 apresentou o melhor ajuste para o modelo de Ibarz *et al.* a 25°C. Para a C2 o melhor modelo matemático foi o de Ibarz *et al.* para as temperaturas de 25°C e modelo de PELEG para a temperaturas de 45 °C. Os resultados obtidos para a C3 e C4, assemelham-se com a C1, pois também teve o melhor modelo o Ibarz *et al.* Com o desenvolvimento da Rede Neural Artificial observou que a C1 teve o menor valor de SE e a C3 apresentou semelhança com a C4, estes valores de SE correspondem a distância média entre os valores experimentais da absorção do teor de água e a linha de ajuste do modelo da RNA prevista. Todos os R^2 encontrados na RNA apresentaram valores acima de 0,90, indicando que 90% das variáveis estudadas para o teor de absorção foram explicadas pelas variáveis tempo e temperatura, também observou linearidade entre os valores de absorção e valor previsto da modelagem. Desta forma conclui-se que o milho verde “comum” conseguiu manter os padrões de qualidade relacionados a absorção de água, assemelhando-se ao milho doce, possibilitando assim a utilização destes grãos no processamento de conservas alimentícias.

Palavras-chave: *Zea mays*; Modelagem Matemática; Redes Neurais Artificiais; Conserva Alimentícia.

Modeling of the Hydration Kinetics of Green and Sweet Corn for Human Consumption

ABSTRACT

Corn (*Zea mays* L.) stands out as one of the main grains cultivated worldwide. Sweet corn (*Zea mays* subsp. *saccharata*) belongs to the Poaceae or Gramineae family and differs from "common" green corn because of mutant genes affecting carbohydrate biosynthesis, contributing to a grain with high contents of sugars and little starch. This work aimed to study the hydration kinetics of corn and sweet green by means of mathematical modeling and Artificial Neural Network for the purpose of canned food production. To carry out this study, three cultivars of green corn (C1, C2 and C3) and one cultivar of sweet corn (C4) were sown in the Agrotechnology Center of the Federal University of Tocantins - UFT and in the Federal Institute of Tocantins - IFTO. The samples were quantified in relation to: moisture, protein, lipids, ashes, carbohydrate and fiber content. The ears were harvested in the green corn stage with grain humidity between 70 and 80%, and the green and sweet corn grains were soaked in distilled water, in the proportion of 1/6 and sent to the double boiler, at temperatures of 25, 35, 45, 55 and 65 °C for up to 70 minutes. The mathematical adjustment was performed in the MatLab Software for the mathematical models of PELEG, PAGE, Weibull, Ibarz et al. and Henderson and Pabis and for the development of the Artificial Neural Network the SPSS Software was used. The average contents of ash, moisture, carbohydrate, fiber, lipids and protein of the green and sweet corn cultivars showed higher values for the 120N fertilization level. It was also possible to observe that C4 presented the highest average content of ash, fiber, lipids and protein in relation to the other cultivars, while C3 presented the highest moisture content. C2 presented a higher value of carbohydrate equal to 14.91%. Regarding the mathematical modeling, the coefficient of determination R² for C1 showed the best fit to the model of Ibarz et al at 25°C. For C2 the best mathematical model was that of Ibarz et al at 25°C and the PELEG model at 45°C. The results obtained for C3 and C4 are similar to those obtained for C1, since the best model was also that of Ibarz et al. With the development of the Artificial Neural Network it was observed that C1 had the lowest SE value and C3 was similar to C4. These SE values correspond to the average distance between the experimental values of water content absorption and the line of adjustment of the predicted ANN model. All R² found in the ANN presented values above 0.90, indicating that 90% of the variables studied for the water content absorption were explained by the variables time and temperature, also observed linearity between the absorption values and predicted value of the modeling. In this way it is concluded that the green corn "common" was able to maintain the quality standards related to water absorption, resembling sweet corn, thus enabling the use of these grains in the processing of canned food.

Keywords: *Zea mays*; Mathematical Modeling; Artificial Neural Networks; Canned Food.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) é uma planta da família Poaceae ou Gramínea, tem grande porção um grão cultivado em mundo e esta presente na alimentação básica de muitas pessoas. O milho doce (*Zea mays* subsp. *saccharata*) é comumente cultivado para o processamento industrial e com poucos relatos quanto ao consumo humano “*in natura*”. Esta cultivar de milho difere do milho verde “comum” devido aos genes mutantes que afetam a biossíntese de carboidratos, contribuindo para um grão de altos teores de açúcares e pouco amido (KWIATKOWSKI, 2007).

Considera-se milho verde “comum” e milho doce, as espigas consumidas ainda frescas “*in natura*”, colhidas com umidade entre 70 a 80%. O milho verde “comum” apresenta uma conversão parcial do açúcar em amido, sendo utilizado na produção de pamonha, bolos entre outros e com poucos estudos evidenciando a aplicabilidade desta cultivar em conservas alimentícias (LUZ *et al.*, 2014). Já o milho doce (*Zea mays* subsp. *saccharata*) é classificado como olerícola devido ao alto valor agregado, pois pode ser comercializado em conserva ou enlatado (processamento industrial), desidratado ou consumido “*in natura*”, como *baby corn* ou minimilho.

Segundo ANVISA (2002), define-se como hortaliça em conserva os alimentos preparados, como por exemplo sementes de milho, cujas partes comestíveis são envasadas/enlatadas cruas, reidratadas ou pré-cozidas, imersas em líquido de cobertura (salmoura, solução ácida) para manter o pH adequado, submetidas ao tratamento térmico (esterilização) para evitar alteração sensorial e microbiológica.

Para se avaliar o comportamento dos grãos de milho no processo de hidratação, imersão em meio líquido, muitos estudos estão sendo realizados para verificar a influência das diferentes temperaturas sobre as taxas absorção de água (IBIAPINA *et al.*, 2019). Entre as ferramentas utilizadas para estudar a cinética de hidratação há os modelos matemáticos de PELEG, PAGE, Weibull, Ibarz *et al.* e Henderson e Pabis e o desenvolvimento da Rede Neural Artificial, o qual permitem a otimização do processo de absorção de água e manutenção do padrão de qualidade, pois este teor de absorção afeta os processos posteriores, tais como a cocção, e consecutivamente a qualidade do produto final (BALBINOTIA, JORGE e JORGE, 2018; TURKAN, SAYAR e GUNASEKARAN, 2002).

As Redes Neurais Artificiais (RNA) também são ferramentas de modelagem de dados não lineares que utilizam diferentes camadas matemáticas para associar fatores e prever comportamentos. Estes modelos apresentam algumas vantagens, quando comparado com os modelos tradicionais, como a capacidade de prever vários fenômenos, a solução de problemas considerados complexos, com variáveis não rigorosamente conhecidas (KUMAR *et al.*, 2020).

Diante deste contexto, este trabalho teve como objetivo estudar a cinética de hidratação do milho e verde doce por meio da modelagem matemática e da rede neural artificial para fins de produção de conserva alimentícia.

2. METODOLOGIA

2.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO MILHO VERDE E MILHO DOCE "IN NATURA"

Para a realização deste estudo foram semeados três cultivares de milho verde e uma cultivar de milho doce no Centro Agrotecnológico da Universidade Federal do Tocantins – UFT, Campus de Palmas (220 m de altitude, 10°45' de latitude Sul e 47°14' de longitude Oeste), em solo do tipo Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico; e no Instituto Federal do Tocantins – IFTO, Campus de Paraíso (387 m de altitude, 10 °15' de latitude Sul e 48°53' de longitude Oeste), em solo do tipo Latossolo Vermelho Distrófico.

Utilizaram-se cultivares comerciais e estas foram adquiridas no comércio local. As cultivares de milho plantadas foram: C1 (milho híbrido simples, com graus dia (GD) utilizado na produção de milho verde "in natura", C2 (variedade, aplicado na produção de milho verde "in natura", C3 (híbrido triplo, utilizado na produção de milho verde "in natura") e C4 (milho doce híbrido simples), aplicado para a produção de milho em conserva e consumo "in natura".

Os atributos químicos do solo (0 a 20 cm), da área plantada, da cidade de Palmas – TO foram: pH em CaCl₂ = 5,92; V (saturação bases) = 54,02 % e CTC = 3,48; e para a área de Paraíso do Tocantins foram: pH em CaCl₂ = 6,1, V (saturação bases) = 76,43 % e CTC = 5,94; por meio destes dados realizou-se um tratamento prévio do solo, do tipo convencional, com uma gradagem e nivelamento da área. A adubação de pré-semeadura foi realizada manualmente, utilizando 400 kg ha⁻¹ de NPK de 8-28-16 + 0,3% Zn, para todos os ensaios. A semeadura foi realizada com o intuito de se obter 40.000 plantas por hectares.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com 3 repetições, sendo a parcela representada em N na adubação em dois níveis de 40 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹ e a sub-parcela representa as cultivares de milho verde e milho doce, totalizando combinações entre cultivares e nitrogênio. Cada parcela experimental foi composta por três linhas de cinco metros lineares cada, com espaçamento de 0,8 m entre linhas.

Os 4 experimentos (3 cultivares de milho verde e 1 cultivar de milho doce) foram realizados em 2 ambientes (ambiente 1 = plantio em dezembro de 2018 em Palmas – TO; ambiente 2 = plantio em dezembro de 2018 em Paraíso – TO).

A adubação em cobertura foi realizada manualmente e em dose única, nas plantas que se encontravam no estágio com quatro folhas completamente abertas, utilizaram-se níveis de 40 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio.

Para o controle fitossanitário contra as doenças, as pragas e as plantas daninhas aplicaram-se os tratos culturais, de acordo com as recomendações técnicas de cada cultura.

As amostras, em triplicata, foram quantificadas em relação: teor de umidade por secagem direta em estufa a 105°C, proteína por meio do método de Kjeldahl, lipídios por extração direta em Soxhlet, cinzas por meio da incineração dos resíduos minerais em mufla e

carboidrato por diferença, de acordo com IAL (2008). Foi determinado a quantidade de fibras em detergente neutro (FDN) segundo Nogueira e Souza (2005).

Os resultados médios da caracterização química dos cultivares de milho foram comparados pelo teste de Tukey, em nível de 5 % de probabilidade ($p < 0,05$).

2.2. HIDRATAÇÃO DOS GRÃOS DE MILHO

Para a realização deste estudo foram utilizados grãos de três cultivares de milho verde e uma cultivar de milho doce, produzidas no Centro Agrotecnológico da Universidade Federal do Tocantins – UFT, Campus de Palmas - TO (220 m de altitude, 10°45' de latitude Sul e 47°14' de longitude Oeste), em solo do tipo Latossolo Vermelho Distrófico; e no Instituto Federal do Tocantins – IFTO, Campus de Paraíso - TO (387 m de altitude, 10 °15' de latitude Sul e 48°53' de longitude Oeste), em solo do tipo Latossolo Vermelho Distrófico.

As cultivares utilizadas na hidratação foram C1 (milho híbrido simples, com grau dia (GD) utilizado na produção de milho verde "in natura"), C2 (variedade, aplicado na produção de milho verde "in natura"), C3 (híbrido triplo, utilizado na produção de milho verde "in natura") e C4 (milho doce híbrido simples).

Foram colhidas espigas no estágio de milho verde, considerado milho para consumo "*in natura*" (ponto de milho verde), com umidade dos grãos entre 70 a 80%, podendo ser aplicadas para a produção de milho em conserva e consumo "*in natura*", pois segundo Alves *et al.* (2018), a colheita das espigas é realizada quando os grãos apresentam característica leitosa, estágio R3 com 70 a 80% de teor de água.

Para a hidratação por imersão os grãos de milho verde e milho doce, foram embebidos em água destilada, na proporção de 1/6(p/v) (BAYRAM, KAYA e ÖNER, 2004), e destinados ao banho-maria, a temperaturas controladas de 25, 35, 45, 55 e 65 °C por até 70 minutos (COUTINHO, 2006). Estes ensaios foram realizados em triplicata para cada temperatura, sendo que a cada 10 minutos de imersão, os grãos eram retirados dos béqueres e colocados em papel de filtro para eliminar os excessos de água, ficando de repouso por volta de 2 min, em seguida pesados. Na sequência, os grãos retornaram à imersão, conforme descrito por Resende e Corrêa (2007). O teor de água foi calculado com base no aumento da massa das amostras em relação à massa inicial, de acordo com as pesagens realizadas a cada 10 min.

2.3. MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO

O ajuste matemático foi realizado no *Software MatLab* versão R2021a o qual possibilitou a customização das equações para os modelos matemáticos de PELEG, PAGE, Weibull, Ibarz *et al.* e Henderson e Pabis, descritos na Tabela 7.

Tabela 7. Modelos Matemáticos utilizados

Modelo Matemático	Equação (Configuração <i>Matlab</i>)	Referência
PELEG	$Y_0 + (x/(k_1 + k_2 + x))$ (Equação 1)	(PELEG, 1988)
PAGE	$\exp(k_1 * x^n)$ (Equação 2)	(PAGE, 1949)
Weibull	$\exp((x/b)^a)$ (Equação 3)	(MACHADO <i>et al.</i> , 1998)
Ibarz <i>et al.</i>	$(k_7/k_8) - ((k_7/k_8) - M_0) * \exp(-k_8 * x)$ (Equação 4)	(IBARZ, GONZÁLEZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 2004)
Henderson e Pabis	$a * \exp^k(x)$ (Equação 5)	(HENDERSON e PABIS, 1961)

Entre os modelos apresentados na Tabela 1, foi utilizados os seguintes modelos empíricos: PELEG, PAGE e Modelo de distribuição de Weibull. O modelo de PELEG é representado pela Equação (1), em que k_1 e k_2 representam as constantes do modelo (PELEG, 1988), Y_0 é teor de umidade inicial (decimal b.s.), x é o tempo de imersão (min), k_1 é a taxa constante de PELEG (min decimal b.s.⁻¹) e k_2 é a capacidade constante de PELEG, (decimal b.s.⁻¹). O modelo de PAGE é demonstrado pela Equação (2), k_1 está relacionado a taxa de absorção do procedimento e n é a constante adimensional, x é o tempo. No modelo de distribuição de Weibull, Equação (3) (WEIBULL, 1939), as constantes do modelo, a e b , representam o parâmetro de modelo (adimensional) e o parâmetro de escala (min), respectivamente (WEIBULL, 1939). Já o modelo de Ibarz *et al.* representado na Equação (4), o k_7 , k_8 e M_0 correspondem aos parâmetros do modelo, x é o tempo de imersão. Na Equação (5), para o modelo de Henderson e Pabis, o x é o tempo (min), a e k são as constantes do modelo.

Para testar a adequação dos modelos foi utilizado o coeficiente de determinação (R^2), conforme descrito por (SILVA, 2016).

2.4. MODELAGEM DE REDE NEURAL ARTIFICIAL (RNA)

Para o estudo do processo de hidratação dos grãos de milho verde e milho doce “*in natura*”, utilizaram-se as seguintes configurações para a rede neural: entrada (tempos de 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70 min e temperaturas de 25, 35, 45, 55 e 65°C), saída (teor de absorção de água), algoritmo de treinamento (backpropagation), número de neurônios na camada oculta (3 e 4) e função de ativação (TANSIG).

O software utilizado para o desenvolvimento da RNA deste estudo foi o SPSS, o qual realizou as análises através do ícone *Perception Multicamada* com as variáveis dependentes (tempo e temperatura) e a covariável (absorção), com participações de 30% para teste e 70% para treinamento e com arquitetura de rede automática produzida pelo software.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO MILHO VERDE E MILHO DOCE “IN NATURA”

As médias em porcentagem para os parâmetros físicos e químicos (teor de cinzas, umidade, carboidrato, fibras, lipídeos e proteína) dos grãos de milho verde e milho doce “*in natura*”, nos experimentos com adubação de 40 e 120 N, são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8. Médias das análises físicas e químicas do milho verde e doce “*in natura*” (C1, C2, C3 e C4) em duas adubações (40 N e 120 N)

Cultivar	Cinzas			Umidade			Carboidrato		
	40N	120N	Média*	40N	120N	Média*	40N	120N	Média*
C1	1,54% ^b	1,77% ^a	1,65%B	73,00% ^b	73,50% ^a	73,25%B	11,32% ^a	7,75% ^b	9,54%B
C2	1,49% ^b	1,58% ^a	1,53%C	70,80% ^b	71,30% ^a	71,05%C	17,33% ^a	12,49% ^b	14,91%A
C3	1,25% ^b	1,74% ^a	1,50%D	74,60% ^b	75,00% ^a	74,80%A	10,58% ^a	7,80% ^b	9,19%D
C4	1,82% ^b	2,54% ^a	2,18%A	70,50% ^a	70,00% ^b	70,25%D	10,87% ^a	7,88% ^b	9,38%C
Cultivar	Fibras			Lipídeos			Proteína		
	40N	120N	Média*	40N	120N	Média*	40N	120N	Média*
C1	3,43% ^b	3,78% ^a	3,60%B	1,53% ^b	1,63% ^a	1,58%B	9,18% ^b	11,57% ^a	10,38%B
C2	2,90% ^b	3,03% ^a	2,97%D	0,98% ^b	1,66% ^a	1,32%C	6,50% ^b	9,94% ^a	8,22%D
C3	2,46% ^b	3,59% ^a	3,02%C	1,43% ^b	1,62% ^a	1,53%B	9,68% ^b	10,25% ^a	9,97%C
C4	4,01% ^a	3,90% ^b	3,96%A	1,96% ^b	3,67% ^a	2,82%A	10,84% ^b	12,01% ^a	11,43%A

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de *Tukey*, ao nível de 0,05 de probabilidade. Sendo letras minúsculas, na mesma linha, para a comparação de uma cultivar em diferentes adubações e letras maiúsculas, na mesma coluna, para comparação a média das cultivares.

FONTE: Autor (2021).

Segundo a Tabela 8, ao comparar as médias dos parâmetros físicos e químicos, entre as cultivares de milho doce e milho verde para os diferentes níveis de adubação, observou-se diferença significativa para o nível de significância de 5%. Os teores médios de cinzas, umidade, carboidrato, fibras, lipídeos e proteína apresentaram resultados maiores quando aumentou o nível de adubação para 120N. Sendo que o nitrogênio é indispensável para a formação da proteína, e a eficiência deste processo está relacionada a uma adubação com N (nitrogênio) e K (potássio) em quantidade adequada da adubação para determinada cultivar, ambiente entre outros (CRUZ, 2014).

Também foi possível observar que a cultivar de milho doce C4 apresentou o maior teor médio de cinzas, fibras, lipídeos e proteína em relação as demais cultivares analisada, já a C3 apresentou o maior teor de umidades. Para o percentual de carboidrato encontrado nos grãos de milho, a cultivar C2 apresentou valor superior igual a 14,91%. Este resultado da C2 pode estar relacionado ao quantitativo de amido presente nos grãos, pois o amido é o principal tipo de carboidrato encontrado no milho verde. Já o milho doce contem baixo teor de amido, quando comparado com o milho verde, e elevado teor de açúcar.

Perfeito *et al.* (2017) estudaram as características pós colheita do milho doce, produzido no estado de Goiás submetido ao parcelamento de fertilização nitrogenado, obtendo-se os seguintes resultados para umidade e cinzas: entre 69,08 a 73,61% e 1,89 a 2,01 %, respectivamente. Assemelhando-se com os resultados obtidos para a cultivar C4, produzida no Tocantins, sendo que material mineral (cinzas) variou entre 1,82 e 2,54% e de umidade entre 70,05 e 70%.

Para Cruz e Pereira Filho (2002) a colheita do milho deve ocorrer quando as espigas tiverem umidade variando entre 70 e 80%, o qual foi observado para as cultivares C1, C2, C3 e C4, possibilitando um aproveitamento adequado dos grãos de milho para o processamento industrial. A quantidade de água presente nos grãos de milho verde apresenta uma relação importante quanto ao rendimento do produto processado, como por exemplo a produção de pamonha, pois quanto maior a umidade, maior será a produção de polpa (LEME, 2007).

Segundo Santos (2018) os valores percentuais de proteína do milho verde produzidos na Paraíba variaram entre 7 e 14% e de lipídeos entre 2,5 a 5%, assemelhando-se com os resultados obtidos para as cultivares C1, C2 e C3, sendo de 10,38%, 8,22% e 9,97%, respectivamente. Já a quantidade de lipídeos presente nas cultivares de milho verde, apresentou inferioridade, quando comparado com Santos (2018), variou entre 1,32% e 1,58%,

A cultivar de milho doce apresentou o valor proteico de 2,82% e lipídeo de 11,43%, os quais foram superiores ao estudo realizado em Iguatemi-PR com milho doce (KWIATKOWSKI, 2007).

Segundo Mutlu, *et al.* (2018) o teor de proteína dos milhos depende do tipo de cultivar, das condições de crescimento e dos fatores ambientais do plantio. E utilização de fertilizantes e a concentração de nitrogênio no solo também são fatores importantes para o teor de proteína dos grãos (Agama-Acevedo *et al.*, 2016). Segundo Basi *et al.* (2011) o aumento das doses de N na adubação, para o plantio de milho, contribui para a elevação o teor de proteína desta cultivar.

A quantidade de fibras presente nos grãos de milho verde e doce "*in natura*" é de 2,97% a 3,96% e apresentou valores inferiores quando comparado com Santos (2018). Já o milho doce apresentou maior percentual de fibras (3,96%). Com o estudo de Batista *et al.* (2019), não foi possível identificar influencia entre a adubação nitrogenada e a digestibilidade (fibras) do milho.

O carboidrato disponível nas cultivares de milho variou de 9,18 a 14,91%, sendo considerado semelhante estatisticamente, e segundo Luz *et al.*, (2014) o percentual de carboidrato tem uma correlação entre o ponto de colheita (umidade ideal de 70 a 80%) e a maturação dos grãos, desta forma nota-se que o ponto de colheita dos milhos "*in natura*", em estudo, contribuiu para o acúmulo de açúcares nos grãos. O teor de carboidrato presente no milho doce é influenciado pelos genes mutantes que afetam a biossíntese de carboidratos, contribuindo para um grão de altos teores de açúcares e pouco amido (KWIATKOWSKI, 2007)

Lembrando-se que as características químicas e físicas dos grãos de milho é um parâmetro relevante para as propriedades de aceitação sensorial e qualidade industrial do produto (CANIATO *et al.*, 2015).

3.2. HIDRATAÇÃO DOS GRÃOS DE MILHO

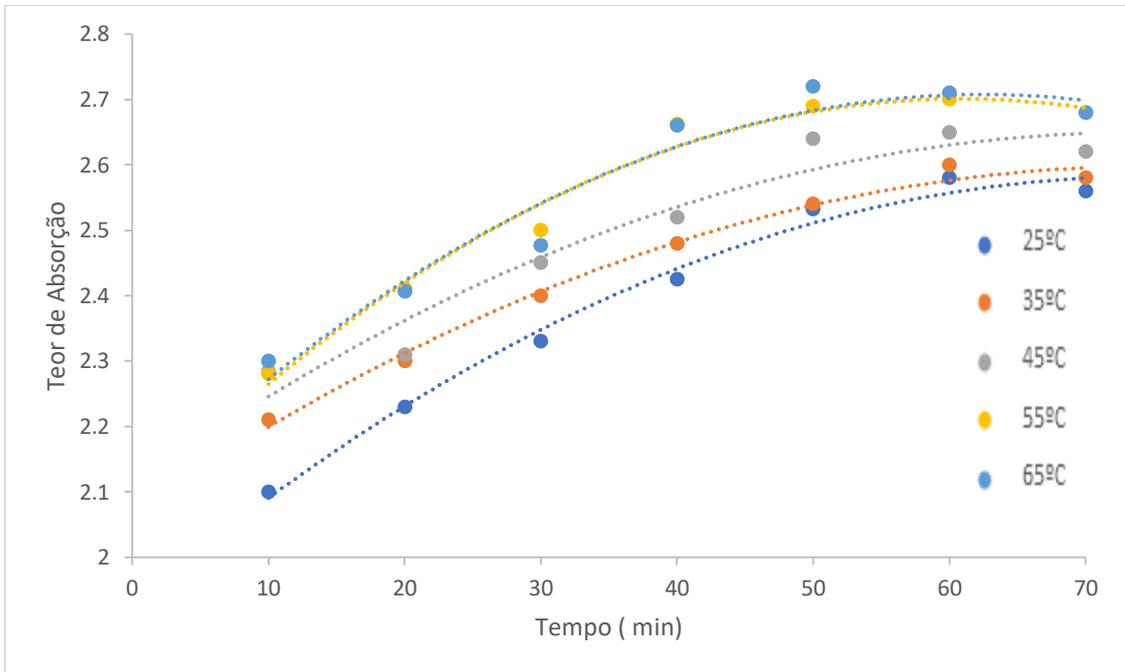
Os grãos de milho verde e milho doce submetidos ao processo de hidratação apresentaram as seguintes taxas iniciais de umidade: 73% \pm 0,68 (C1), 71% \pm 0,70 (C2), 75% \pm 0,53 (C3) e 71% \pm 0,71 (C4), devido a esta quantidade elevada de água, quando comparado com grãos secos, o processo de hidratação das cultivares de milho ocorreu em um tempo reduzido de até 70 min. Segundo Ranjbari *et al.* (2013) o tempo necessário para o processo de hidratação corresponde ao intervalo em que os grãos atingem a constância no teor de absorção de água.

As taxas de absorção de água dos grãos de milho verde e de milho doce para o consumo “*in natura*” no tempo está apresentada no Gráfico 1.

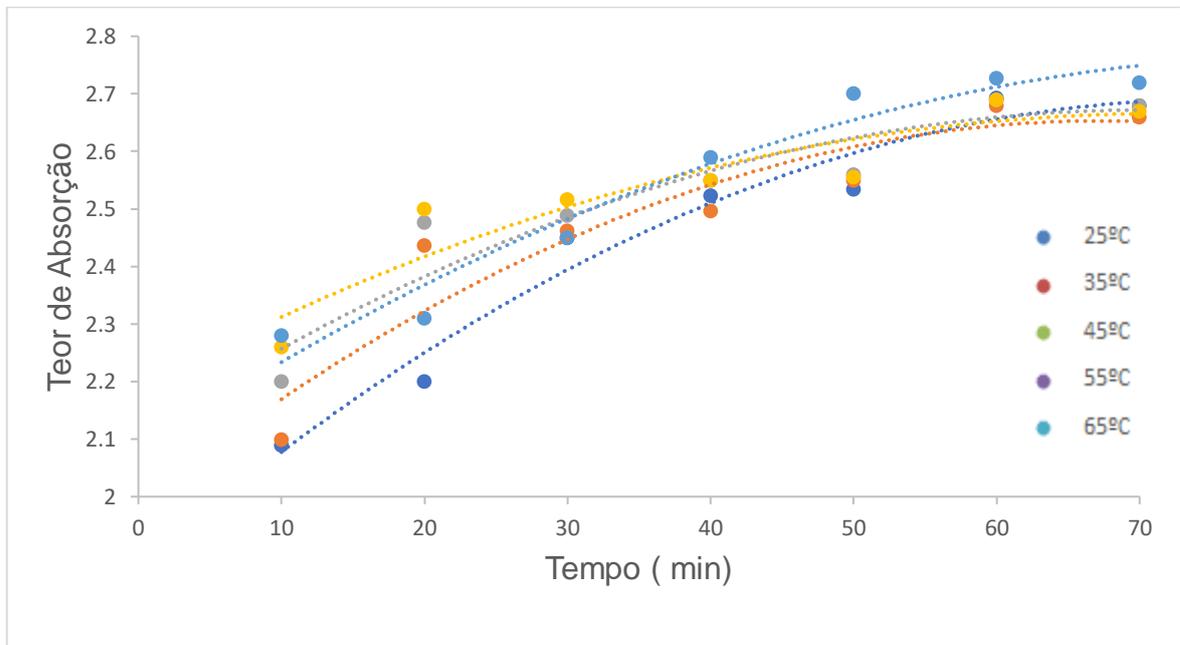
No gráfico 1, para as diferentes temperaturas (25°C, 35°C, 45°C, 55°C e 65°C) hidratação dos grãos de milho verde (a) C1, a fase de difusão predominou até os 50 min e após este período ocorreu a fase de relaxamento, assemelhando-se com a cultivar C3 e C4 ((c) e (d) respectivamente). Já para a cultivar C2, a fase de difusão predominou-se no tempo de 60 min (Gráfico 1 (b)). Segundo Kumar *et al.* (2020) a fase de difusão para o grão de bico verde ocorreu antes dos 100 min, o qual diferenciou do estudo realizado com os grãos de milho verde e doce, esta variação pode ocorrer devido ao teor de água inicial dos grãos, a diferença na estrutura dos grãos, permeabilidade à água e a espessura dos grãos.

Gráfico 1. Efeito da temperatura e do tempo de hidratação sobre o teor de umidade grãos de milho e as curvas de ajustes para os modelos matemáticos, cultivares C1 (a), C2 (b), C3 (c) e C4 (d)

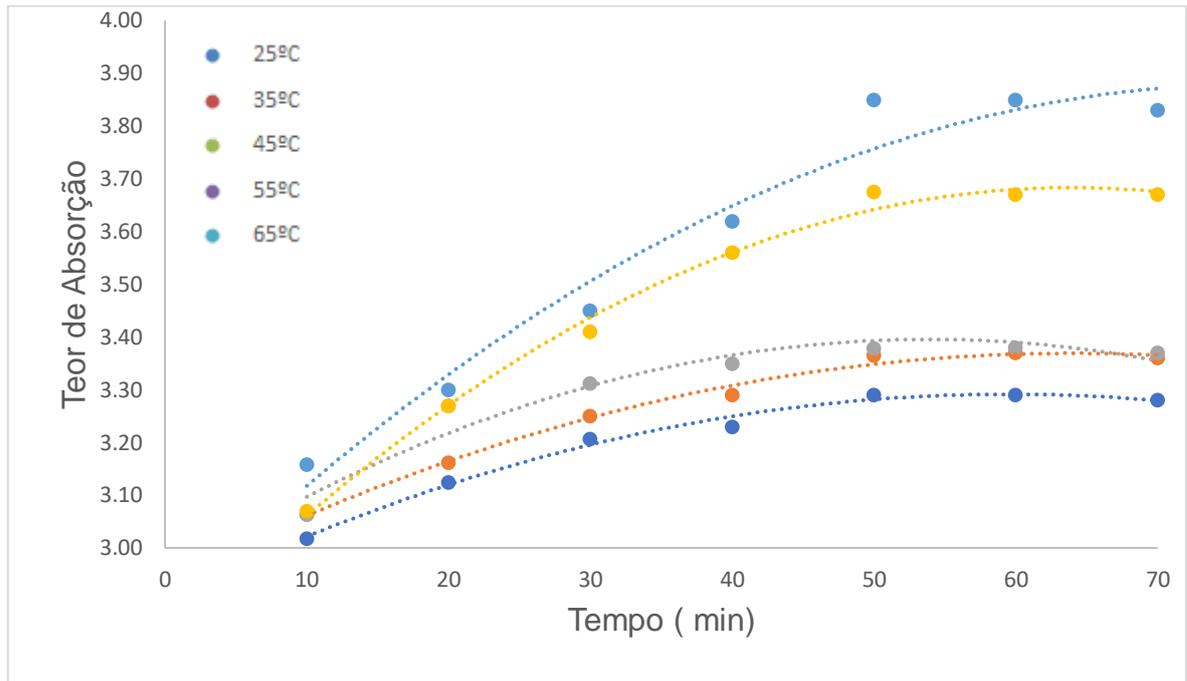
(a)



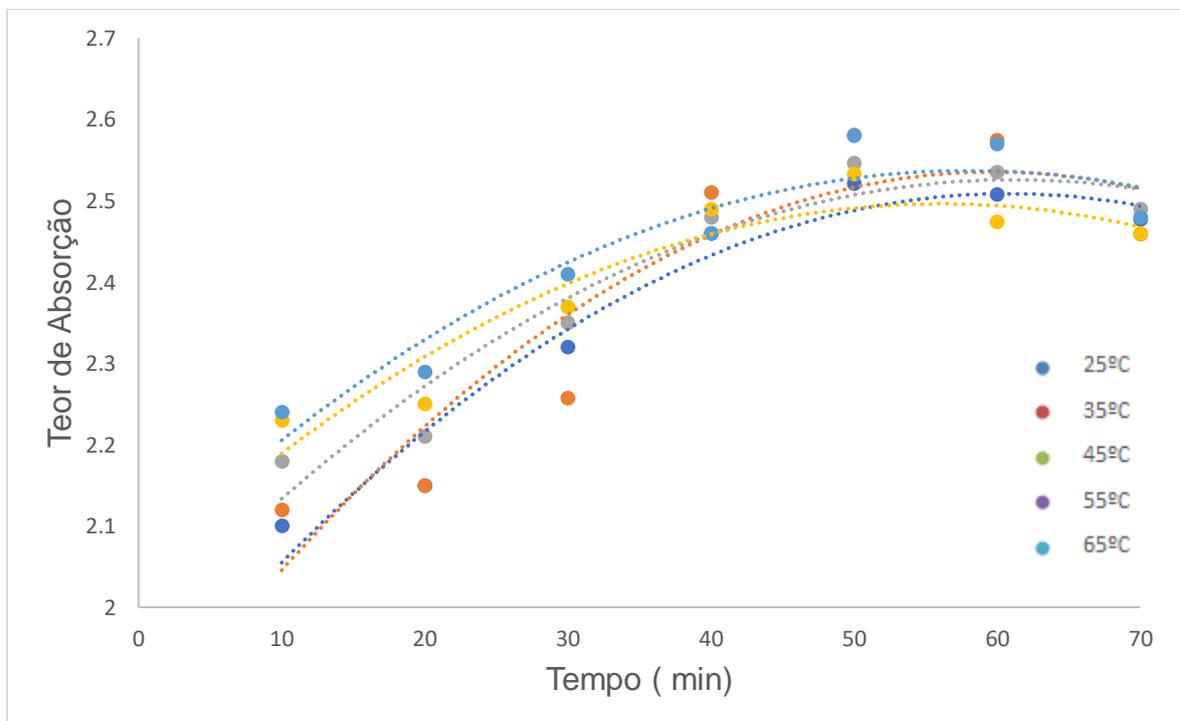
(b)



c)



(d)



Fonte: Autor, 2021.

Observa-se a ocorrência de fases durante o processo de hidratação: a etapa de difusão a qual refere-se a fase inicial com maior absorção de água, e a segunda etapa, conhecida como fase de relaxamento devido a diminuição do teor de absorção de água. O processo de hidratação observado no Gráfico 1, pode-se ter relação com a variação genética das cultivares em estudo, as condições de adubação entre outros.

Os dados experimentais obtidos na hidratação dos grãos de milho verde e milho doce “*in natura*” ajustados aos diferentes modelos matemáticos de PELEG, PAGE, Weibull, Ibarz *et al.* e Henderson e Pabis, estão representados na Tabela 9. Os coeficientes dos modelos apresentados nesta tabela demonstram a relação entre as propriedades físicas durante o processo de hidratação com as diferentes temperaturas e com os distintos tempos de hidratação.

Tabela 9 – Parâmetros da modelagem matemática durante a hidratação dos grãos de milho verde e milho doce “*in natura*”

Cultivar	Modelo	Parâmetros	Temperatura de Hidratação (°C)				
			25	35	45	55	65
C1	PELEG	Y0	1,877	2,042	2,099	1,964	2,034
		K1	16,250	26,140	26,480	10,990	14,710
		K2	15,590	26,570	27,400	11,350	15,230
		R ²	0,965	0,983	0,926	0,950	0,918
	PAGE	K2	0,542	0,621	0,644	0,656	0,657
		N	0,133	0,102	0,099	0,101	0,101
		R ²	0,977	0,978	0,913	0,933	0,906
	Weibull	A	0,133	0,102	0,099	0,101	0,101
		B	98,130	104,700	86,530	64,600	63,470
		R ²	0,977	0,978	0,913	0,933	0,906
	Ibarz et al	M0	1,903	2,049	2,112	2,015	2,064
		K7	0,071	0,070	0,064	0,113	0,098
		K8	0,026	0,026	0,023	0,041	0,035
		R ²	0,983	0,986	0,931	0,960	0,928
	Henderson e Pabis	A	2,061	2,193	2,242	2,226	2,297
K		0,505	1,101	0,058	1,930	0,682	
R ²		0,931	0,924	0,876	0,772	0,814	
C2	PELEG	Y0	1,913	1,874	1,856	1,784	2,054
		K1	14,330	10,530	8,355	4,980	17,900
		K2	14,400	10,510	7,832	5,252	18,670
		R ²	0,881	0,905	0,928	0,912	0,909
	PAGE	K2	0,508	0,585	0,643	0,686	0,603
		N	0,159	0,124	0,102	0,086	0,122

		R ²	0,957	0,906	0,915	0,896	0,929
		A	0,159	0,124	0,102	0,086	0,122
	Weibull	B	70,650	75,830	75,550	81,380	62,880
		R ²	0,957	0,906	0,915	0,896	0,929
		M0	1,826	1,739	1,941	2,040	2,086
		K7	0,079	0,146	0,130	0,131	0,054
	Ibarz et al	K8	0,028	0,055	0,048	0,049	0,018
		R ²	0,963	0,921	0,917	0,893	0,948
		A	2,078	2,182	2,259	2,310	2,217
	Henderson e Pabis	K	0,013	0,001	0,002	0,014	0,690
		R ²	0,894	0,796	0,815	0,800	0,909
		Y0	2,368	2,467	2,480	2,917	3,047
		K1	2,707	10,450	3,483	13,230	14,620
	PELEG	K2	2,998	2,879	2,872	13,280	15,030
		R ²	0,974	0,958	0,965	0,883	0,778
		K2	1,012	1,011	1,039	0,933	0,916
	PAGE	N	0,040	0,044	0,039	0,081	0,093
		R ²	0,958	0,970	0,873	0,967	0,942
		A	0,040	0,044	0,039	0,081	0,093
C3	Weibull	B	0,734	0,778	0,378	2,341	2,562
		R ²	0,958	0,970	0,873	0,967	0,942
		M0	2,822	2,891	2,573	2,724	2,866
		K7	0,167	0,132	0,322	0,144	0,093
	Ibarz et al	K8	0,051	0,039	0,096	0,038	0,022
		R ²	0,985	0,982	0,991	0,983	0,955
		A	2,956	3,069	3,137	3,091	3,055
	Henderson e Pabis	K	1,080	0,152	0,835	0,007	0,296
		R ²	0,653	0,869	0,667	0,862	0,889
		Y0	1,822	1,859	1,983	1,585	1,649
		K1	14,380	15,750	24,690	10,100	4,489
	PELEG	K2	14,330	15,730	24,880	3,356	3,858
		R ²	0,905	0,790	0,879	0,788	0,820
		K2	0,551	0,542	0,605	0,667	0,663
	PAGE	N	0,125	0,131	0,104	0,077	0,083
		R ²	0,890	0,783	0,869	0,795	0,829
		A	0,125	0,131	0,104	0,077	0,083
	Weibull	B	118,300	105,200	127,100	195,300	144,600
		R ²	0,890	0,783	0,869	0,795	0,829
		M0	1,832	1,848	1,957	2,025	2,042
	Ibarz et al	K7	0,095	0,085	0,089	0,108	0,100

	K8	0,037	0,032	0,034	0,042	0,039
	R ²	0,919	0,812	0,896	0,836	0,859
Henderson e Pabis	A	2,089	2,088	2,159	2,224	2,236
	K	0,019	0,546	0,003	0,020	0,881
	R ²	0,792	0,705	0,783	0,681	0,726

O modelo de PELEG é representado pela Equação (1), em que k_1 e k_2 representam as constantes do modelo (PELEG, 1988), Y_0 é teor de umidade inicial (decimal b.s.), x é o tempo de imersão (min), k_1 é a taxa constante de PELEG (min decimal b.s.⁻¹) e k_2 é a capacidade constante de PELEG, (decimal b.s.⁻¹). O modelo de PAGE é demonstrado pela Equação (2), k_1 está relacionado a taxa de absorção do procedimento e n é a constante adimensional, x é o tempo. No modelo de distribuição de Weibull, Equação (3) (WEIBULL, 1939), as constantes do modelo, a e b , representam o parâmetro de modelo (adimensional) e o parâmetro de escala (min), respectivamente (WEIBULL, 1939). Já o modelo de Ibarz *et al.* representado na Equação (4), o k_7 , k_8 e M_0 correspondem aos parâmetros do modelo, x é o tempo de imersão. Na Equação (5), para o modelo de Henderson e Pabis, o x é o tempo (min), a e k são as constantes do modelo.

Fonte: Autor, 2021.

Segundo a Tabela 9, o coeficiente de determinação R^2 para a cultivar C1 apresentou o melhor ajuste para o modelo de Ibarz *et al* a 35°C.

Para a C2, de acordo com o R^2 , o melhor modelo matemático foi o de Ibarz *et al* (2004) para as temperaturas de 25°C e para as temperaturas de 45 °C o melhor ajuste ocorreu com o modelo de PELEG. Os resultados obtidos para a C3 e C4, assemelham-se com a C1, pois também teve o melhor modelo matemático para Ibarz *et al*, sendo para C3 a 25°C, 35°C, 45°C, 55°C e 65°C, e para a C4 a 25°C, 35°C, 45°C, 55°C e 65°C.

Na hidratação a 45°C e 55°C para a cultivar C2, o modelo matemático de PELEG apresentou melhores ajustes, assemelhando-se com o estudo de hidratação de grãos de bico verde em altas temperaturas, realizado por Kumar *et al.* (2020).

Segundo Turhan, Sayar e Gunasekaran (2002) o coeficiente K_1 , do modelo de PELEG, está relacionado com a taxa de absorção de água, então quanto menor o coeficiente maior será a absorção. Desta forma notou-se que a cultivar C2 e C4 obtiveram uma diminuição do K_1 com o aumento da temperatura, resultando em maiores taxas de absorção de água nas temperaturas de 55°C, pois as temperaturas elevadas contribuem para o aumento da energia resultante no aumento da pressão de difusão da água e acelera a atividade metabólica dos grãos (TURHAN, SAYAR e GUNASEKARAN, 2002) (C2: valores de K_1 passou de 14,33 para 4,98 e C4: 14,38 para 10,1).

No modelo de PELEG, a constante K_2 relaciona-se com a capacidade máxima de absorção de água, logo quanto menor o valor de K_2 , menor será a absorção de água pelo grão (RESENDE e CORRÊA, 2007). Este comportamento foi observado para as cultivares C1 e C2, o qual ocorreu uma diminuição de K_2 , com o aumento da temperatura de 25 °C a 55 °C e consecutivamente uma diminuição nas taxas de absorção de água.

O parâmetro K_2 , do modelo matemático de PAGE para a cultivar C1, apresentou valores crescentes com o aumento da temperatura de hidratação, este comportamento também foi observado no estudo sobre a hidratação dos grãos de sorgo (K_2 passou de 0,655 para 0,833 nas temperaturas de 30 °C e 60 °C, respectivamente), desta forma nota-se que o K_2 está diretamente relacionado à taxa de hidratação, pois quanto maior o K_2 maior será a absorção da água, e conseqüentemente aumenta atividade celular do vegetal (SILVA, 2016). Já o parâmetro N não apresentou esta proporcionalidade, diminuiu de 25°C a 45°C, depois aumentou para a temperatura de 55° C e manteve-se constante à 65°C.

O modelo de Weibull corresponde a uma função exponencial com as constantes A e B . No presente estudo, as cultivares C1 e C2 apresentaram redução da constante B de acordo com o aumento da temperatura a partir de 35°C, esse comportamento contribuiu para a diminuição das taxas de absorção de água, devido ao ponto de equilíbrio dos grãos quanto ao teor de água presente na estrutura celular, e no estudo de Carbajal (2019) observou comportamento semelhante quanto a cinética de hidratação dos grãos de favas.

Segundo Kumar *et al.* (2020), no estudo da cinética de hidratação aplicada para os o grão de bico verde, as constantes K_7 , K_8 e M_0 (modelo Ibarz *et al.*) de não apresentaram uma relação com o aumento da temperatura, estes parâmetros relacionam-se com a combinação da temperatura e a concentração de água presente nos alimentos. Este comportamento também foi observado em todas as cultivares de milho verde e milho doce no presente estudo, pois estes grãos apresentavam umidade inicial entre 70 e 80%.

No estudo com os grãos de milho, para o modelo de Henderson e Pabis, os parâmetros A e K não apresentaram relação com o aumento de temperatura, o qual pode ser justificado devido a umidade inicial dos grãos de milho verde e milho doce “*in natura*”, a estrutura celular destes grãos entre outros fatores.

Segundo Kumar *et al.* (2020), no estudo da cinética de hidratação para os o grão de bico verde foi possível observar alterações nas características físicas tais como: dimensionamento dos grãos, podendo ser explicado pela degradação da camada superficial, causando também a desnaturação da proteína, que devido as temperaturas mais elevadas roupe a estrutura física contribuindo para a liberação da água e a compactação dos grãos.

3.4 MODELAGEM DE REDE NEURAL ARTIFICIAL (RNA)

Na Figura 6 representa-se a composição das camadas da RNA para a modelagem preditiva das cultivares de milho verde e milho doce “*in natura*” submetidos a hidratação.

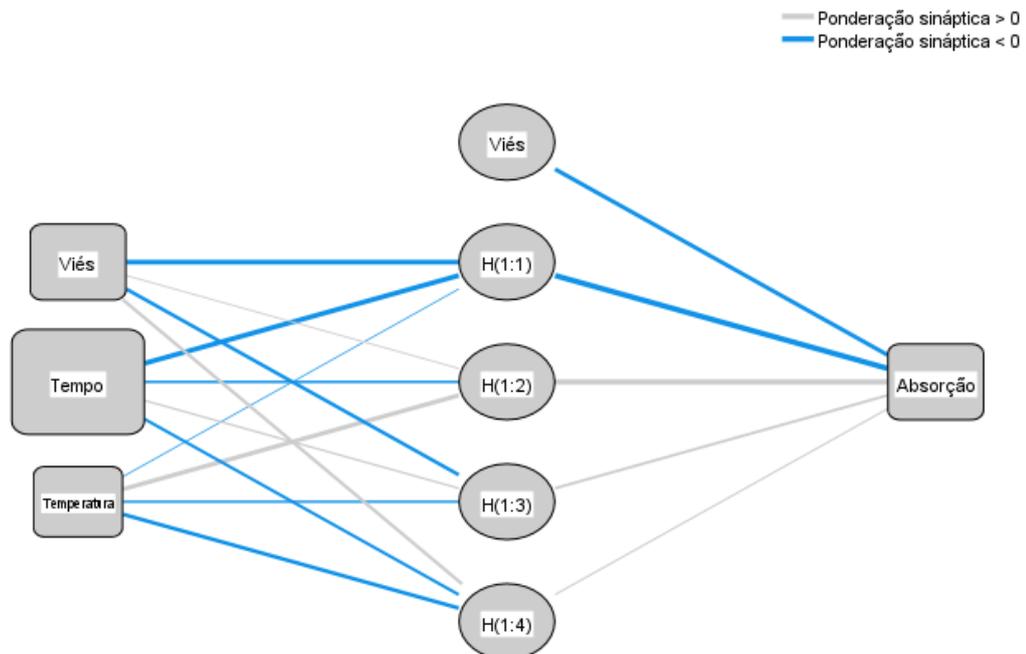
De acordo com a Figura 6, notou-se que o número de neurônios presentes nas camadas ocultas das cultivares de milho variaram, sendo 3 nós na camada oculta da C2 e C3, e 4 nós na C1 e C4, esta quantidade é ajustada pelo software SPSS para se obter uma arquitetura da rede neural com uma previsão adequada para os valores do coeficiente de determinação (R^2), do erro médio relativo (P) e do erro padrão da estimativa (SE). Observa-se, ainda, que para a

ativação das camadas ocultas foi utilizada a função tangente hiperbólica, pois segundo Kumar *et al.* (2020), este tipo de função é indicado para processos industriais de produtos alimentícios.

No gráfico 2 demonstra-se o valor previsto e real para o teor de absorção de água pelos grãos de milho verde e milho doce “*in natura*” sob o processo de cinética de hidratação.

Figura 5. Representação de infraestrutura da RNA para a modelagem preditiva das cultivares C1 (a), C2 (b), C3 (c) e C4 (d).

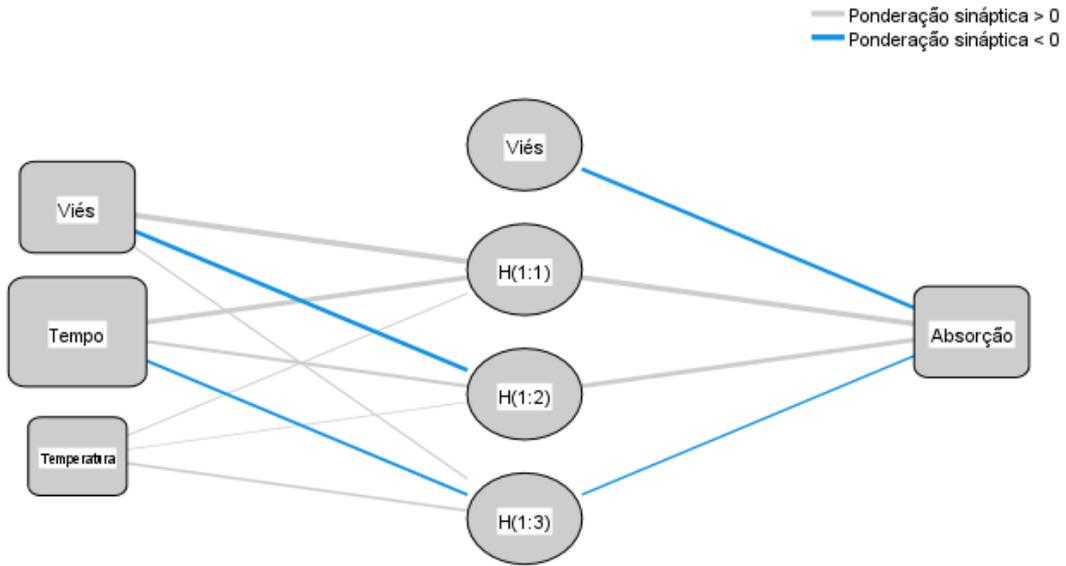
(a)



Função de ativação de camada oculta: Tangente hiperbólica

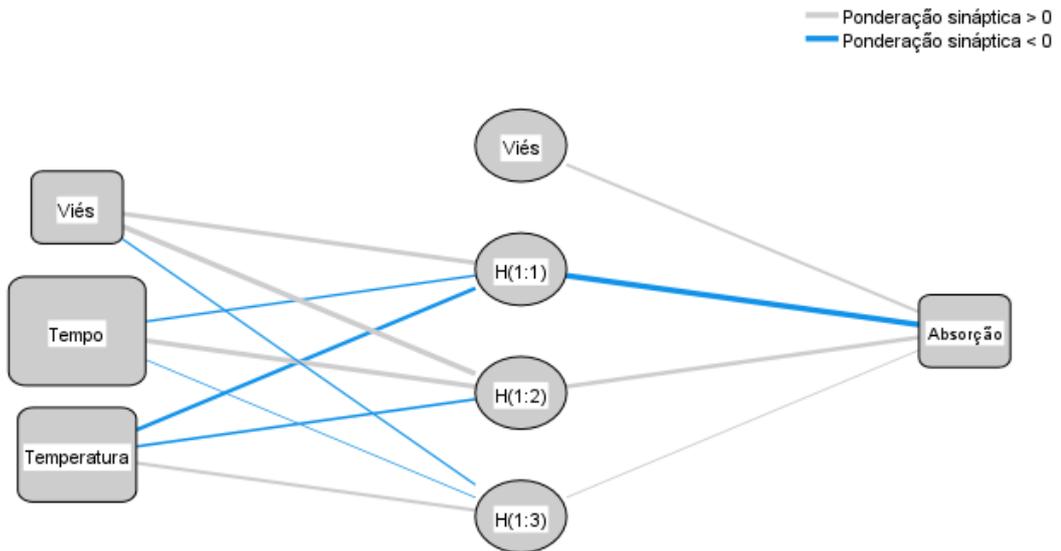
Função de ativação de camada de saída: Identidade

(b)



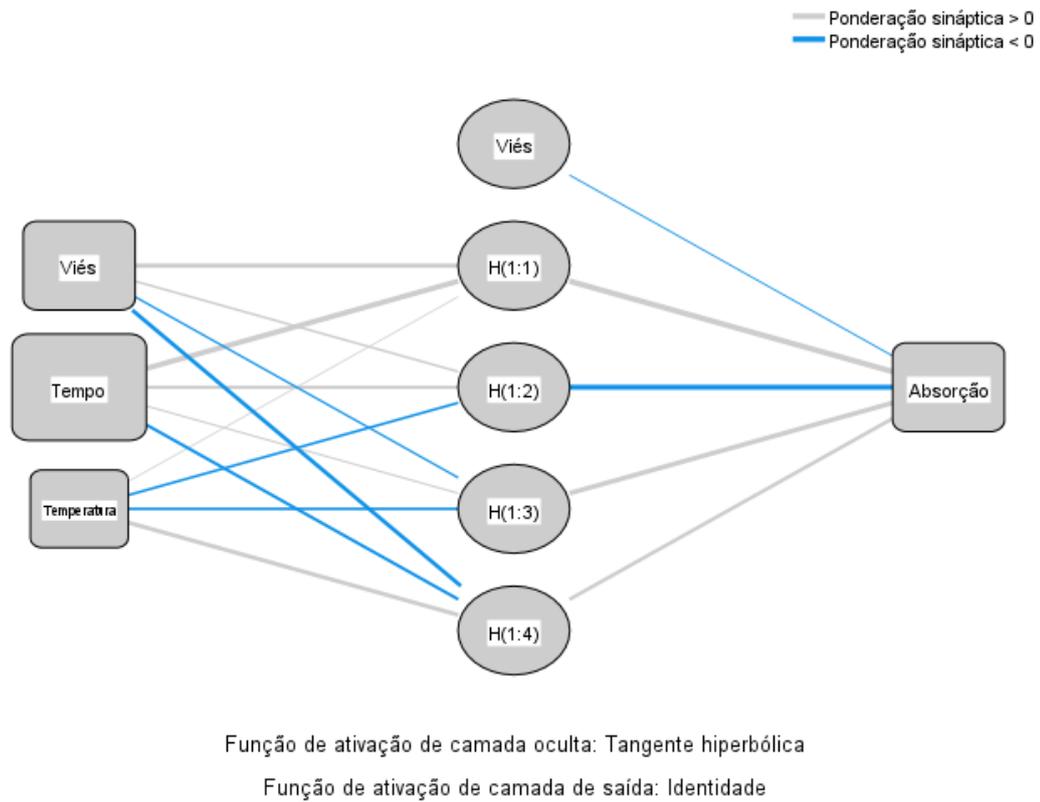
Função de ativação de camada oculta: Tangente hiperbólica
 Função de ativação de camada de saída: Identidade

(c)



Função de ativação de camada oculta: Tangente hiperbólica
 Função de ativação de camada de saída: Identidade

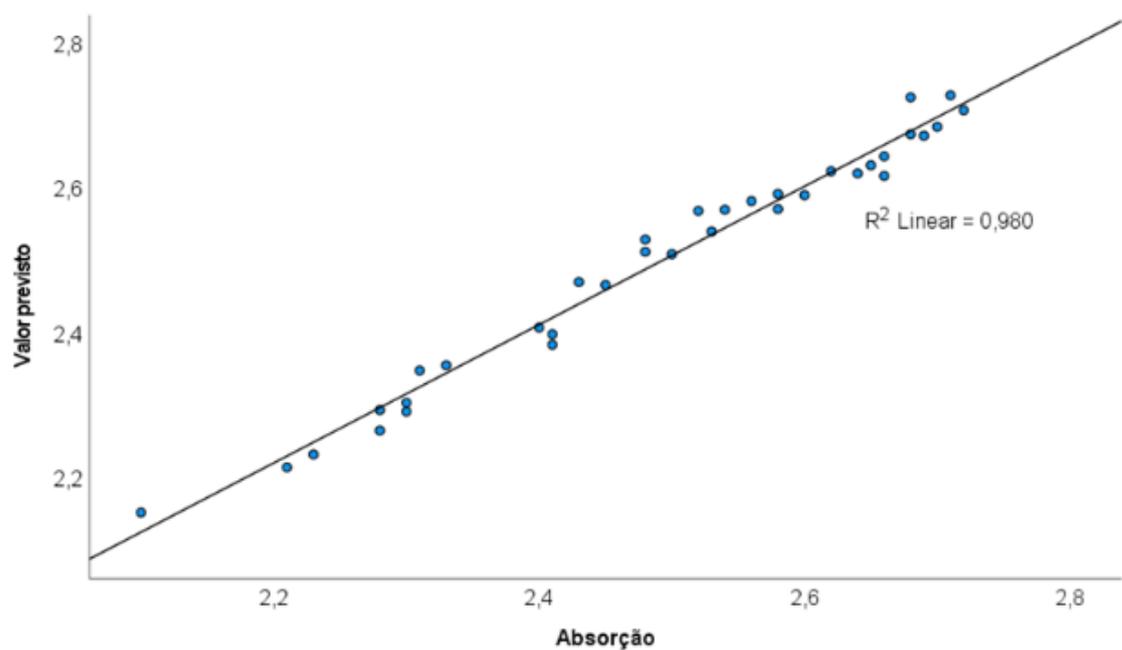
(d)



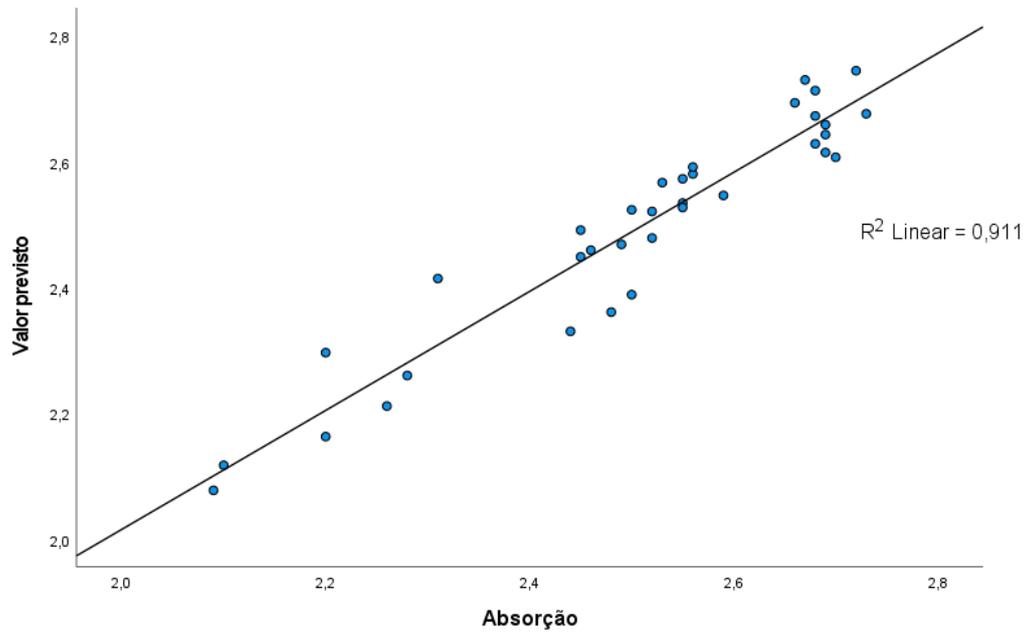
Fonte: Autor, 2021.

Gráfico 2. Comparação dos dados de Absorção e o Valor Previsto na modelagem da RNA, para as cultivares (a) C1, (b) C2, (c) C3 e (d) C4

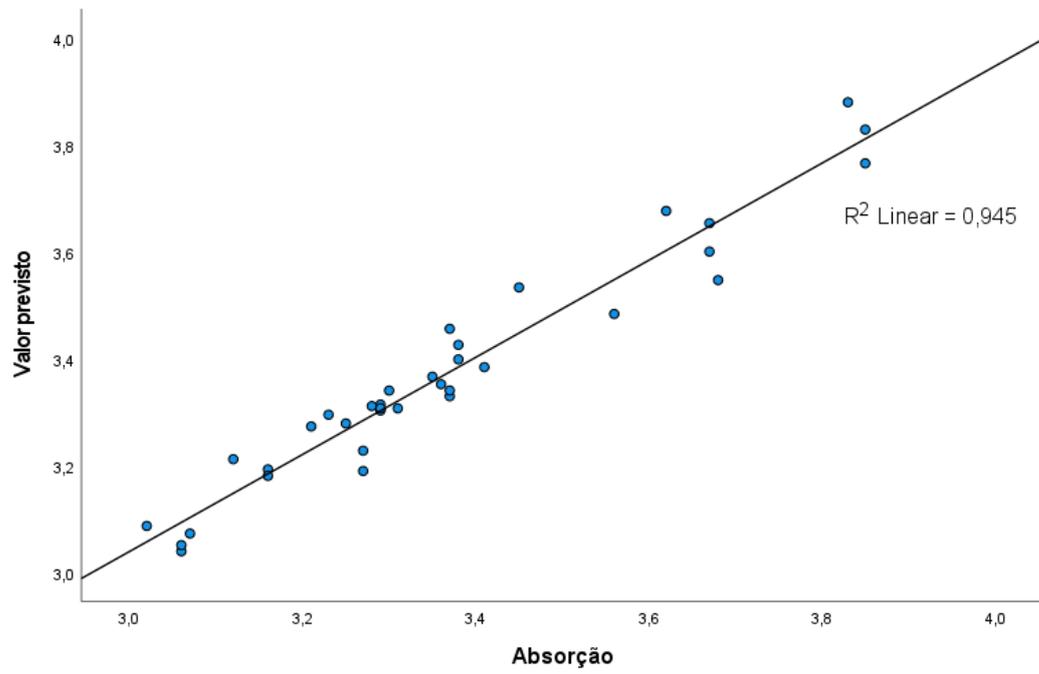
(a)



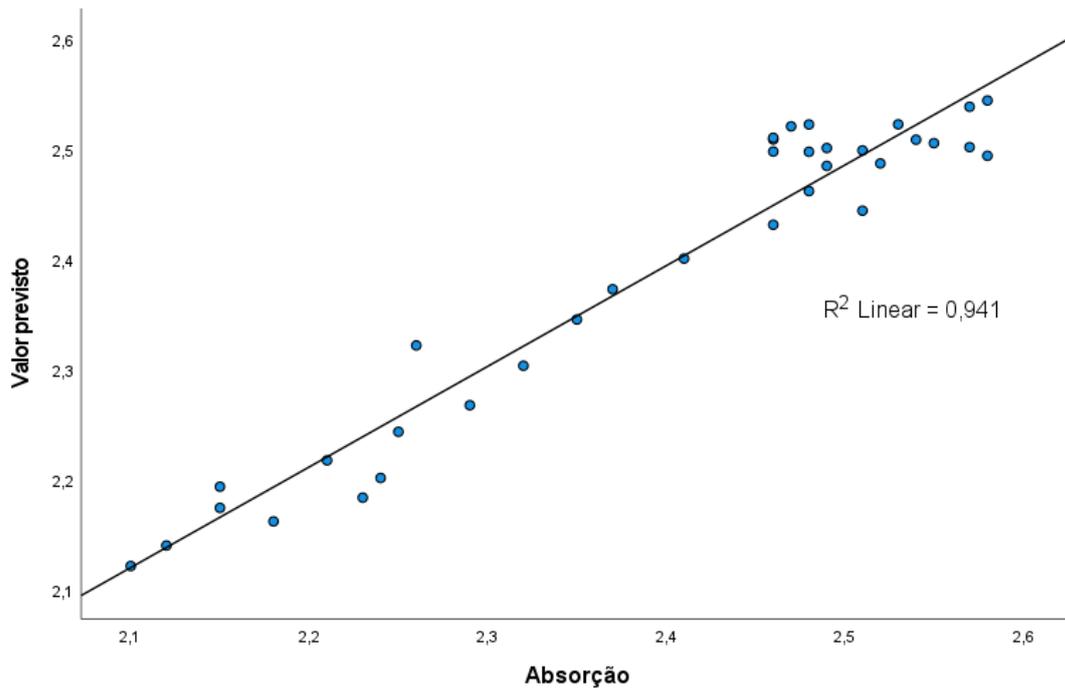
(b)



(c)



(d)



Fonte: Autor, 2021.

Segundo a sumarização do modelo da RNA aplicada neste estudo, demonstrada no Gráfico 2, obteve-se os seguintes resultados apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Resultados do erro padrão da estimativa (SE) e dos coeficientes de determinação (R^2) para a modelagem da RNA, para as cultivares (C1, C2, C3 e C4)

Cultivar	Erro Padrão da Estimativa (SE)	Coefficiente de Determinação (R^2)
C1	1,8%	0,980
C2	3,2%	0,911
C3	4,1%	0,945
C4	4,5%	0,941

Fonte: Autor, 2021.

A modelagem preditiva do processo de hidratação dos grãos de milho verde e doce “*in natura*”, com menos nós nas camadas ocultas (3 a 4), obtiveram valores de SE inferiores a esta porcentagem, variando entre 1,8% a 4,5% para a absorção de água (Tabela 10). Em outros estudos reportados pela literatura os valores de SE e a quantidade de neurônios na

camada oculta variam. Para o processo de secagem de banana, por exemplo, foi necessário inserir 11 neurônios na camada oculta para se alcançar o melhor resultado e obter um erro padrão de estimativa (SE) igual a 4,7% para a umidade (REGONHA, 2021). Já segundo Kumar *et al.* (2020), a hidratação do grão de bico verde apresentou SE superior a 2%, provavelmente devido à variação na perda da umidade dos grãos verdes, cuja umidade seria de aproximadamente 80%, o qual também foi notório no estudo dos grãos de milho verde e milho doce para o consumo "*in natura*", pois apresentavam umidades entre 71 % a 75%.

A cultivar de milho verde C1 apresentou o menor valor de SE e a cultivar C3 apresentou semelhança com a C4 (milho doce), estes valores de SE correspondem a distância média entre os valores experimentais da absorção do teor de água e a linha de ajuste do modelo da RNA prevista, desta forma quanto menor o SE maior será a precisão dos dados, apresentando maior proximidade entre o experimento e o ajuste.

Conforme a figura 4, todos os R^2 apresentaram valores acima de 0,90, isso indica que mais de 90% das variáveis estudadas para o teor de absorção foram explicadas pelas variáveis tempo e temperatura, também foi observado uma linearidade entre os valores de absorção (teor de absorção de água dos grãos de milho verde e milho doce "*in natura*") e valor previsto da modelagem. Estes valores podem ser considerados satisfatório quando comparado com o estudo da cinética de hidratação do grão de bico verde o qual teve o mesmo comportamento (KUMAR *et al.*, 2020).

Para o estudo das Rede Neural Artificial na hidratação de cereais matinais com leite, obteve-se R^2 com valores iguais ou superiores a 0,982, o qual resultou em um elevado nível de confiança na modelagem da RNA (ALMEIDA *et al.*, 2021). Assemelhando-se com os dados obtidos na cultivar C1 de milho verde "*in natura*".

4. CONCLUSÃO

Os grãos de milho verde (C1, C2 e C3) "*in natura*" conseguiram se adaptar com a variação da temperatura, mantendo as características físicas semelhantes ao milho doce C4, conforme comprovado pela cinética obtida, possibilitando a utilização destes grãos no processamento de conservas alimentícias.

Com o desenvolvimento das Redes Neurais Artificiais observou-se que o teor de absorção de água das cultivares de milho verde e milho doce "*in natura*" foram explicadas pelas variáveis tempo e temperatura, pois notou-se uma linearidade entre os valores de absorção e valor previsto da modelagem.

Desta forma conclui-se que o milho verde "*in natura*" conseguiu manter os padrões de qualidade relacionados a absorção de água, assemelhando-se ao milho doce, possibilitando assim a utilização destes grãos no processamento de conservas alimentícias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGAMA-ACEVEDO, E. *et al.* Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.**, 2011.
- ALMEIDA, L. J. *et al.* Artificial Neural Network (ANN) and mathematical modeling of hydration of corn cereal with milk. **Scientia Plena**, 2021.
- ALVAREZ, R. C. F. Análise de crescimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas dos tipos tradicional, intermediário e moderno.. **Pesquisa Agropecuária Tropical.**, Goiânia, 2012.
- ALVES, G. S.; AL., E. Aptidão dos híbridos de milho 2B512PW, 2B587PW e 2B707PW para mercado de milho verde. **Universidade Estadual de Goiás.**, 2018.
- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução-rdc nº 352, de 23 de dezembro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Frutas e ou Hortaliças em Conserva e a Lista de Verificação das Boas Práticas. 2002.
- IBIAPINA, A. *et al.* **Revista Desafios**, Palmas - TO, 2019.
- AUGUSTO, P. A. D. Contribuição ao entendimento do fenômeno da hidratação de grãos: Caracterização, Mecanismo, Modelagem e Molhoria., Piracicaba, 2017.
- BALBINOTIA, T. C. V.; JORGE, L. M. D. M.; JORGE, R. M. M. Mathematical modeling of paddy (*Oryza sativa*) hydration in different thermal conditions assisted by Raman spectroscopy. **Journal of Cereal Science**, 2018.
- BAYRAM, M.; KAYA, A.; ÖNER, M. D. Changer in properties of soaking water during production of soy-bulgur.. **Journal of Food Engineering**, 2004.
- BHARGAVA, A.; BANSAL, A. Fruts and vegetables quality evaluation using computer vision: a review. **Journal Of King Saud University- Computer And Information Sciences.**, 2018.
- BASI, S. *et al.* Influência da adubação nitrogenada sobre a qualidade da silagem de milho. **Applied Research & Agrotechnology**. 2011.
- BATISTA, V. V. *et al.* Efeito de níveis de nitrogênio sobre as características bromatológicas de plantas de milho e soja cultivadas em consórcio. Universidade Federal do Paraná, 2019.
- CANIATO, F. F. *et al.* Composição de açúcares solúveis totais, açúcares redutores e amido nos grãos verdes de cultivares de milho na colheita. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 2015.
- CHOJI, T. T. *et al.* Cinética da biossorção da misturani +2 –cr +3 via redes neurais artificiais. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, 2021.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira: 8º Levantamento de grãos. Brasília: [s.n.], 2020.

COUTINHO, M. R. **Modelagem, simulação e análise da hidratação de grãos de soja**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Maringá - UEM., Maringá, PR, 2006.

COUTO, C. A. *et al.* Desempenho de Cultivares de Milho Destinados para Produção de Milho Verde e Silagem. **Journal of Social, Technological and Environmental Science**, 2017.

CRUZ, C. A. **Produtividade e rendimento industrial do milho doce irrigado em função de dose e parcelamento de nitrogênio**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Manejo e tratos culturais para o cultivo do milho verde. Embrapa Milho e Sorgo - Circular Técnica (INFOTECA-E), Sete Lagoas, 2002.

CUNHA, L. M.; OLIVEIRA, F. A. R.; OLIVEIRA, J. C. Optimal Experimental Design for Estimating the Kinetic Parameters of Processes Described by the Weibull Probability Distribution Function. **Journal of Food Engineering**, 1998.

DUNG, D. D.; GODWIN, J.; NOLAN, J. Nutrient content and in sacco degradation of hydroponic barley sprouts grown using nutrient solution or tap water. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, 2010.

EMBRAPA. Cultivares de Milho no Norte do Ceará. Recomendações para Safra 2013-2014. Embrapa Caprinos e Ovinos, 2014.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Época de plantio e cultivares de milho safrinha no Tocantins. Palmas - TO, 2016.

EMBRAPA. Cultivo do milho-verde irrigado. Embrapa Meio-Norte, São Luís, 2020.

FRITSCHÉ-NETO, *et al.* Updating the ranking of the coefficients of variation from maize experiments. **Acta Scientiarum**, Maringá, 2012.

GIORDANO, D. *et al.* Influence of Agricultural Management on Phytochemicals of Colored Corn Genotypes (*Zea mays* L.). Part 1: Nitrogen Fertilization. **J. Agric. Food Chem**, 2018.

HAYKIN, S. Redes Neurais Princípios e Práticas, Porto Alegre, 2 ed., 2001.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain Drying Theory I. Temperature Effects on Drying Coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 1961.

IBARZ, A.; GONZÁLEZ, C.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. Kinetic models for water adsorption and cooking time in chickpea soaked and treated by high pressure. **Journal of Food Engineering**, 2004.

MARTIN, T. N. *et al.* Perfil do manejo da cultura de milho no sudoeste do Paraná. **Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe**, Espanha y Portugal, 2011.

MIRANDA, L. B. *et al.* Water absorption in bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.) during processing. **B.CEPPA**, Curitiba, 2013.

MOURA, B. A. *et al.* Modelagem matemática e análise da hidratação de grãos de feijão e lentilha sob diferentes temperaturas. *Revista Desafios*, 2019.

KACHHADIYA, S.; KUMAR, N.; SETH, N. Process kinetics on physico-chemical and peroxidase activity for different blanching methods of sweet corn. **Journal Of Food Science And Technology**, 2018.

KUMAR, Y. *et al.* Artificial neural network (ANNs) and mathematical modelling of hydration of green chickpea. **Information Processing in Agriculture**, 2020.

KWIATKOWSKI, A. **Características agronômicas, qualidade e composição**. Dissertação, Universidade Estadual de Maringá, MARINGÁ, PR, 2007.

LEME, A. C. Avaliação e armazenamento de híbridos de milho verde visando à produção de pamonha. **Science et Technologie Alimentaire**, Piracicaba, 2007.

LUDERMIR, T. Redes Neurais Artificiais. UFPE, 2013.

LUZ, J. M.; *et al.* Produtividade de genótipos de milho doce e milho verde em função de intervalos de colheita. **Hortic. Bras.**, 2014.

MARQUES, B. C.; JORGE, L. M. M.; JORGE, R. M. M. Cinética de hidratação e da liberação de sólidos solúveis do milho geneticamente modificado e de sua isolinha. *Blucher chemical engineering proceedings*, 2015.

MARTIN, T. N. *et al.* Perfil do manejo da cultura de milho no sudoeste do Paraná. **Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe**, Espanha y Portugal, 2011.

MOTA, R. D. S. *et al.* Suco composto de milho: formulação e caracterização físico-química. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, 2020.

MUTLU, C. *et al.* Physicochemical, Thermal, and Sensory Properties of Blue Corn (*Zea mays* L.). **Food Chemistry**, 2018.

NICOLIN, D. J. *et al.* Hsu model analysis considering grain volume variation during soybean hydration. **Journal of Food Engineering**, 2012.

OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G.; AL., E. Seleção de genótipos de milho mais promissores para o consumo in natura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 2006.

ÖZILGEN, M. *Handbook of Food Process Modeling and Statistical Quality Control*. New York: CRC Press, 2011.

PAGE, G. E. *Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin Layers*. Purdue University, West Lafayette, 1949.

PARK, H. W. *et al.* Developing a sterilization processing and a grading system to produce a uniform quality of sterilized whole corn (*Zea mays* L. *Var. Ceratina*). **Journal of Food Engineering**, 2019.

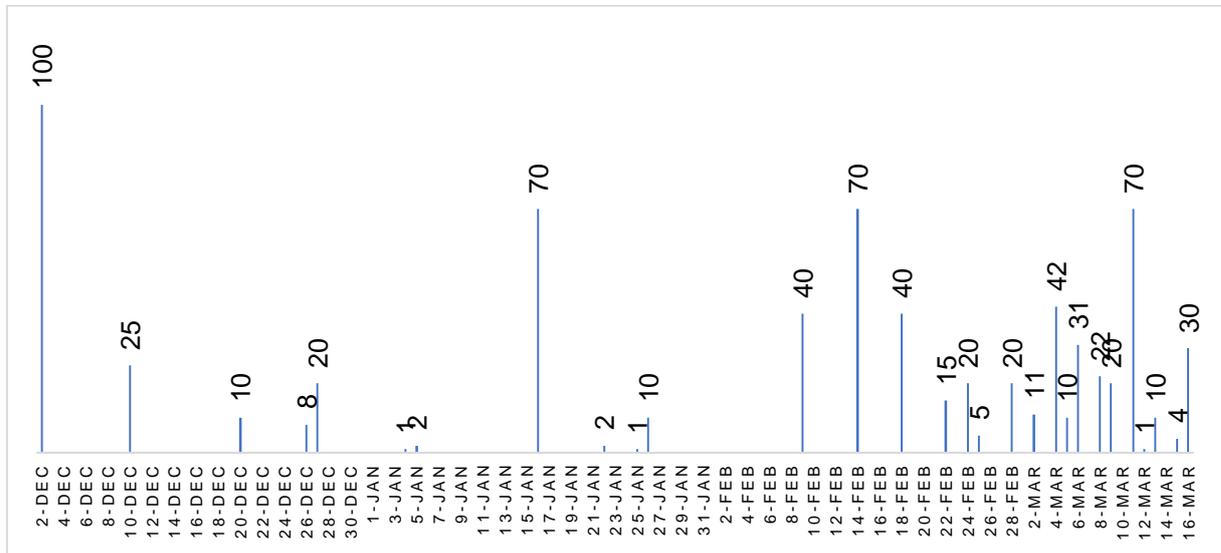
PELEG, M. *An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves*. **Journal of Food Science**, 1988.

- PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C.; GAMA, E. E. G. Cultivares para o consumo verde. EMBRAPA, Brasília, DF, 2002.
- PERFEITO, D. G. D. A. *et al.* Caracterização pós-colheita de milho doce submetido ao parcelamento de fertirrigação nitrogenada. **Brazilian Journal of Food Technology**, Urutaí-GO, 2017.
- PINHO, L. *et al.* Avaliação de doze cultivares de milho (*Zea mays* L.) para silagem. **Revista Ciências Agrárias**, Londrina, 2010.
- REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; FILLET SPOTO, M. H.; CASTELLUCCI, A. C. L. Processamento e industrialização do milho para alimentação humana. **Visão agrícola**, 2015.
- REGONHA, B. H. Utilização de redes neurais artificiais para estudar o processo. ARARAQUARA, 2021.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P. C. Modelagem matemática do processo de hidratação de sementes de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, 2007.
- SANDHU, K. S.; SINGH, N.; MALHI, N. S.. Some properties of corn grains and their flours I: physicochemical, functional and chapati-making. *Food Chemistry*, 2007.
- SANTOS, D. S. Composição centesimal de milho Crioulo coletado em localidades do estado da Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 2018.
- SCHOENINGER, V. **Otimização de parâmetros de pré-processamento para obtenção de feijão seco com reduzido tempo de cozimento**. 2012. Dissertação Mestrado – Programa de Pós – Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012.
- SELEME, R. B. A evolução da biotecnologia na cultura do milho no Brasil. Disponível em: pioneersementes.com.br. Acesso em: 13 de set. 2017.
- SHAFAEI, S. M.; MASOUMI, A. A.; ROSHAN., H. Análise da absorção de água do feijão e grão de bico durante a imersão usando o model. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 2016.
- SILVA, D. A. R. O. D. **Modelagem matemática da hidratação de grãos de sorgo**. CURITIBA: Dissertação - Universidade Federal do Paraná, 2016.
- SILVEIRA, D. C. *et al.* Caracterização agromorfológica de variedades de milho crioulo (*Zea mays* L.) Na região noroeste do Rio Grande do Sul. **Rev. Ciência e Tecnologia**, Rio Grande do Sul, 2015.
- TURHAN, M.; SAYAR, S.; GUNASEKARAN, S. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. **Journal of Food Engineering**, 2002.
- VENDRUSCOLO, E. P. *et al.* Viabilidade econômica do cultivo de milho doce submetido à inoculação com *Azospirillum brasilense* e soluções de tiamina. **Revista de Ciências Agrárias**, 2017.
- WEIBULL, W. A statistical theory of the strength of materials. Ingeniors Vetenskaps Akademien, 1939.

ZUCARELI, C. *et al.* Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na qualidade fisiológica de sementes de milho doce.. **Revista Brasileira de Sementes**, 2012.

ANEXOS

ANEXO 1. PRECIPITAÇÃO PLUVIAL (mm), PALMAS - TO, PERÍODO DE 2018 A 2019



Fonte: Autor, 2019.

RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT

Letter of Acceptance

The manuscript entitled "Rendimento do milho doce e verde para consumo "in natura" cultivados no Tocantins", submitted on "02/18/2021" was accepted for publication and will be published within 30 days in the Research, Society and Development Journal - ISSN 2525-3409.

The manuscript is authored by:

Ila Raquel Mello Cardoso, Marcio Eckardt, Flávio Sérgio Afféri, Glêndara Aparecida de Souza Martins, Joênes Mucci Peluzio, Juliana Santos Moura, Polliana Cristina de Lima Santos, Lourena Jacy Fonseca Borges and Rafaela Soares Biase.

São Paulo, March 02, 2021, Brazil.



Dr. Ricardo Shitsuka
Editor