

REVISTA
DESAFIOS

ISSN: 2359-3652

V.11, n.5, jul/2024 – DOI: http://dx.doi.org/10.20873/2024_jul_17524

MODELAGEM DA CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO DO MILHO VERDE E DOCE PARA CONSUMO HUMANO

MODELING OF THE HYDRATION KINETICS OF GREEN AND SWEET CORN FOR HUMAN CONSUMPTION

MODELADO DE LA CINÉTICA DE HIDRATACIÓN DEL MAÍZ VERDE Y DULCE PARA CONSUMO HUMANO

Ila Raquel Mello Cardoso:

Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia pelo Programa Rede BIONORTE Universidade Federal do Tocantins (UFT). E-mail: ilarakel@hotmail.com. | Orcid.org/0000-0002-3481-0090

Márcio Eckardt:

Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia pelo Programa Rede BIONORTE Universidade Federal do Tocantins (UFT). E-mail: adm1marcio@gmail.com. Orcid.org/0000-0002-6756-9053

Flávio Sérgio Afféri:

Doutor em Agronomia. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP – Botucatu. E-mail: flavioafferri@gmail.com. Orcid.org/0000-0002-0819-4108

Glêndara Aparecida de Souza Martins:

Pós Doutorado pelo Institut Agrocampus Ouest (França). Professora da professora associada do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins E-mail: glendarasouza@mail.uft.edu.br. | Orcid.org/ 0000-0002-3813-1028

Como citar este artigo:

Melo, I. R., Márcio Eckardt, Flávio Sérgio Afféri, & de Souza Martins, G. A. MODELAGEM DA CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO DO MILHO VERDE E DOCE PARA CONSUMO HUMANO. DESAFIOS - Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins, 11(5). https://doi.org/10.20873/2024_jul_17524.

RESUMO

O milho doce (família das *Poáceas*) 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 verde e do milho doce por meio da modelagem matemática e da Rede Neural Artificial para fins de produção de conserva alimentícia. O ajuste matemático (PELEG, PAGE, Weibull, Ibarz *et al.* e Henderson e Pabis) foi realizado no *Software MatLab* e para o desenvolvimento da Rede Neural Artificial utilizou o *Software SPSS*. As amostras C1, C2 e C3 referem-se ao milho verde e C4 milho doce. Em relação a modelagem matemática, o C1 apresentou o melhor ajuste para o modelo de Ibarz *et al.* a 25°C. Para C2 o melhor modelo matemático foi o de Ibarz *et al.* a 25°C e de PELEG a 45 °C. Os resultados obtidos para a C3 e C4, assemelham-se com a C1, tendo o melhor modelo o Ibarz *et al.* Desta forma 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.

ABSTRACT:

Sweet corn (*Poaceae* family) differs from "common" green corn due to mutant genes affecting carbohydrate biosynthesis, resulting in grains with high sugar content and low starch. This study aimed to investigate the hydration kinetics of both sweet and common green corn through mathematical modeling and Artificial Neural Network for the purpose of food preservation production. Mathematical fitting (PELEG, PAGE, Weibull, Ibarz *et al.*, and Henderson and Pabis) was carried out using the MATLAB software, and the development of the Artificial Neural Network used the SPSS software. Samples C1, C2, and C3 refer to green corn, and C4 refers to sweet corn. Regarding mathematical modeling, C1 showed the best fit for the Ibarz *et al.* model at 25°C. For C2, the best mathematical model was Ibarz *et al.* at 25°C and PELEG at 45°C. The results obtained for C3 and C4 were similar to C1, with the Ibarz *et al.* model being the best fit. Therefore, "common" green corn managed to maintain quality standards related to water absorption, similar to sweet corn, allowing for the use of these grains in food preservation processing.

KEYWORDS: *Zea mays*; Mathematical Modeling; Artificial Neural Networks; Canned Food. at least three words

RESUMEN

El maíz dulce (familia Poaceae) se diferencia del maíz verde "común" debido a genes mutantes que afectan la biosíntesis de carbohidratos, lo que resulta en granos con alto contenido de azúcar y bajo almidón. Este estudio tuvo como objetivo investigar la cinética de hidratación tanto del maíz dulce como del maíz verde común mediante modelización matemática y una Red Neuronal Artificial con el propósito de producir alimentos en conserva. El ajuste matemático (PELEG, PAGE, Weibull, Ibarz et al. y Henderson y Pabis) se realizó utilizando el software MATLAB, y el desarrollo de la Red Neuronal Artificial se hizo con el software SPSS. Las muestras C1, C2 y C3 se refieren al maíz verde, y C4 se refiere al maíz dulce. En cuanto a la modelización matemática, C1 mostró el mejor ajuste para el modelo de Ibarz et al. a 25°C. Para C2, el mejor modelo matemático fue Ibarz et al. a 25°C y PELEG a 45°C. Los resultados obtenidos para C3 y C4 fueron similares a C1, siendo el modelo de Ibarz et al. el mejor ajuste. Por lo tanto, el maíz verde "común" logró mantener los estándares de calidad relacionados con la absorción de agua, similar al maíz dulce, lo que permite el uso de estos granos en el procesamiento de alimentos en conserva.

Palabras clave: *Zea mays*; *Modelado Matemático*; *Redes Neuronales Artificiales*; *Conservas Alimenticias*.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) é uma planta da família *Poaceae* ou *Gramínea*, destaca-se como sendo um dos principais grãos cultivado em todo o mundo e está presente na alimentação básica de muitas pessoas (SILVEIRA *et al.*, 2015). 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 (Fritsche-neto *et al.*, 2012).

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 (KUMAR *et al.*, 2020). 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.

METODOLOGIA

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.

Foram realizados 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). Aplicando-se a adubação em cobertura 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. E 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.

Para as análises físicas das 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). Lembrando-se que 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).

HIDRATAÇÃO DOS GRÃOS DE MILHO

Para a análise de hidratação dos grãos, observaram-se as seguintes cultivares: 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). Para esta avaliação realizaram-se a colheita das 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.

MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO

Para a modelagem matemática utilizou-se o ajuste matemático por meio do *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 1.

TABELA 1. MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS

Modelo Matemático	Equação (Configuração Matlab)	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	$a * \exp^k(k * x)$ (Equação 5)	(HENDERSON e PABIS, 1961)

Entre os modelos apresentados na Tabela 1, foram 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.

Diante da tabela 1, para testar a adequação dos modelos foi utilizado o coeficiente de determinação (R^2), conforme descrito por (SILVA, 2016).

MODELAGEM DE REDE NEURAL ARTIFICIAL (RNA)

Para a modelagem de RNA, 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).

Neste estudo foi utilizado o software 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.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

Para a caracterização física e química das cultivares em estudo, analisaram-se 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 2.

TABELA 2. 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 (2023).

Segundo a Tabela 2, 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, 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. 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). 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%,

Quando avaliado o cultivar de milho doce observou-se 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, dos fatores ambientais do plantio,

da utilização de fertilizantes e a concentração de nitrogênio no solo (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).

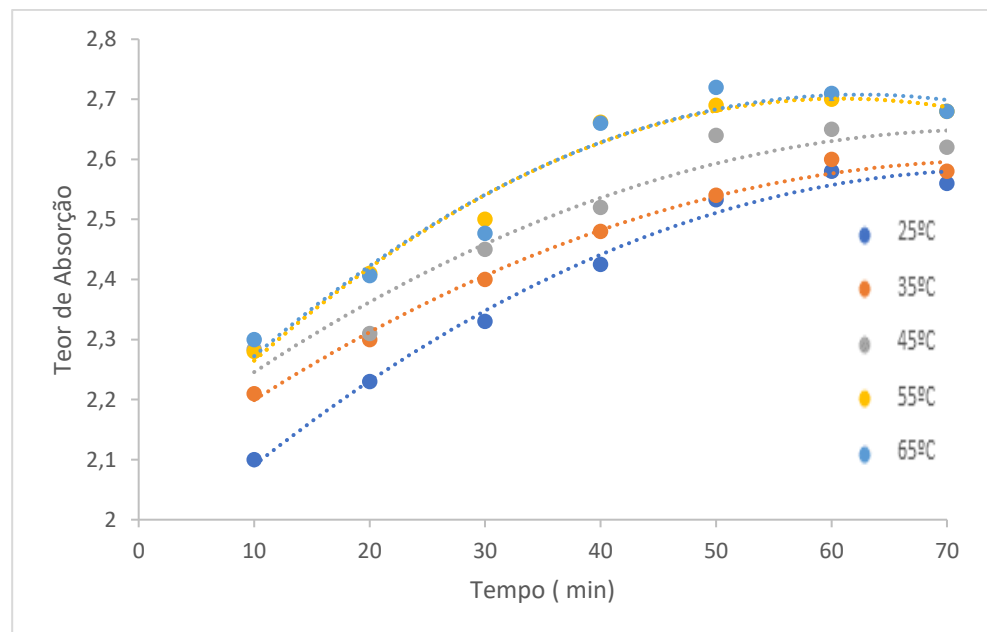
HIDRATAÇÃO DOS GRÃOS DE MILHO

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.

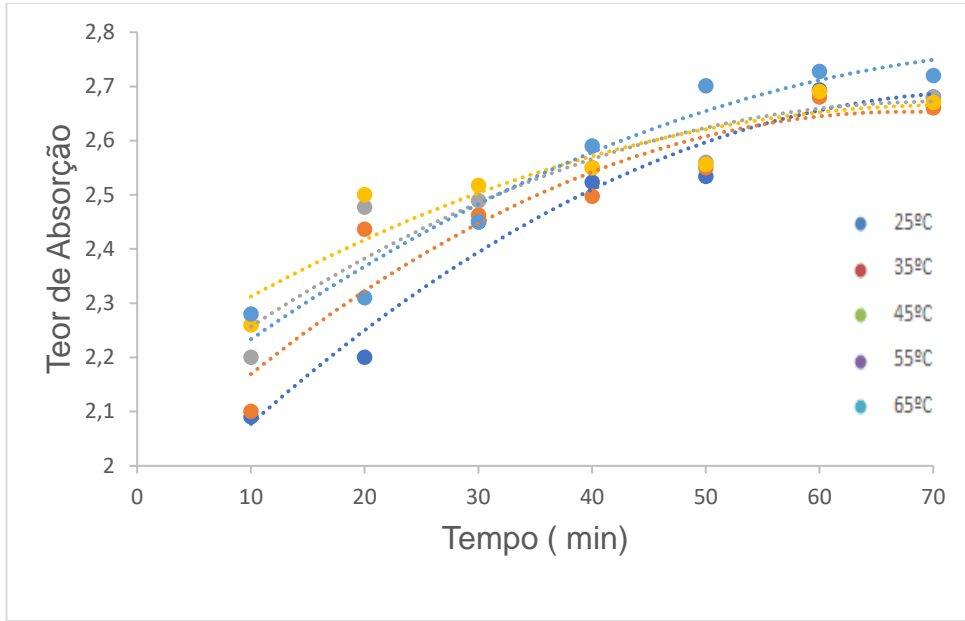
No gráfico 1, para as diferentes temperaturas (25°C, 35°C, 45°C, 55°C e 65°C) hidratação dos grãos de milho verde (a) C1, a fase de difusão predominou até os 50 min e após este período ocorreu a fase de relaxamento, assemelhando-se com a cultivar C3 e C4 ((c) e (d) respectivamente). Já para a cultivar 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)

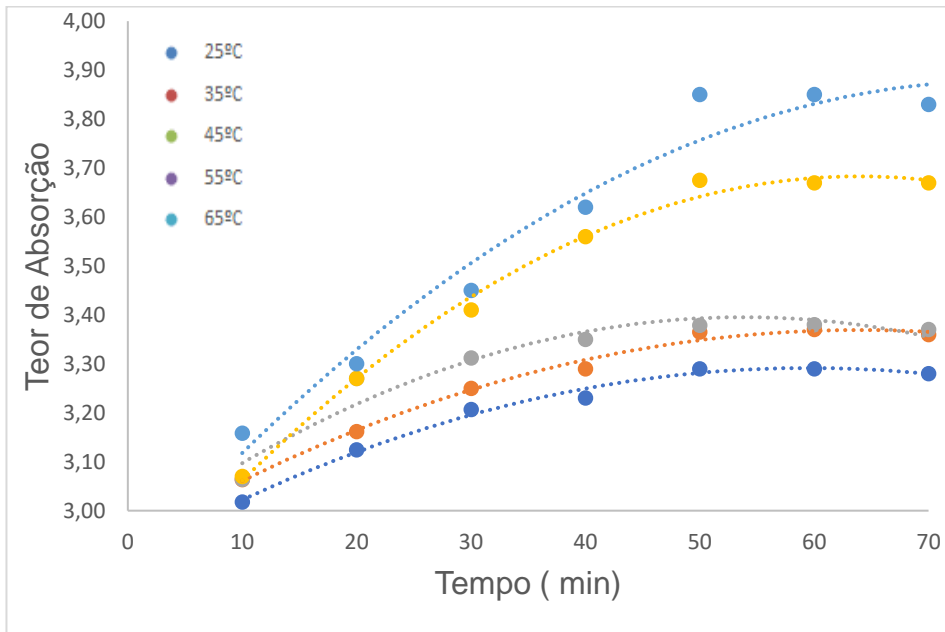
(a)



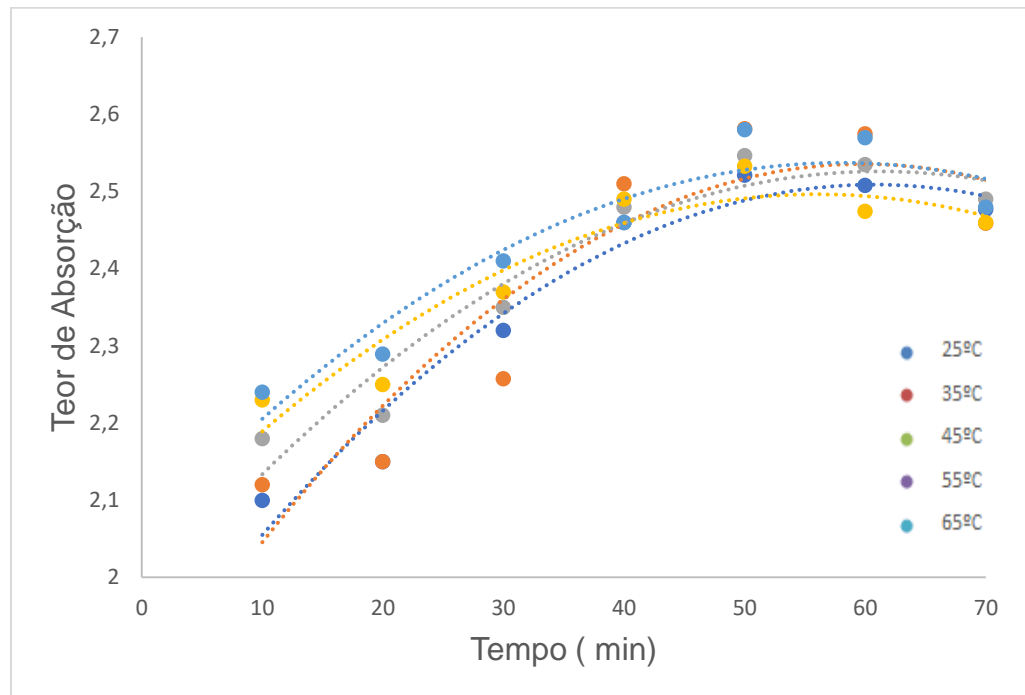
(b)



c)



(d)



Fonte: Autor, 2023.

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 3. 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 3. 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
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
Weibull	A	0,159	0,124	0,102	0,086	0,122
	B	70,650	75,830	75,550	81,380	62,880
	R ²	0,957	0,906	0,915	0,896	0,929
Ibarz et al	M0	1,826	1,739	1,941	2,040	2,086
	K7	0,079	0,146	0,130	0,131	0,054
	K8	0,028	0,055	0,048	0,049	0,018
	R ²	0,963	0,921	0,917	0,893	0,948
Henderson e Pabis	A	2,078	2,182	2,259	2,310	2,217
	K	0,013	0,001	0,002	0,014	0,690
	R ²	0,894	0,796	0,815	0,800	0,909
PELEG	Y0	2,368	2,467	2,480	2,917	3,047
	K1	2,707	10,450	3,483	13,230	14,620
	K2	2,998	2,879	2,872	13,280	15,030
	R ²	0,974	0,958	0,965	0,883	0,778
PAGE	K2	1,012	1,011	1,039	0,933	0,916
	N	0,040	0,044	0,039	0,081	0,093
	R ²	0,958	0,970	0,873	0,967	0,942
Weibull	A	0,040	0,044	0,039	0,081	0,093
	B	0,734	0,778	0,378	2,341	2,562
	R ²	0,958	0,970	0,873	0,967	0,942

C2

C3

		M0	2,822	2,891	2,573	2,724	2,866
	Ibarz et al	K7	0,167	0,132	0,322	0,144	0,093
		K8	0,051	0,039	0,096	0,038	0,022
		R ²	0,985	0,982	0,991	0,983	0,955
	Henderson e Pabis	A	2,956	3,069	3,137	3,091	3,055
		K	1,080	0,152	0,835	0,007	0,296
		R ²	0,653	0,869	0,667	0,862	0,889
	PELEG	Y0	1,822	1,859	1,983	1,585	1,649
		K1	14,380	15,750	24,690	10,100	4,489
		K2	14,330	15,730	24,880	3,356	3,858
		R ²	0,905	0,790	0,879	0,788	0,820
	PAGE	K2	0,551	0,542	0,605	0,667	0,663
		N	0,125	0,131	0,104	0,077	0,083
		R ²	0,890	0,783	0,869	0,795	0,829
C4	Weibull	A	0,125	0,131	0,104	0,077	0,083
		B	118,300	105,200	127,100	195,300	144,600
		R ²	0,890	0,783	0,869	0,795	0,829
	Ibarz et al	M0	1,832	1,848	1,957	2,025	2,042
		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 k1 e k2 representam as constantes do modelo (PELEG, 1988), Y0 é teor de umidade inicial (decimal b.s.), x é o tempo de imersão (min), k1 é a taxa constante de PELEG (min decimal b.s.-1) e k2 é a capacidade constante de PELEG, (decimal b.s.-1). O modelo de PAGE é demonstrado pela Equação (2), k1 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 k7, k8 e M0 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.

De acordo com a Tabela 3, observa-se que o coeficiente de determinação R² 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 R², 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 $K1$, 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 $K1$ 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 $K1$ passou de 14,33 para 4,98 e C4: 14,38 para 10,1).

No modelo de PELEG, a constante $K2$ relaciona-se com a capacidade máxima de absorção de água, logo quanto menor o valor de $K2$, 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 $K2$, com o aumento da temperatura de 25 °C a 55 °C e consecutivamente uma diminuição nas taxas de absorção de água.

O parâmetro $K2$, 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 ($K2$ passou de 0,655 para 0,833 nas temperaturas de 30 °C e 60 °C, respectivamente), desta forma nota-se que o $K2$ está diretamente relacionado à taxa de hidratação, pois quanto maior o $K2$ 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 $K7$, $K8$ e $M0$ (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%.

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.

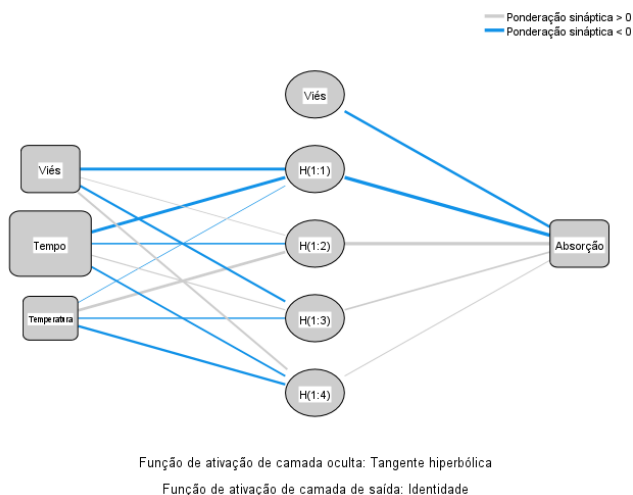
Segundo Kumar *et al.* (2020), no estudo da cinética de hidratação para os o grão de bico verde foi possível observar alterações nas características físicas tais como: dimensionamento dos grãos, podendo ser explicado pela degradação da camada superficial, causando também a desnaturação da proteína, que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

MODELAGEM DE REDE NEURAL ARTIFICIAL (RNA)

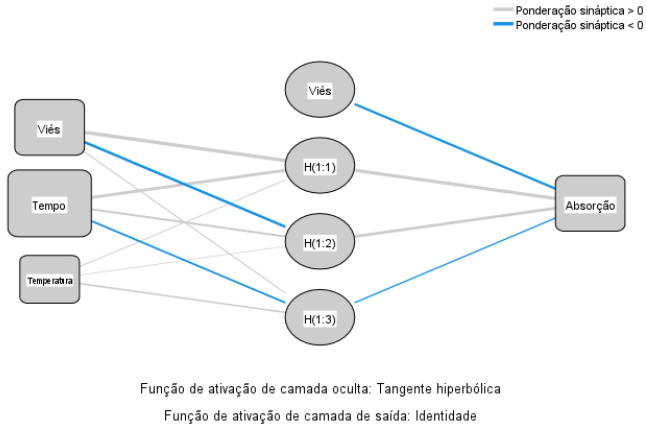
Na Figura 1 representa-se a composição das camadas da RNA para a modelagem preditiva das cultivares de milho verde e milho doce “*in natura*” submetidos a hidratação.

FIGURA 1. REPRESENTAÇÃO DE INFRAESTRUTURA DA RNA PARA A MODELAGEM PREDITIVA DAS CULTIVARES C1 (A), C2 (B), C3 (C) E C4 (D).

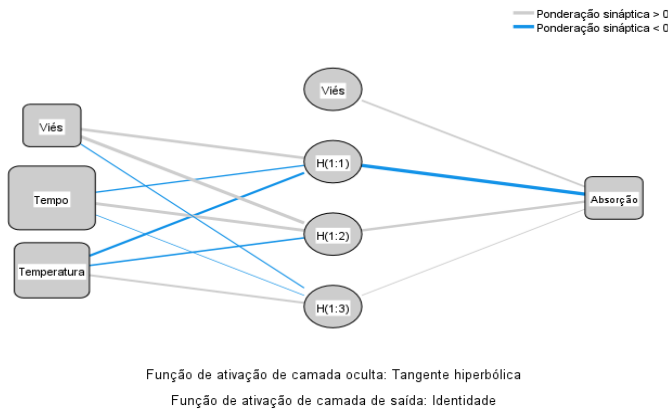
(a)



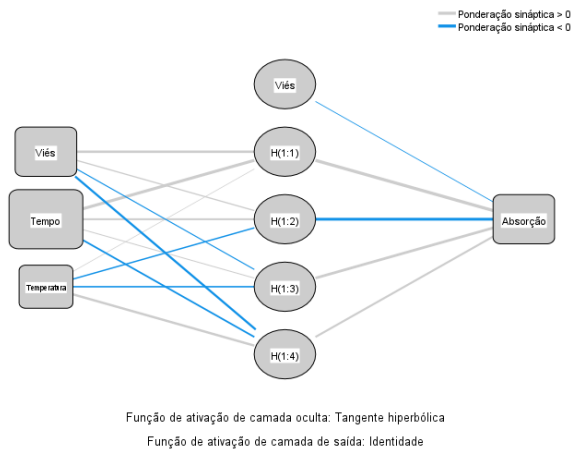
(b)



(c)



(d)

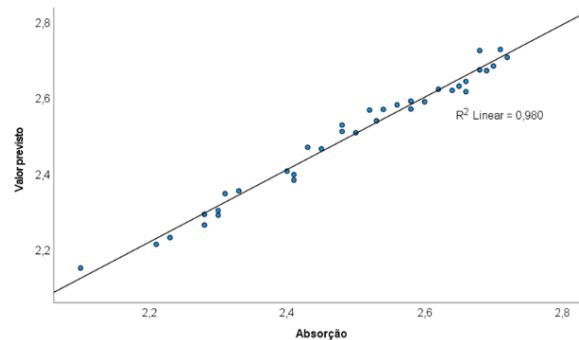


Fonte: Autor, 2021.

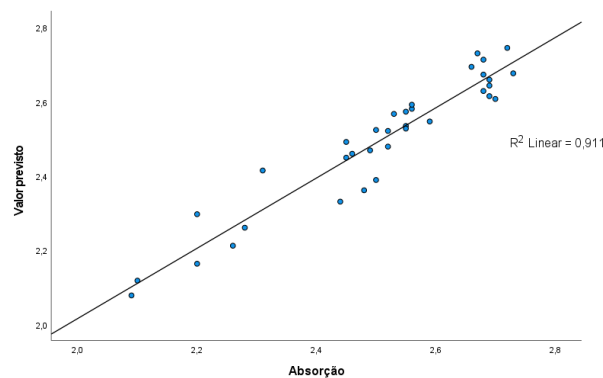
De acordo com a Figura 1, notou-se que o número de neurônios presentes nas camadas ocultas das cultivares de milho variaram, sendo 3 nós na camada oculta da C2 e C3, e 4 nós na C1 e C4, esta quantidade é ajustada pelo software SPSS para se obter uma arquitetura da rede neural com uma previsão adequada 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 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

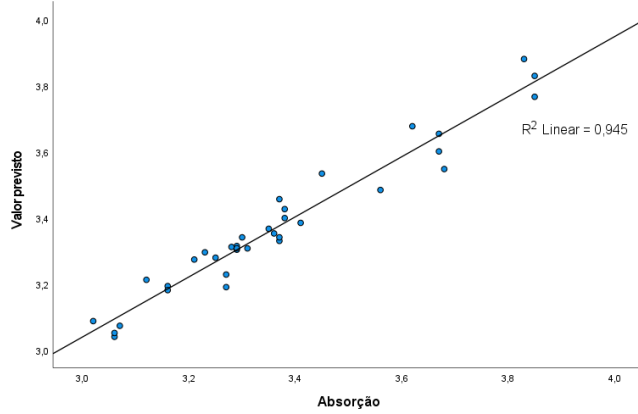
(a)



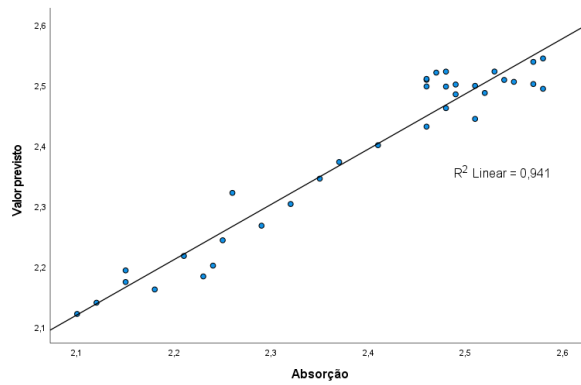
(b)



(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 4.

TABELA 4. 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 2). 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*”.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os grãos de milho verde em estudo (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.

E em relação ao 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 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 Molharia., 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 Desing 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, España 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, España 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.