

REVISTA  
**DESAFIOS**

ISSN: 2359-3652

V. 11, n. 7, outubro/2024. Dossiê Especial: Agroenergia Digital  
DOI: [https://doi.org/10.20873/Agroenergia\\_2024\\_v11\\_n7\\_2](https://doi.org/10.20873/Agroenergia_2024_v11_n7_2)

**DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> NO PRÉ-TRATAMENTO BAGAÇO DE SORGO PARA PRODUÇÃO DE ETANOL 2G**

*DIFFERENT CONCENTRATIONS OF H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> IN PRETREATMENT SORGHUM BAGASSE FOR 2G ETHANOL PRODUCTION*

*DIFERENTES CONCENTRACIONES DE H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> EN BAGAZO DE SORGO DE PRETRATAMIENTO PARA LA PRODUCCIÓN DE 2G DE ETANOL*

---

**Marliana Amaro Silva Marli:**

Mestre em Agroenergia Digital pela Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas - TO, Brasil  
E-mail: [marlianasilvaamb@gmail.com](mailto:marlianasilvaamb@gmail.com). ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-2641-8445>

**Guilherme Benko de Siqueira:**

Docente do Mestrado em Agroenergia Digital, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas - TO, Brasil.  
E-mail: [guibenko@mail.uft.edu.br](mailto:guibenko@mail.uft.edu.br). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0572-2788>

**Flávia Lucila Tonani:**

Docente do Mestrado em Agroenergia Digital, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas - TO, Brasil.  
E-mail: [flaviatonani@uft.edu.br](mailto:flaviatonani@uft.edu.br). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6598-5582>

**Illys Janes de Souza:**

Mestre em Agroenergia Digital pela Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas - TO, Brasil.  
E-mail: [Illysdno@gmail.com](mailto:Illysdno@gmail.com). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0557-695X>

**Domingos Bonfin Ribeiro dos Santos:**

Mestre em Agroenergia Digital pela Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas - TO, Brasil. E-mail: [migos@mail.uft.edu.br](mailto:migos@mail.uft.edu.br). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4471-6890>

Artigo recebido em janeiro de 2024 aceito em setembro de 2024 publicado em outubro de 2024

**Como citar este artigo:**

MARLI, M. A. S.; SIQUEIRA, G. B. de; TONANI, F. L.; SOUZA, I. J. de; SANTOS, D. B. R. dos. Diferentes concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no pré-tratamento bagaço de sorgo para produção de etanol 2G. **Desafios. Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**. Palmas, v. 11, n. 7, p. 1 - 15, out. 2024. DOI: [https://doi.org/10.20873/Agroenergia\\_2024\\_v11\\_n7\\_2](https://doi.org/10.20873/Agroenergia_2024_v11_n7_2)

## RESUMO

A utilização do sorgo sacarino como fonte alternativa de energia, tanto de origem sacarina quanto celulósica, pode ser uma opção interessante para complementar a produção durante o período pré-safra. No entanto, a fase de pré-tratamento dos materiais lignocelulósicos ainda é um obstáculo para destilarias que produzem etanol 2G. Neste trabalho, foi utilizado um delineamento experimental em esquema fatorial 2x4, com 2 cultivares de sorgo (BRS 511 e Malibu) e 4 concentrações de peróxido de hidrogênio (1%, 2%, 3% e 4%), com o objetivo de avaliar o efeito do pré-tratamento com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sobre o potencial de produção de etanol 2G. As variáveis estudadas incluíram o rendimento do pré-tratamento, as composições de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulose das biomassas após os pré-tratamentos, o coeficiente de hidrólise enzimático e a produção estimada de etanol 2G. Concluiu-se que o maior rendimento de etanol foi obtido com o pré-tratamento com 1% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tanto na biomassa BRS 511 quanto na Malibu.

**Palavras-chaves:** hidrólise da fibra, biomassa, biocombustíveis, energias renováveis, etanol 2G

## ABSTRACT

*The use of sweet sorghum as an alternative energy source, both saccharine and cellulosic, could be an interesting option to complement production during the pre-harvest period. However, the pretreatment phase of lignocellulosic materials remains a bottleneck for 2G ethanol-producing distilleries. In this study, a 2 × 4 factorial design was used, with two sorghum cultivars (BRS 511 and Malibu) and four hydrogen peroxide concentrations (1%, 2%, 3%, and 4%), to evaluate the effect of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pretreatment on 2G ethanol production. The variables studied included the pretreatment yield, composition of neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), and hemicellulose of the biomass after the pretreatments, enzymatic hydrolysis coefficient, and estimated production of 2G ethanol. It was concluded that the highest ethanol yield was obtained with 1% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pretreatment, for both BRS 511 and Malibu biomass.*

**Keywords:** fiber hydrolysis, biomass, biofuels, renewable energies, 2G ethanol

## RESUMEN

*La utilización del sorgo sacarino como fuente alternativa de energía, tanto de origen sacarina como celulósica, puede ser una opción interesante para complementar la producción durante el período pre-cosecha. Sin embargo, la fase de pre-tratamiento de los materiales lignocelulósicos sigue siendo un obstáculo para las destilerías que producen etanol 2G. En este trabajo, se utilizó un diseño experimental en esquema fatorial 2x4, con 2 cultivares de sorgo (BRS 511 y Malibu) y 4 concentraciones de peróxido de hidrógeno (1%, 2%, 3% y 4%), con el objetivo de evaluar el efecto del pre-tratamiento con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sobre el potencial de producción de etanol 2G. Las variables estudiadas incluyeron el rendimiento del pre-tratamiento, las composiciones de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y hemicelulosa de la biomasa después de los pre-tratamientos, el coeficiente de hidrólisis enzimático y la producción estimada de etanol 2G. Se concluyó que el mayor rendimiento de etanol se obtuvo con el pre-tratamiento con 1% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tanto en la biomasa BRS 511 como en la Malibu.*

**Palabras clave:** hidrólisis de la fibra, biomasa, biocombustibles, energías renovables, etanol 2G

## INTRODUÇÃO

No cenário atual da agricultura brasileira, a produção de bioenergia, com uma perspectiva de sustentabilidade, exige a diversificação de matérias-primas. Além de concentrar uma grande quantidade de pequenos, médios e grandes produtores, o Brasil apresenta uma grande diversidade de condições ambientais que permitem explorar o potencial de matérias-primas renováveis e adequadas à região, promovendo a descentralização da produção de etanol (EMYDIO, 2010).

O bagaço gerado pela extração do caldo também pode ser utilizado como fonte de energia para a indústria e geração de eletricidade, além de permitir a produção de etanol de segunda geração e ser utilizado como fonte de alimentação animal (SOUZA et al., 2022). O sorgo sacarino já é cultivado em países como Índia, China, Austrália e África do Sul. Considerado a “cana-de-açúcar” do meio-oeste americano, o sorgo sacarino é uma das apostas americanas para substituir o milho na produção de etanol.

De acordo com Barcelos et al. (2011), o sorgo pode ser a principal matéria-prima para a produção de etanol e outros bioprodutos em regiões com condições adversas para o cultivo de cana-de-açúcar, e como cultura complementar durante a entressafra do cultivo de cana, pode ser uma excelente opção. Esses autores obtiveram um rendimento do sorgo sacarino de 79,1% do potencial teórico de açúcares, produzindo 160 L de etanol por tonelada de sorgo sacarino, o que equivale a 13.610 L de etanol por hectare.

A aplicação efetiva de materiais lignocelulósicos requer etapas de pré-tratamento que permitem o fracionamento de seus principais componentes (celulose, hemicelulose e lignina). A combinação de diferentes tipos de pré-tratamentos é explorada para aumentar a recuperação de açúcares e minimizar a liberação de substâncias inibidoras ao metabolismo microbiano, que afetam a eficiência e produtividade do processo fermentativo (SANTIAGO; RODRIGUES, 2017).

Existem vários métodos de pré-tratamento em materiais lignocelulósicos, tais como físicos, químicos, biológicos e sua combinação. Embora haja uma grande variedade de métodos de pré-tratamento já estudados, ainda é necessário o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes em termos de custo e competitividade (CORREIA, 2013). De acordo com Kucharska et al. (2018), a etapa de pré-tratamento ainda é um desafio para a obtenção de uma tecnologia econômica e competitiva para a conversão em larga escala de biomassa lignocelulósica em açúcares fermentescíveis com baixa concentração inibitória.

O uso de peróxido de hidrogênio alcalino como pré-tratamento tem sido amplamente utilizado como uma forma eficaz de solubilizar a lignina em diversos materiais lignocelulósicos, como palha de milho, cevada, trigo, bambu e palha de arroz. No entanto, foi observado que a resposta ao pré-tratamento com peróxido de hidrogênio varia de acordo com a matéria-prima e a concentração de peróxido.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto do pré-tratamento com peróxido de hidrogênio sobre o potencial de produção de etanol 2G nos cultivares de sorgo BRS511 e MALIBU.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Este estudo foi realizado no Laboratório de Solos e Avaliação de Resíduos Agroindustriais (LASOR) da Universidade Federal do Tocantins (UFT). As biomassas de bagaço dos cultivares de sorgo sacarino BRS 511 e Malibu foram coletadas na área experimental da Agrotins. As biomassas foram secas em uma estufa com circulação de ar forçada a 55 °C por 72 horas para determinação da matéria seca. Depois da secagem, o material foi moído utilizando um moinho de facas acoplado a uma peneira de 1 mm.

As variáveis avaliadas neste trabalho incluíram: o rendimento do pré-tratamento (Rend.Prê), expressado como porcentagem da biomassa original; as composições de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) e hemicelulose (HEMI) das biomassas após os pré-tratamentos; o coeficiente de hidrólise enzimática (CH), expressa como porcentagem da biomassa pré-tratada; e a produção estimada de etanol 2G (Etanol 2G), expressa em ml/kg da biomassa original em peso seco.

Foram determinados os teores de FDN, FDA e Hemicelulose tanto para a biomassa in natura, bem como, para as demais biomassas pré-tratadas sob a diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio. A determinação destas frações bromatológicas seguiu os procedimentos de SILVA; QUEIROZ (2012).

A determinação de FDN foi realizada seguindo uma adaptação analítica. Inicialmente, 0,5 gramas de amostra seca de cada tratamento foram pesadas e submetidas a um processo de lavagem com 20 mL de solução de fibra em detergente neutro por 120 minutos em banho-maria a 100 °C. Após o processo, a amostra foi filtrada com bomba a vácuo e secada em estufa com circulação forçada de ar a 55 °C até atingir massa constante, seguida da pesagem.

A determinação da hemicelulose foi feita pela subtração dos teores obtidos para FDN e FDA, ambos expressos em base seca. O processo para determinação de FDA foi semelhante ao descrito para FDN, com a diferença de que foram utilizados 1 grama de amostra de cada tratamento e a solução utilizada para a lavagem foi composta por ácido sulfúrico, CTAB e água destilada.

## **Produção de Etanol**

### **Pré-tratamento**

O pré-tratamento foi realizado adicionando 2 g da amostra em um erlenmeyer de 250 mL e adicionando 100 mL de peróxido de hidrogênio corrigido com

hidróxido de sódio para ajustar o pH para 11,5. O material foi então agitado em uma mesa agitadora modelo Solab por 24 horas a 150 RPM e 25°C (KRISHNA et al., 2000). Após as 24 horas, o material foi filtrado com papel filtro usando uma bomba a vácuo e um kitassato. Em seguida, o material retido no filtro foi secado em estufa por 24 horas a 55°C, e o papel filtro com a amostra foi pesado para expressar o resíduo após o pré-tratamento em termos percentuais da amostra original (*in natura*).

Para tornar os açúcares fermentescíveis disponíveis, os materiais residuais lignocelulósicos obtidos após o pré-tratamento foram submetidos à hidrólise enzimática usando o complexo enzimático Cellic CTec2 da empresa Novozymes. Este complexo enzimático converte os carboidratos complexos da parede celular em açúcares simples para posterior fermentação, e é uma mistura de celulases agressivas, com alto percentual de  $\beta$ -glucosidase e hemicelulase.

O meio reacional consistiu em 0,83 g do substrato (material pré-tratado), 50  $\mu$ L do complexo enzimático Cellic CTec2 diluído em 40 mL de água destilada com pH ajustado para 5 em um erlenmeyer de 125 mL. As reações enzimáticas foram realizadas em uma mesa agitadora modelo Solab a 48°C, agitação de 150 RPM, por 72 horas. A dose de Cellic CTec2 utilizada foi baseada no teor de fibras presente em cada substrato pré-tratado, usando a dosagem que corresponde a 6,0% da massa fibrosa presente na amostra (NOVOZYMES, 2015).

Após 72 horas de reação enzimática, o material foi filtrado em papel filtro com auxílio de vácuo e uso de um kitassato. Em seguida, o material retido no filtro foi pesado, seco em estufa por 24 horas a 55°C e pesado novamente para determinação do coeficiente de hidrólise enzimática.

O coeficiente de hidrólise enzimática representa a porcentagem do material lignocelulósico pré-tratado que foi efetivamente hidrolisado, ou seja, cujos açúcares complexos (celulose e hemicelulose) foram desdobrados em açúcares mais simples e solúveis. Desta forma, é possível estimar a quantidade de açúcares solúveis conhecendo o coeficiente de hidrólise enzimática de uma biomassa.

Entretanto, é importante destacar que a hidrólise enzimática promovida pela Cellic CTec2 não apenas hidrolisa a celulose, mas também a hemicelulose presentes na biomassa. As leveduras, particularmente *Saccharomyces cerevisiae*, exibem um fenômeno bem documentado conhecido como repressão da glicose, onde a presença de glicose inibe a expressão de genes necessários para o metabolismo de açúcares alternativos, incluindo pentoses como xilose e arabinose. Essa repressão é mediada pela atividade da hexoquinase e pelas vias de sinalização de cAMP, que regulam negativamente a utilização de pentoses quando a glicose está disponível (LIU et al., 2023). Dessa forma, para estimar a quantidade de açúcares solúveis disponíveis para a fermentação, considerou-se o percentual de FDA da amostra que se aproxima da quantidade de celulose presente naquela

amostra. Desta forma, evita-se o erro de considerar todos os açúcares solúveis como glicose para a estimativa da produção potencial de etanol 2G. A produção de etanol foi estimada a partir da glicose solubilizada pela hidrólise enzimática.

Após estimar a quantidade de glicose disponível, foi possível calcular o equivalente em etanol utilizando a equação de Gay-Lussac, que estabelece que, a partir de 100 kg de açúcares redutores totais, é possível produzir 46,49 kg do biocombustível (FINGUERUT et al., 1985).

A análise estatística dos dados foi realizada utilizando o software estatístico “SISVAR 5.6” (FERREIRA, 2000).

Todos os dados foram submetidos a uma análise de normalidade usando o teste Shapiro-Wilk e à análise de variância usando o teste F. Em seguida, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%. De acordo com Perecin; Filho (2008), a análise de interação foi realizada sempre que o  $p = 0,25$  (no teste F), para capturar efeitos importantes e a interpretação do efeito das interações foi mantida com  $p = 0,05$ , também usando o teste Tukey.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância indica que houve interação significativa entre biomassa e concentração de peróxido para FDN, FDA, hemicelulose e coeficiente de hidrólise após o pré-tratamento, com nível de significância de ( $p < 0,05$ ) pelo teste F. No entanto, para a estimativa de produção de etanol, não houve interação significativa ( $p > 0,05$ ) entre biomassa e concentração de peróxido. Foi observada diferença significativa apenas para o fator biomassa ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 1** - Resumo da análise de variância para as variáveis FDN, FDA, hemicelulose, coeficiente de hidrólise enzimática e produção de etanol 2G em função de diferentes concentrações de  $H_2O_2$  nas biomassas de sorgo sacarino, cultivares BRS 511 e Malibu.

FV	GL	QM					
		Rend.Pré	FDN	FDA	HEM	CH	Etanol 2G (ml/Kg MS)
Sorgo (S)	1	6,798828*	14,6070*	42,0215*	106,1788 <sup>NS</sup>	0,004915 <sup>NS</sup>	0,236328 <sup>NS</sup>
$H_2O_2$ (H)	3	223,6825*	77,6746*	435,32*	229,5643*	0,038441*	1.559,84892*
S x H	3	30.70089*	20,6600*	90,55*	124,7725*	0,004343*	96,767870 <sup>NS</sup>
Resíduo	16	0,859489	8,44650	9,53	21,41483	0,002074	66,876168
Total	23						
CV (%)		2,46	3,02	3,62	11,87	6,37	12,93

\* Significativo ao nível de ( $p < 0,05$ ) para fatores e ( $p < 0,25$ ) para desdobramento da interação conforme Perecin; Filho (2008). NS: não significativo ao nível de ( $p > 0,05$ ).

Rend.Pré: Rendimento do pré-tratamento, % biomassa *in natura*;

FDN: Fibra em detergente neutro, %MS;

FDA: Fibra em detergente ácido, %MS;

HEM: Hemicelulose, %MS;

CH: Coeficiente de hidrólise, % biomassa pré-tratada;

Etanol 2G: Estimativa da produção de Etanol de segunda geração, mL/kg MS biomassa *in natura*.

## Caracterização das biomassas residuais

Na Tabela 2, são apresentadas as concentrações de FDN, FDA, celulose, hemicelulose e lignina nas biomassas avaliadas. Os valores de celulose e hemicelulose encontrados neste estudo estão dentro da faixa reportada por Bolson et al. (2014), que avaliou quatro cultivares de sorgo. Nessa pesquisa, a celulose variou de 23,45% a 34,09%. Já os valores de FDN e FDA encontrados neste trabalho verificamos valores médios de 58,11% a 58,54% e de 42,64% a 42,70% para cultivares de sorgo sacarino Malibu e BRS 511, respectivamente, indicando uma faixa ligeiramente superior à reportada por Bolson et al. (2012) (FDN: 49,49% e FDA: 22,82%), uma vez que, apesar de ambos os trabalhos avaliarem sorgo sacarino, os cultivares avaliados foram diferentes.

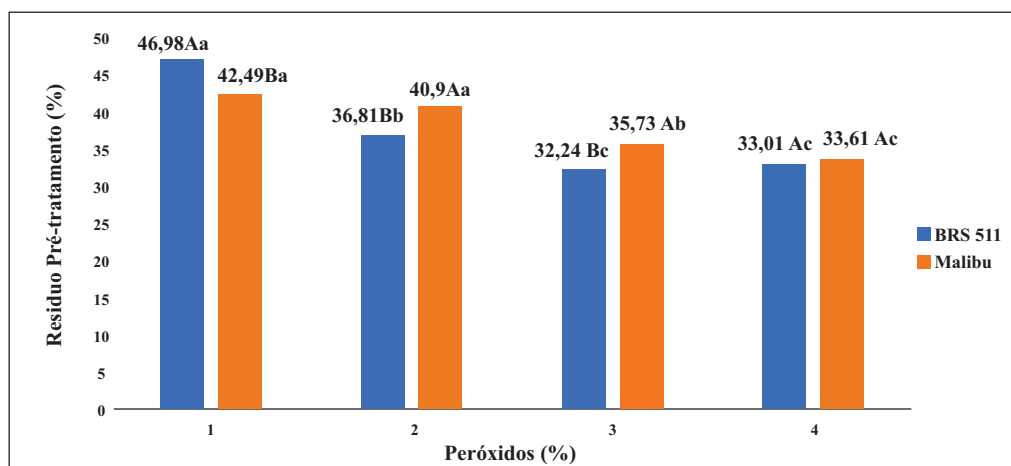
**Tabela 2** - Teores médios de FDN, FDA, celulose, hemicelulose, lignina das cultivares de sorgo BRS 511 e Malibu *in natura*.

CULTIVARES de sorgo	FDN	FDA	Hemicelulose	Celulose	Lignina
	(%matéria seca)				
BRS 511	58,54	42,7	35,58	15,84	7,12
Malibu	58,11	42,64	35,84	15,47	6,8

## Resíduo após o pré-tratamento

Os dados apresentados na Figura 1 se referem aos valores obtidos para o rendimento do pré-tratamento. É possível verificar na Figura 1 que houve uma redução no rendimento do pré-tratamento à medida que a concentração de peróxido de hidrogênio no pré-tratamento aumentou, para ambas as biomassas. No entanto, esta redução ocorreu de forma diferente entre as biomassas, o que evidenciou uma interação significativa ( $p < 0,05$ ). A variedade BRS 511 apresentou um menor rendimento em relação à Malibu a partir de 2% de peróxido no pré-tratamento, e as maiores perdas ocorreram a partir de 3% de peróxido. Já a variedade Malibu apresentou redução no rendimento do pré-tratamento apenas nas concentrações de 3% e 4% de peróxidos, com menor rendimento com 4% de peróxido no pré-tratamento.

Figura 1 - Representação gráfica do rendimento do pré-tratamento, expressado como % da biomassa *in natura* das variedades de sorgo sacarino BRS 511 e Malibu, submetidas a diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio.



As médias seguidas da mesma letra maiúscula (comparando as biomassas dentro do nível de peróxido) e minúscula (comparando os níveis de peróxido dentro de cada biomassa) não apresentam diferenças significativas entre si, segundo o teste de Tukey, a um nível de significância de 5%.

O pré-tratamento é uma etapa importante na produção de etanol a partir de biomassa lignocelulósica, pois afeta a quantidade de material disponível para a hidrólise enzimática. Métodos de pré-tratamento com baixo rendimento, mesmo sendo eficazes na remoção da lignina, podem prejudicar o rendimento final de etanol, considerando o material *in natura*.

## Composição das biomassas após o pré-tratamento

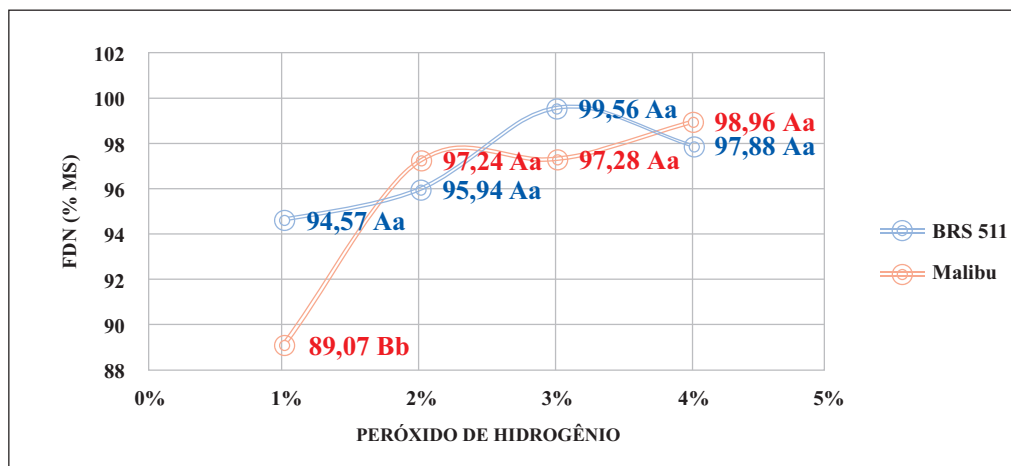
O pré-tratamento com diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio promoveu a remoção das frações não ligadas à parede celular e possivelmente também a deslignificação da biomassa, resultando em um resíduo pré-tratado composto principalmente por carboidratos da parede celular, como pode ser verificado pelo aumento substancial dos teores de FDN e FDA nas amostras pré-tratadas em comparação com as concentrações destas frações na biomassa original. Kucharska et al. (2020) destacam a importância de estudar os mecanismos de mudanças que ocorrem durante o pré-tratamento para aprimorar o entendimento deste processo, o que seria de alto valor científico e prático.

Os dados apresentados na Figura 2 apresentam dados sobre o teor de FDN (fibra detergente neutra) no resíduo de pré-tratamentos para dois tipos de sorgo,



BRS 511 e Malibu. Os resultados mostram que o teor de FDN em BRS511 não foi significativamente afetado por diferentes concentrações de peróxido. No entanto, para o sorgo Malibu, houve um aumento significativo no teor de FDN a partir de uma concentração de 1% de peróxido e nas demais concentrações testadas. FDN é uma medida da quantidade de fibra na biomassa vegetal e é um importante indicador da parede celular. O peróxido de hidrogênio é um composto químico comumente usado em pré-tratamentos para quebrar a estrutura da fibra do material vegetal para facilitar a hidrólise enzimática.

**Figura 2** – Concentração de FDN nas biomassas de Sorgo Sacarino BRS 511 e Malibu após o pré-Tratamento com diferentes concentrações de Peróxido de Hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).



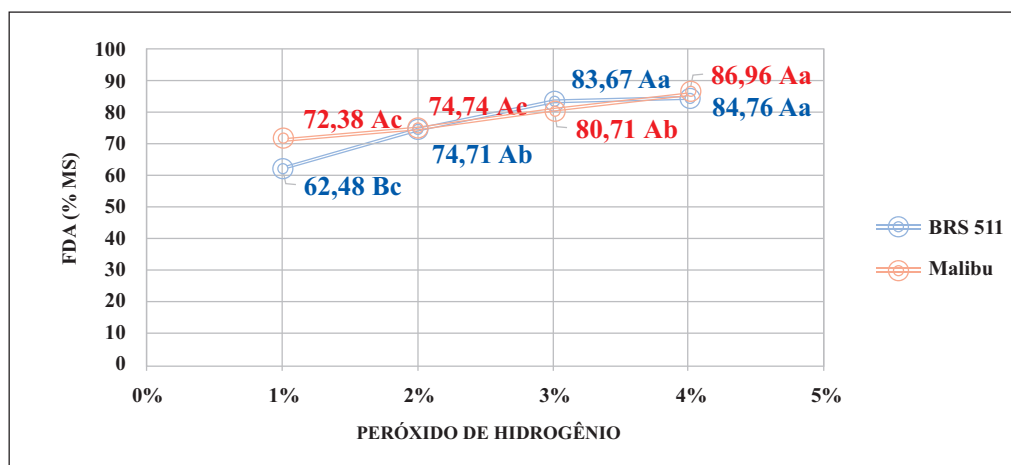
Médias seguidas da mesma letra maiúscula (compara as biomassas dentro do nível de peróxido) e minúscula (compara os níveis de peróxido dentro de cada biomassa) não diferem entre si pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%.

No que se refere aos teores de FDA (Figura 3) avaliados nos resíduos dos diferentes pré-tratamentos, observou-se um comportamento semelhante para ambos os cultivares de sorgo em relação à variação do FDA em função dos níveis de peróxido. Foi verificado que os maiores teores de FDA para ambos os cultivares foram obtidos para níveis de peróxido de hidrogênio de 3% e 4%. Já os níveis de 1% e 2% de peróxido apresentaram menores teores de FDA para os dois cultivares, sendo que apenas no nível de 1% o cultivar BRS 511 apresentou um teor de FDA menor do que o cultivar Malibu.

Com base nas respostas obtidas, sugere-se que a composição de carboidratos e lignina na parede celular pode não apresentar diferenças marcantes em relação aos seus arranjos estruturais moleculares, resultando em comportamentos semelhantes em relação ao efeito do pré-tratamento.

Esses resultados são consistentes com os achados de Wang et al. (2020), que observaram uma remoção mais evidente da lignina e mudanças na microestrutura e nos grupos químicos da biomassa herbácea em relação à madeira macia e dura após o pré-tratamento com NaOH.

**Figura 3** - Valores de FDA e hemicelulose nas biomassas de sorgo sacarino, cultivares BRS 511 e Malibu, após pré-tratamento em diferentes concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.



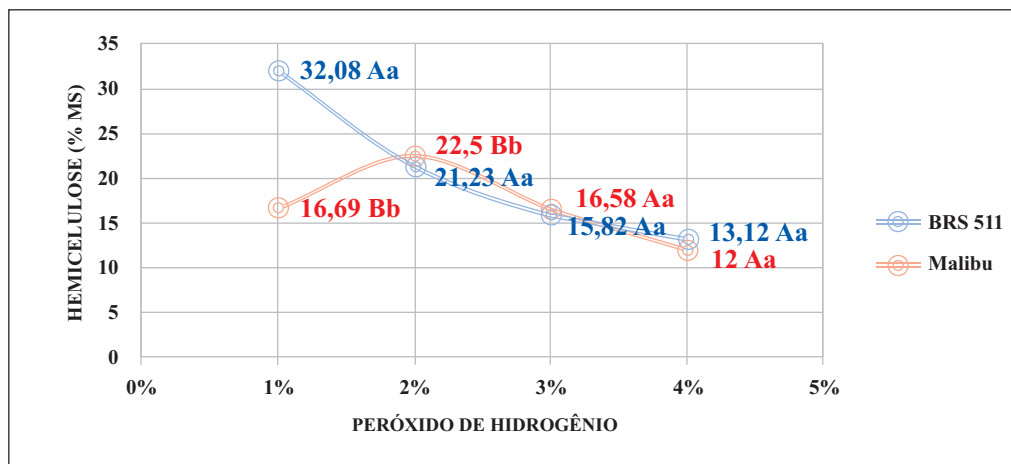
Médias seguidas de mesma letra maiúscula (compara Biomassas dentro do nível de peróxido) e minúsculas (compara níveis de peróxido dentro de cada Biomassa) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância

A hemicelulose foi estimada pela diferença entre FDN e FDA, e os resultados são apresentados na Figura 4. No caso da cultivar BRS 511, observou-se uma queda gradativa no teor de hemicelulose com o aumento da concentração de peróxido no pré-tratamento, variando de 32,08% a 13,12% para as concentrações de 1% a 4% de peróxido.

Embora não tenha sido observada diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para teores de FDA e níveis de peróxido, em termos práticos essa perda pode ser significativa. Já a cultivar Malibu apresentou um comportamento distinto entre as concentrações de 1% e 2%, quando foi possível verificar um aumento no teor de hemicelulose. A partir daí, o teor começa a reduzir, atingindo 12,00% com 4% de peróxido.

Portanto, pode-se dizer que o teor de hemicelulose nos resíduos do pré-tratamento sofreu redução com o incremento das concentrações de peróxido de hidrogênio, apresentando diferenças entre as biomassas apenas para a concentração de 1% de peróxido.

**Figura 4** – Valores de hemicelulose nas biomassas sorgos sacarinos, BRS 511 e Malibu após o pré-tratamento em função de diferentes concentrações de  $H_2O_2$



Médias seguidas de mesma letra maiúscula (compara Biomassas dentro do nível de peróxido) e minúsculas (compara níveis de peróxido dentro de cada Biomassa) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

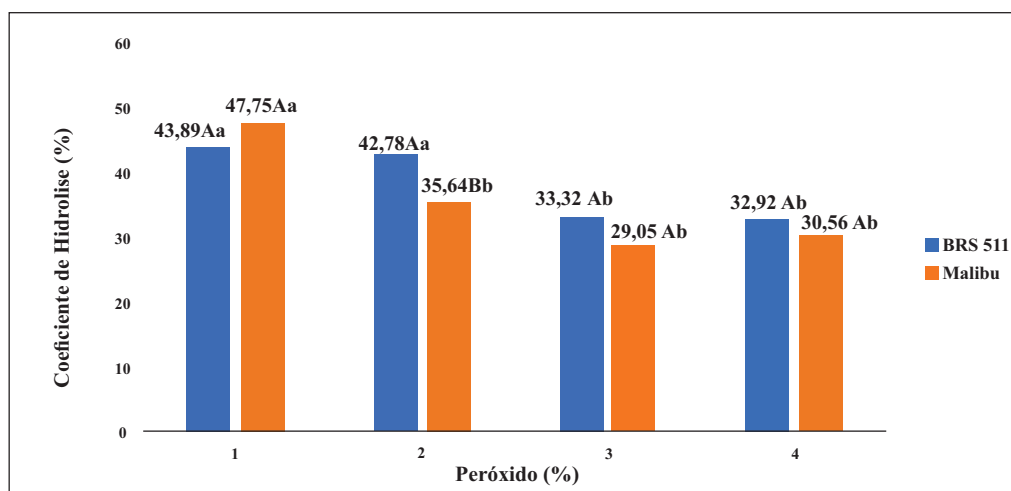
A Figura 5 apresenta os valores do coeficiente de hidrólise enzimática nas biomassas de sorgo sacarino, cultivares BRS 511 e Malibu, após o pré-tratamento em diferentes concentrações de  $H_2O_2$ . Observou-se que houve interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre a biomassa e as concentrações de  $H_2O_2$  no pré-tratamento.

O coeficiente de hidrólise enzimática diminuiu significativamente ( $p < 0,05$ ) com o aumento das concentrações de peróxido em ambas as biomassas, porém de forma diferente. Para a cultivar BRS 511, a redução ocorreu até a concentração de 3% ( $p < 0,05$ ), não havendo diferença entre as concentrações de 3% e 4% ( $p > 0,05$ ). Já para o sorgo Malibu, houve redução no coeficiente de hidrólise até a concentração de 4% de  $H_2O_2$  no pré-tratamento. Nas concentrações de 2% e 3%, o sorgo BRS 511 sofreu uma redução maior em relação ao Malibu ( $p < 0,05$ ), não havendo diferença nas concentrações de 1% e 4% ( $p > 0,05$ ).

Santos et al. (2021) verificaram que os pré-tratamentos ácido e peróxido alcalino do sorgo biomassa foram os mais favoráveis na preservação dos polissacarídeos, apresentando baixa formação de inibidores e boa liberação de glicose e xilose após a hidrólise enzimática. Com base na citação de Santos et al. (2021), é possível inferir que o uso de peróxido de hidrogênio neste trabalho pode ter contribuído para a preservação dos polissacarídeos nas biomassas de sorgo sacarino, cultivares BRS 511 e Malibu. Além disso, os resultados deste estudo indicam que a concentração de peróxido utilizada no pré-tratamento teve

um efeito significativo na hidrólise enzimática, sugerindo que o peróxido de hidrogênio pode ser uma opção promissora para o pré-tratamento de biomassa de sorgo sacarino.

**Figura 5** – Efeito das concentrações de peróxido de hidrogênio no coeficiente de hidrólise enzimática de biomassas de sorgo sacarino, cultivares BRS 511 e Malibu, após pré-tratamento.

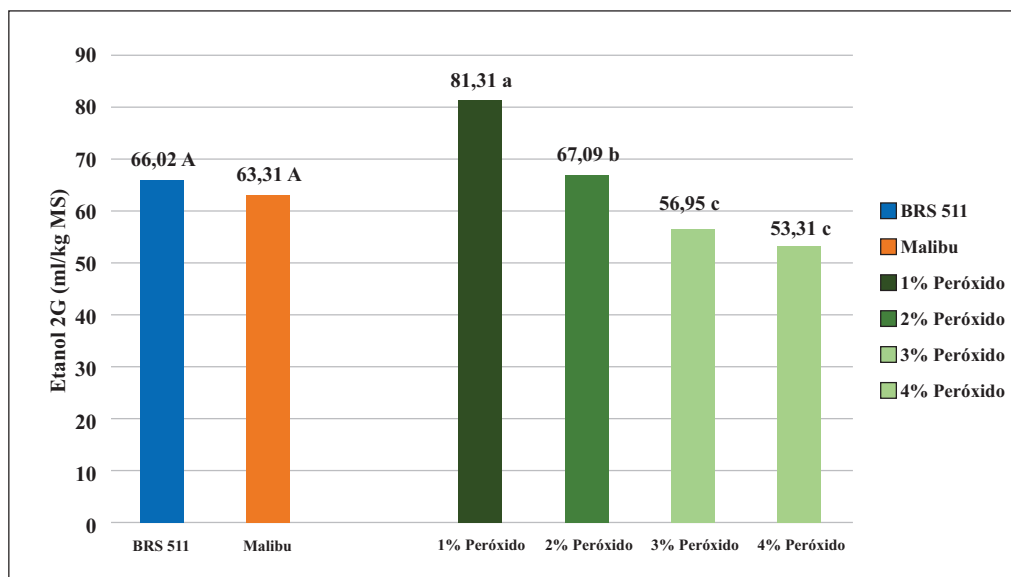


Médias seguidas de mesma letra maiúscula (compara Biomassas dentro do nível de peróxido) e minúsculas (compara níveis de peróxido dentro de cada Biomassa) não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os dados apresentados na Figura 6 referem-se ao rendimento de etanol 2G (L/t.MS). Foi verificado que não houve interação significativa entre a produção de etanol 2G e as biomassas de sorgo ( $p>0,05$ ). No entanto, observou-se uma redução significativa na produção de etanol 2G ( $p<0,05$ ) com o aumento das concentrações de peróxido em ambas as biomassas, sendo que os maiores rendimentos foram obtidos com 1% de  $H_2O_2$  no pré-tratamento.

Considerando o potencial de produção de etanol 2G relatado por Silva (2018) para a cultivar BRS 511 foi de 2.123,86 L.ha<sup>-1</sup>. Levando em consideração a produtividade média do sorgo BRS 511 de 32,17 t de matéria seca por hectare, conforme relatado por Souza (2017), e somando a isso a produção de etanol de sacarose (1G) do mesmo cultivar, que atingiu 4026,64 L.ha<sup>-1</sup>, conforme obtido por Souza (2018), a produção total de etanol seria de aproximadamente 6.150,50 L.ha<sup>-1</sup>. Esses resultados evidenciam que a BRS 511 representa uma opção atrativa para complementar a produção de etanol de cana-de-açúcar durante a entressafra.

**Figura 6** - Rendimento de etanol (L/t.MS) obtido a partir de biomassas de sorgo sacarino, cultivares BRS 511 e Malibu, em diferentes concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: comparação entre as biomassas e entre as concentrações de peróxido



Médias seguidas de mesma letra não se diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância; As letras maiúsculas indicam a comparação das médias entre as biomassas, enquanto as letras minúsculas indicam a comparação das médias entre as concentrações de peróxido de hidrogênio utilizadas no pré-tratamento.

## CONCLUSÕES

O aumento da concentração de peróxido de hidrogênio utilizado no pré-tratamento das biomassas de sorgo BRS 511 e Malibu influenciou negativamente a produção de etanol 2G, sendo observada uma melhor resposta com a utilização de 1% de peróxido. Não foram observadas diferenças significativas entre as variedades de sorgo estudadas quanto à produção de etanol 2G quando expressa em L/t.MS de biomassa. No entanto, é importante ressaltar que as produtividades dessas cultivares devem ser consideradas para expressar o potencial da cultura em litros de etanol por hectare.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro fornecido pela CAPES-PROCAD-AM e Fundação de Amparo à Pesquisa do Tocantins - FAPT.

## Referências Bibliográficas

- BARCELLOS, C. A.; SANTA ANNA, L. A. M.; MAEDA, R. N. PEREIRA JUNIOR. Aproveitamento das frações sacarínea, amilácea e lignocelulósica do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para a produção de bioetanol. **Boletim Técnico da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 54, n. 3, p. 29-46, dez. 2011.
- BOLSON, D. C.; PEREIRA, DALTON H.; PINA, DOUGLAS S.; BANCI, DOUGLAS N.; MOMBACH, M. A.; SILVA, A. F. da; PEDREIRA, B. C.; VERRI, T. C. R. Composição química da silagem de diferentes cultivares de Sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. In: XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória ES, 12 a 14 de maio de 2014. **Anais...** Vitória: UFES, 2014.
- BLÜMMEL, M.; ORSKOV, E. R. Comparação da produção de gás “*in vitro*” e degradabilidade em náilon de alimentos volumosos na previsão do consumo de alimentos em bovinos. **Animal Feed Science and Technology**, v. 40, n. 12, p. 109-119, 1993.
- CORREIA, J. A. D. S. **Estudo do pré-tratamento do bagaço de caju com peróxido de hidrogênio alcalino para a produção de etanol**. 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- EMYDIO, B. M. Produção de etanol a partir de sorgo sacarino. **Artigo em Hypertexto**. 2010. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2010\\_4/sorgo/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2010_4/sorgo/index.htm)>. Acesso em: 28 dez. 2022.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: 45ª REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA. UFSCar, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2000. p.255-258.
- FINGUERUT, J.; LEIMER, K. H.; LUCREDI, H. A.; ROSSELL, C. E. V. **Estequiometria da fermentação alcoólica a partir do caldo de cana**. Piracicaba: Copersucar. cap. 12, p. 45-48, 1985. (Boletim Técnico Copersucar 35/85).
- HAN, K-J.; PITMAN W. D.; KIM, M.; DAY, D. F.; ALISON, MONTGOMERY W. A.; McCORMICK Michael E.; AITA, G. Ethanol production potential of sweet sorghum assessed using forage fiber analysis procedures. **GCB Bioenergy**, v. 5, p. 358-366, 2013. doi: 10.1111/j.1757-1707.2012.01203.x.
- KRISHNA, S. H.; RAO, K. C. S.; BABU, J. S.; REDDY, D. S. Estudos sobre a produção e aplicação de celulose de *Trichoderma reesei* QM-9414. **Bio Process Engineering**, v. 22, p. 467-470, 2000.
- KUCHARSKA, K.; RYBARCZYK, P.; HOŁOWACZ, I.; ŁUKAJTIS, R.; GLINKA, M.; KAMIŃSKI, M. Pré-tratamento de materiais lignocelulósicos como substratos para processos de fermentação. **Molecules**, v. 23, n. 11, p. 2937. 2018. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30423814/>>. Acesso em: 28 out. 2022.
- LIU, J.; YANG, J.; YU, L.; WU, C.; JIANG, Y.; WEI, Z.; YING, H.; YANG, S. Modulated Arabinose Uptake and cAMP Signaling Synergistically Improve Glucose and Arabinose Consumption in Recombinant Yeast. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 71, n. 34, 2023. DOI: 10.1021/acs.jafc.3c04386. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acs.jafc.3c04386>. Acesso em: 26 ago. 2024.

NOVOZYMES. NovozymesCellic® CTec2 e HTec2. **Enzimas para hidrólise de lignocelulósicos**. 2015. Disponível em: <[www.bioenergy.novozymes.com](http://www.bioenergy.novozymes.com)>. Acesso em: 17 jun 2023.

PERECIN, D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 68-72, jan./fev. 2008. doi: [org/10.1590/S1413-70542008000100010](https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000100010).

SANTIAGO, S.; RODRIGUES, F. A. Processamento de biomassa lignocelulósica para produção de etanol: uma revisão. **The Journal of Engineering and Exact Sciences - JCEC**, v. 03, n. 7, p. 1011-1022. 2017. doi: [10.18540/jcecvl3iss7pp1011-1022](https://doi.org/10.18540/jcecvl3iss7pp1011-1022).

SANTOS, B. V.; TRAVAINI, R.; LORENZO-HERNANDO, A.; PASQUINI, D.; BAFFI, M.A. Sorgo biomassa: efeito de pré-tratamentos com ácido, base e peróxido alcalino na hidrólise enzimática e produção de etanol. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 64. 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/babt/a/hCGLFKX9zrCpXjfsrYVfFLp/>>. Acesso em: 27 fev. 2023.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa, MG: Editora UFV. 2012. 235 p.

SILVA, M. A. **Produção de etanol a partir do bagaço de dois cultivares de sorgo sacarino**. Programa de Iniciação Científica da Universidade Federal do Tocantins - UFT. Palmas, 2018.

SOUZA, Hélio de. **Características agronômicas e potencial bioenergético das cultivares de sorgo sacarino e biomassa sob baixa latitude**. 2018. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia)-Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas. 2018. Disponível em: <<https://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/2903/1/H%c3%a9lio%20de%20Souza%20-%20Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

SOUZA, V. F.; PARRELLA, R. A.; PORTUGAL, A. F.; TARDIN, F. D.; DURÃES, N. N.; SCHAFFERT, R. E. **Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em duas épocas de plantio no norte de Minas Gerais, visando a produção de etanol**. Sete Lagoas: Embrapa. 2022. 4p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/40600/1/Desempenho-cultivares.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2022.

WANG, X.; LIU, Y.; HE, Y.; ZHANG, L.; ZHANG, X. Pré-tratamento com NaOH resulta em remoção mais evidente de lignina e alterações na microestrutura e grupos químicos de biomassa herbácea quando comparado a madeiras macias e duras. **Journal of Biotechnology**, v. 317, p. 128-136. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2020.06.013>.