REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

MITIGAÇÃO DO CONSUMO DE LENHA EM FORNOS ARTESANAIS COM O USO DE MONITORAMENTO TÉRMICO: UM ESTUDO NA PRODUÇÃO DE FARINHA DE MANDIOCA

MITIGATION OF FIREWOOD CONSUMPTION IN TRADITIONAL OVENS THROUGH THERMAL MONITORING: A STUDY ON CASSAVA FLOUR PRODUCTION

MITIGACIÓN DEL CONSUMO DE LEÑA EN HORNOS ARTESANALES MEDIANTE EL USO DE MONITOREO TÉRMICO: UN ESTUDIO EN LA PRODUCCIÓN DE HARINA DE YUCA

Karleno dos Reis Ribeiro[1], Elton Rafael Alves[2], Fabricio de Souza Farias[3], Warley Muricy Valente Junior[4], Carmelita de Fátima Amaral Ribeiro[5]

e6106807
https://doi.org/10.47820/recima21.v6i10.6807

PUBLICADO: 10/2025

RESUMO

A produção de farinha de mandioca no Arquipélago do Marajó (PA) constitui uma atividade central para a economia e a cultura regionais, mas ainda apresenta desafios relacionados ao elevado consumo de lenha e à baixa eficiência energética dos fornos artesanais. Este artigo consiste em analisar a mitigação do consumo de lenha em fornos artesanais a partir da aplicação de sistema de monitoramento térmico (SMT) em uma Casa de Farinha comunitária do Arquipélago do Marajó. A pesquisa adotou abordagem quantitativa, baseada em experimentos comparativos realizados sob condições reais de produção. Os resultados evidenciaram uma redução média de 14,6% no consumo de lenha por ciclo. Embora não tenha alcançado significância estatística ao nível de 5% ($p = 0,081$), o efeito observado revela uma tendência consistente de economia. Projetando-se esse desempenho para uma rotina anual de aproximadamente 260 ciclos, estima-se uma economia de cerca de 1,24 toneladas de lenha, correspondendo à mitigação aproximada de 2,17 toneladas de CO_2. Esses achados indicam que, mesmo em fase inicial de aplicação, o monitoramento térmico se apresenta como uma estratégia promissora para o fortalecimento da eficiência energética, a redução de impactos ambientais e o incremento da viabilidade econômica da agricultura familiar.

PALAVRAS-CHAVE: Farinha de mandioca. Monitoramento térmico. Eficiência energética.

ABSTRACT

Cassava flour production in the Marajó Archipelago (Pará, Brazil) constitutes a central activity for the regional economy and culture but still faces challenges related to the high consumption of firewood and the low energy efficiency of traditional ovens. This article analyzes the mitigation of firewood consumption in artisanal ovens through the application of a Thermal Monitoring System (TMS) in a community flour house in the Marajó Archipelago. The research adopted a quantitative approach, based on comparative experiments conducted under real production conditions. The results showed an average reduction of 14.6% in firewood consumption per cycle. Although it did not reach statistical significance at the 5% level ($p = 0.081$), the observed effect reveals a consistent trend of savings. Projecting this performance onto an annual routine of approximately 260 cycles, it is estimated that around 1.24 tons of firewood could be saved, corresponding to an approximate mitigation of 2.17 tons of CO_2. These findings indicate that, even in its early stage of

[1] Mestre em Computação Aplicada. Universidade Federal do Pará - UFPA.
[2] Doutor - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará – UNIFESSPA.
[3] Doutor - Universidade Federal do Pará – UFPA.
[4] Doutor - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará – UNIFESSPA.
[5] Doutora em Eng. Agrícola pela Universidade do Estado do Pará – UEPA.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

application, thermal monitoring emerges as a promising strategy to strengthen energy efficiency, reduce environmental impacts, and increase the economic viability of family farming.

KEYWORDS: *Cassava flour. Thermal monitoring. Energy efficiency.*

RESUMEN
La producción de harina de yuca en el Archipiélago de Marajó (Pará, Brasil) constituye una actividad central para la economía y la cultura regionales, pero aún presenta desafíos relacionados con el alto consumo de leña y la baja eficiencia energética de los hornos artesanales. Este artículo analiza la mitigación del consumo de leña en hornos artesanales a partir de la aplicación de un Sistema de Monitoreo Térmico (SMT) en una casa comunitaria de harina en el Archipiélago de Marajó. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, basado en experimentos comparativos realizados en condiciones reales de producción. Los resultados evidenciaron una reducción promedio del 14,6% en el consumo de leña por ciclo. Aunque no alcanzó significancia estadística al nivel del 5% (p = 0,081), el efecto observado revela una tendencia consistente de ahorro. Proyectando este desempeño para una rutina anual de aproximadamente 260 ciclos, se estima un ahorro de alrededor de 1,24 toneladas de leña, lo que corresponde a una mitigación aproximada de 2,17 toneladas de CO_2. Estos hallazgos indican que, incluso en una fase inicial de aplicación, el monitoreo térmico se presenta como una estrategia prometedora para fortalecer la eficiencia energética, reducir los impactos ambientales e incrementar la viabilidad económica de la agricultura familiar.

PALABRAS CLAVE*: Harina de yuca. Monitoreo térmico. Eficiencia energética.*

INTRODUÇÃO

A produção de farinha de mandioca constitui uma das práticas agroalimentares mais significativas do Arquipélago do Marajó, tanto pelo seu valor cultural quanto pelo impacto socioeconômico que exerce sobre as comunidades tradicionais. Realizada majoritariamente em Casas de Farinha, essa atividade envolve múltiplas etapas, sendo a torração da massa uma das fases mais críticas do processo, por demandar elevado consumo de energia térmica. Nesse contexto, a lenha permanece como principal insumo energético, configurando-se como elemento indispensável para a continuidade da prática, mas que, ao mesmo tempo, impõe desafios relacionados à sustentabilidade ambiental e aos custos produtivos.

O uso intensivo de lenha em fornos artesanais tem gerado preocupações ambientais e econômicas. Do ponto de vista ecológico, observa-se crescente pressão sobre os recursos florestais locais, enquanto, no aspecto produtivo, o desperdício energético e o tempo prolongado de torração comprometem a viabilidade econômica das Casas de Farinha. A literatura demonstra que a gestão ineficiente dos insumos energéticos em sistemas artesanais tende a afetar não apenas os custos, mas também a qualidade do produto final (Azevedo *et al.,* 2023). Diante desse cenário, torna-se necessário buscar alternativas que conciliem a preservação dos saberes tradicionais com estratégias de mitigação dos impactos do consumo de lenha.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

A introdução de tecnologias de monitoramento térmico apresenta-se como alternativa promissora para enfrentar esses desafios. Ao integrar práticas tradicionais a soluções inovadoras, tais tecnologias fornecem parâmetros mais precisos de regulação da temperatura, possibilitando a racionalização do uso da lenha e maior eficiência durante a torração. Estudos recentes evidenciam que sistemas de medição e acompanhamento da temperatura aplicados a fornos artesanais contribuem para reduzir o consumo energético, padronizar etapas do processo e melhorar a eficiência operacional (Santos, 2012).

Nesse contexto, o presente estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: de que forma o uso de sistema de monitoramento térmico pode contribuir para a mitigação do consumo de lenha em fornos artesanais empregados na produção de farinha de mandioca no Marajó? A investigação considera não apenas a dimensão técnica da redução do consumo de biomassa, mas também as implicações socioambientais, econômicas e culturais associadas à adoção dessa inovação.

O objetivo geral da pesquisa consiste em analisar a mitigação do consumo de lenha em fornos artesanais a partir da aplicação de sistema de monitoramento térmico (SMT) em uma Casa de Farinha comunitária do Arquipélago do Marajó. Para alcançar tal propósito, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: (i) Avaliação do desempenho térmico com base nos gráficos de temperatura; (ii) Análise comparativa do consumo de lenha; (iii) Análise estatística (ANOVA); (iv) Conversão econômica da biomassa economizada; (v) Estimativa de redução de emissões de CO_2; (vi) Equivalência com emissões de veículos; e (vii) Síntese dos impactos.

A relevância do estudo reside na contribuição para o fortalecimento da sustentabilidade na produção de farinha de mandioca, atividade essencial para a economia local e marcada por forte identidade cultural. Ao propor soluções voltadas para a redução de impactos ambientais e a otimização do uso de insumos energéticos, esta pesquisa dialoga com debates contemporâneos sobre eficiência energética, valorização cultural e justiça socioambiental. Nesse sentido, o trabalho reforça a importância de tecnologias sociais capazes de promover inovação sem romper com a tradição, abrindo caminhos para o desenvolvimento regional sustentável.

1. MÉTODO

Trata-se de um estudo aplicado, desenvolvido e validado em campo, com foco na implementação de um Sistema de Monitoramento de Temperatura (SMT) para fornos utilizados em Casas de Farinha. O desempenho do sistema foi avaliado em dois cenários comparativos: (i) produção tradicional, sem SMT, e (ii) produção com SMT. Foram conduzidos seis ciclos experimentais (três em cada cenário), mantendo-se o mesmo forno, operadores da comunidade e condições ambientais semelhantes. A variável observada foi a quantidade de lenha consumida.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Os experimentos foram conduzidos na Casa de Farinha da Comunidade Quilombola de São Benedito da Ponta, localizada em Salvaterra-PA, no Arquipélago do Marajó, reconhecida regionalmente pela produção artesanal de farinha de mandioca. O delineamento experimental foi planejado para assegurar a comparação entre os métodos avaliados em condições reais de uso, conferindo maior validade aos resultados obtidos. A unidade produtiva está situada em área oficialmente reconhecida como remanescente de quilombo pela Fundação Cultural Palmares, nas coordenadas geográficas -0,791025° de latitude e -48,597486° de longitude. A produção destina-se simultaneamente ao consumo interno da comunidade e à comercialização em feiras regionais, constituindo relevante fonte de subsistência e renda para os agricultores locais.

A unidade produtiva analisada segue o modelo artesanal, com uso predominante de força de trabalho manual e ausência de mecanismos para o controle térmico. As etapas de produção incluem o descascamento, lavagem, prensagem, esfarelamento, escaldagem e torragem, sendo estas duas últimas realizadas em forno a lenha. O controle da temperatura é feito de forma empírica, baseado na experiência dos agricultores, o que pode acarretar variações na qualidade da farinha, consumo excessivo de lenha e aumento do tempo de produção.

1.1. Infraestrutura da Casa de Farinha

O ambiente físico da Casa de Farinha caracteriza-se por sua rusticidade e funcionalidade, sendo projetado para atender às diferentes etapas do processamento da mandioca. Trata-se de uma edificação simples, localizada nos fundos da residência dos agricultores, composta por um barracão com piso de chão batido, estrutura de madeira e cobertura de palha. As laterais abertas permitem a ventilação natural do espaço, favorecendo as condições de trabalho.

O espaço é equipado com utensílios e equipamentos básicos necessários à produção da farinha de mandioca, como o forno movido a lenha, o tipiti, peneiras, rodos, e recipientes adaptados, como paneirão confeccionados a partir de pneus de automóveis, que possuem tábuas de madeira como base para o armazenamento do produto recém-produzido. Além desses, são utilizados diversos instrumentos manuais próprios da prática tradicional de beneficiamento da mandioca.

1.2. Características do Forno

Os fornos utilizados nas Casas de Farinha exercem função central no processo de produção da farinha de mandioca, sendo responsáveis pela torrefação da massa até que se atinja o ponto ideal de secagem e textura. Tradicionalmente construídos com materiais como alvenaria, barro ou metal, esses fornos operam por meio da queima de lenha, que gera o calor necessário para o cozimento uniforme do produto. A superfície de torra, geralmente composta por uma chapa

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

de cobre ou base cerâmica, é onde a massa é constantemente movimentada com o auxílio de pás ou rodos de madeira.

O controle da temperatura, na maioria dos casos, é feito de forma empírica pelo agricultor, que ajusta a quantidade de lenha e a distribuição do calor com base na sua experiência. Embora funcional, esse método pode resultar em oscilações na qualidade final da farinha devido à ausência de um controle térmico preciso. A Figura 1 apresenta o espaço de produção analisado, evidenciando o forno e a lenha utilizados no processo.

Figura 1. Forno e Lenha



Fonte: Autor (2025)

1.3. Estrutura e Implementação do SMT

O Sistema de Monitoramento Térmico (SMT) foi desenvolvido a partir da integração de diferentes componentes eletrônicos. Utilizou-se um termopar tipo K (faixa de 0 a 1300 °C) acoplado ao módulo MAX6675, responsável pela leitura do sensor por meio da interface SPI. O processamento dos dados foi realizado pelo microcontrolador Arduino Mega 2560, enquanto o módulo micro-SD foi empregado para o armazenamento das informações coletadas. Além disso, foi implementada uma interface local composta por display LCD, LEDs indicadores e buzzer, destinada à sinalização de limites térmicos durante o processo produtivo.

A Tabela 1 apresenta a relação completa dos componentes empregados no desenvolvimento do sistema, incluindo suas quantidades e respectivos valores unitários, de modo a fornecer uma visão detalhada dos recursos utilizados.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 1. Lista de Componentes e Valores

Item	Quantidade	Valor(R$)
Sensor de temperatura de sonda de aço inoxidável Termopar	1	98,79
Cabo De Compensação Tipo K 2x24 Awg Ansi Aço/Fibra 1 Metro	1	59,50
Placa Arduino MEGA 2560 R3	1	49,51
Protoboard 400 pontos + Kit 65 jumpers macho/macho	1	82,80
Módulo Nanoshield Thermocouple Tipo K da Circuitar Eletrônicos	1	43,04
Display LCD 16x2 – Backlight Azul	1	21,06
LED transparente alto brilho 5mm	4	26,98
Resistor 150R 1/4W	4	24,05
Buzzer3V	1	24,20
Módulo Cartão Micro SD	1	13,99
Módulo Relógio RTC DS3231 e bateria	1	22,50
Bateria 9V	1	18,79
Cabo Adaptador Bateria 9V para Arduino	1	14,00
Bateria de Lítio	1	8,90
Cartão de memória	1	8,71
Balança Digital 50kg	1	25,48
TOTAL:	-	542,30

A Tabela 1 apresenta todos os itens utilizados e seus respectivos custos, totalizando R$ 542,30. Apesar de representar um investimento relativamente baixo em termos tecnológicos, esse valor ainda pode ser um obstáculo para pequenos agricultores, especialmente em regiões de baixa renda, o que reforça a importância de políticas de incentivo ou apoio à adoção de tecnologias no meio rural.

Para preservar a integridade dos fornos artesanais, o termopar foi inserido pela abertura destinada à lenha, posicionado sob as chamas, no centro da caldeira e a 5 cm da estrutura de cobre. Esse arranjo permitiu captar de forma representativa as variações térmicas durante as etapas de escaldagem e torração. O módulo eletrônico foi instalado próximo ao agricultor, exibindo em tempo real as temperaturas e emitindo alertas visuais e sonoros sempre que os limites pré-definidos eram ultrapassados.

1.4. Procedimentos de Coleta de Dados

Na etapa inicial, foram executados sete ciclos de produção com o sistema em modo passivo (sem a influência do sistema). Essa fase exploratória teve como finalidade calibrar o

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

sensor termopar tipo K e identificar os intervalos de temperatura característicos das etapas de escaldagem e torragem. Como não havia registros técnicos disponíveis sobre essas faixas térmicas na região, a definição dos parâmetros contou com a colaboração dos agricultores, cujos conhecimentos empíricos foram fundamentais para identificar os momentos ideais de cada fase do processo.

O sistema operou como coletor de dados, registrando continuamente a temperatura interna do forno. As transições entre as fases foram determinadas por meio de observação direta e relatos dos produtores. A análise dos dados permitiu estabelecer limites térmicos médios, que foram utilizados para reprogramar o sistema e garantir sua aplicabilidade prática.

As faixas de temperatura definidas foram:

- Escaldagem: 306–406 °C;
- Torração: 205–305 °C.

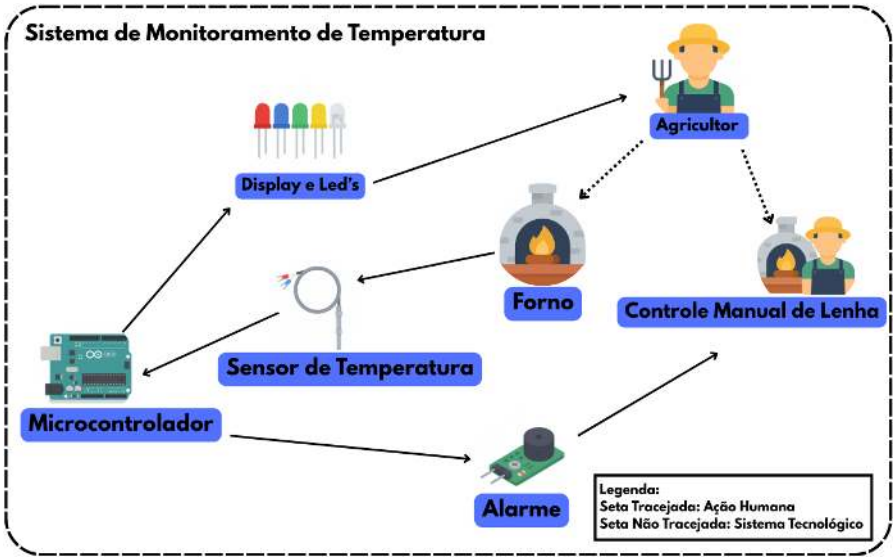
Após a calibração, o SMT passou a operar de forma ativa, emitindo alertas visuais e sonoros sempre que os limites térmicos fossem ultrapassados. O agricultor, então, era orientado a intervir no processo conforme essas sinalizações. Essa interação entre sistema e operador viabilizou um monitoramento mais preciso da temperatura, promovendo maior estabilidade térmica e reduzindo desperdícios energéticos.

1.5. Arquitetura do Sistema de Monitoramento

A Figura 2 apresenta uma representação ilustrativa do Sistema de Monitoramento de Temperatura (SMT) desenvolvido, destacando a integração dos componentes eletrônicos responsáveis pelo monitoramento térmico. O SMT foi projetado para operar por meio da interação entre sensores e um controlador central, possibilitando a captação contínua e o processamento das medições de temperatura ao longo das etapas do processo de produção da farinha de mandioca.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 2. Visão Geral do SMT



Fonte: Autor (2025)

O Sistema de Monitoramento Térmico (SMT) foi projetado a partir de valores de referência estabelecidos para cada etapa da produção de farinha de mandioca, com destaque para as fases de escaldagem e torração. Durante o funcionamento, realiza o acompanhamento contínuo da temperatura, apresentando os dados em um display LCD e por meio de LEDs. Além disso, em caso de ultrapassagem dos limites definidos, o sistema emite um alerta sonoro, permitindo a intervenção manual do agricultor, como o ajuste da quantidade de lenha, assegurando maior estabilidade térmica e contribuindo para a qualidade final do produto.

O processo de operação inicia-se pela captação da temperatura no interior do forno, realizada por um termopar tipo K. Esse sinal analógico é convertido em digital pelo módulo MAX6675, que estabelece comunicação com o microcontrolador Arduino Mega 2560 via protocolo SPI, garantindo precisão e rapidez na transmissão das informações. A partir daí, os dados são processados em tempo real e exibidos no display, ao mesmo tempo em que ficam registrados em um cartão MicroSD, permitindo análises posteriores do desempenho térmico do forno e do processo produtivo.

Dessa forma, o SMT representa uma solução tecnológica que integra monitoramento contínuo, armazenamento de informações e mecanismos de alerta, resultando em um controle mais confiável das condições térmicas. Essa integração favorece a padronização dos procedimentos, amplia a eficiência energética e contribui para a modernização da produção artesanal de farinha de mandioca, sem comprometer os saberes tradicionais das comunidades locais.

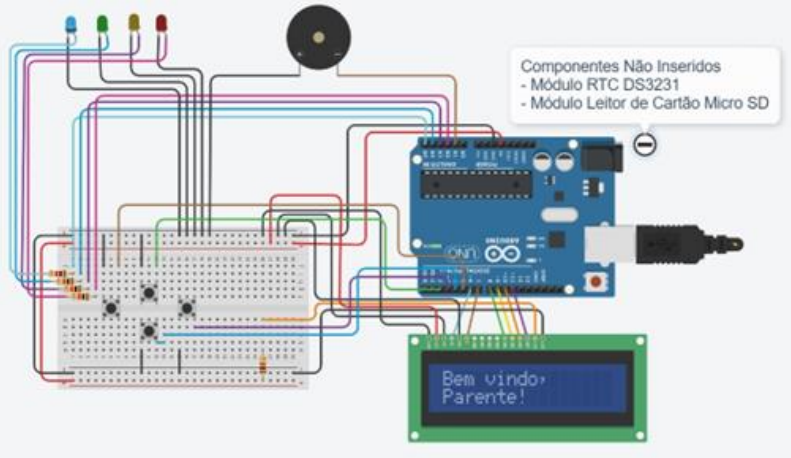
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

1.6. Esquema Eletrônico do Sistema

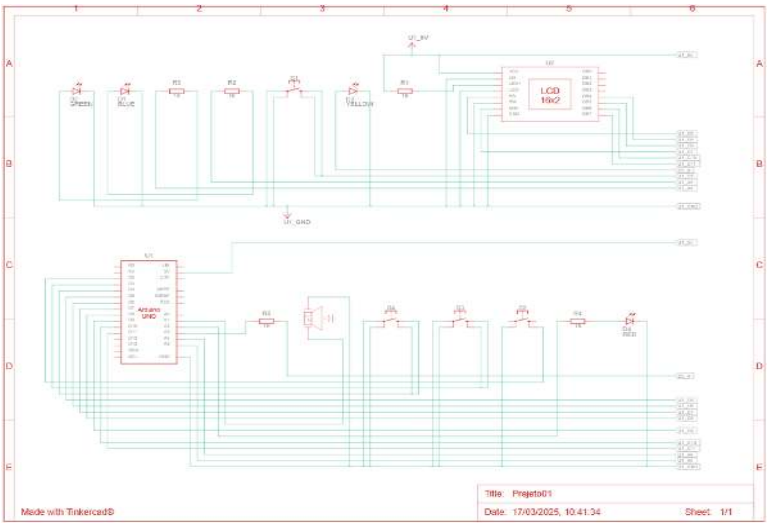
A descrição do circuito eletrônico do sistema é apresentada de forma detalhada na Figura 3, que exibe a conexão entre alguns componentes utilizados, como o microcontrolador Arduino Mega 2560, o display LCD, os LEDs indicadores e o buzzer. Já a Figura 4 apresenta a vista esquemática do sistema, facilitando a visualização da distribuição dos elementos eletrônicos e das interligações que compõem a arquitetura do SMT.

Figura 3. Vista do Circuito



Fonte: Autor (2025)

Figura 4. Vista Esquemática



Fonte: Autor (2025)

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

1.7. Procedimentos Experimentais

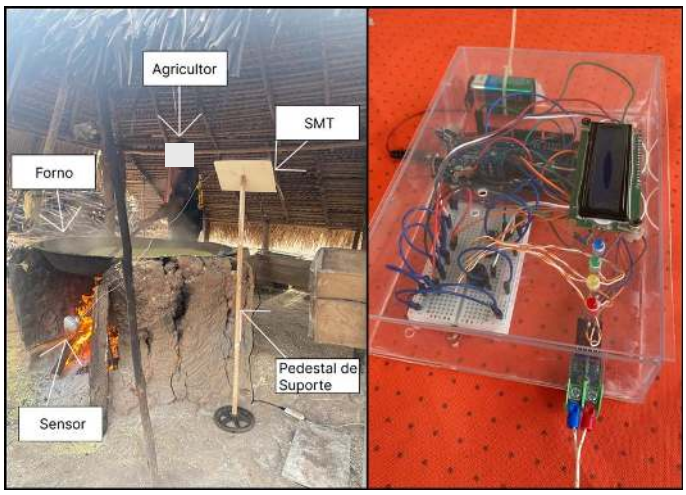
Para avaliar o impacto do SMT sobre o consumo de biomassa, foram executados experimentos em dois cenários:

1. Produção tradicional, passivo (sem a influência do sistema)
2. Produção assistida pelo SMT, (com a influência do sistema).

Cada cenário foi repetido três vezes. A massa de lenha consumida em cada ciclo foi aferida por meio de balança digital de alta precisão.

A seguir, a Figura 5 apresenta o sistema em funcionamento durante o processo de produção de farinha de mandioca, evidenciando sua aplicação prática no ambiente comunitário.

Figura 5. SMT na Produção de Farinha de Mandioca



Fonte: Autor (2025)

2. LENHA EM FORNOS ARTESANAIS COM O USO DE MONITORAMENTO TÉRMICO

A produção de farinha de mandioca possui relevância cultural, histórica e socioeconômica para a Amazônia, em especial para o Arquipélago do Marajó. Trata-se de uma prática herdada de gerações, que preserva saberes tradicionais e constitui importante fonte de renda para comunidades locais. Entretanto, essa atividade enfrenta desafios ligados à modernização dos processos produtivos, sobretudo no que tange à eficiência energética e ao impacto ambiental decorrente do uso intensivo de lenha como insumo primário Souza *et al.,* (2023).

O forno artesanal, como elemento central nas Casas de Farinha, desempenha papel essencial na etapa de torração, mas é também o principal responsável pelo elevado consumo energético. A lenha, embora abundante em algumas áreas, torna-se um recurso de uso crítico em virtude da pressão sobre ecossistemas florestais e da necessidade de conciliar a preservação ambiental com a continuidade da produção (Carvalho; Pereira, 2018).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Nesse contexto, a busca por estratégias que promovam eficiência energética é uma prioridade tanto para pesquisadores quanto para produtores.

A sustentabilidade, enquanto princípio orientador, envolve dimensões ambientais, sociais e econômicas. Para Sachs (2008), a sustentabilidade não pode ser dissociada da valorização cultural e da inclusão social, elementos que são constitutivos da produção artesanal de farinha. No entanto, o consumo de lenha em excesso compromete a sustentabilidade ambiental, favorecendo a degradação dos recursos naturais, além de aumentar os custos de produção, o que impacta diretamente a economia das famílias envolvidas.

Autores como Gil (2008) e Minayo (2009) defendem que pesquisas aplicadas a contextos tradicionais precisam conciliar técnicas modernas de coleta e análise com a compreensão das práticas locais. Nesse sentido, a introdução de tecnologias como sistemas de monitoramento térmico deve ser compreendida não como substituição de práticas culturais, mas como instrumentos de aperfeiçoamento que respeitam e fortalecem os saberes existentes.

O monitoramento térmico em processos de produção agroalimentar já tem demonstrado resultados promissores. Estudos de Santos (2012) apontam que o uso de sensores de temperatura em pequenos processos industriais permite reduzir significativamente o desperdício energético. Do mesmo modo, Silva *et al.,* (2022) destacam que a automação aplicada a processos tradicionais pode otimizar o uso de insumos sem descaracterizar os métodos culturais de produção.

No caso das Casas de Farinha, a etapa de torração exige precisão no monitoramento da temperatura, uma vez que o uso inadequado de calor pode prolongar o tempo de produção, comprometer a padronização do produto e demandar maior consumo de lenha. O monitoramento térmico, nesse cenário, apresenta-se como uma ferramenta de apoio, fornecendo parâmetros mais exatos de operação e permitindo ajustes racionais no fornecimento de calor.

O debate sobre eficiência energética em sistemas produtivos tradicionais também se relaciona à contabilidade ambiental. Segundo Oliveira *et al.,* (2025), medir e registrar os impactos do consumo de recursos é essencial para a gestão sustentável. Assim, monitorar a lenha utilizada em fornos artesanais permite não apenas reduzir custos, mas também gerar dados que podem orientar políticas públicas de apoio às comunidades produtoras.

Outro aspecto importante é a relação entre sustentabilidade e inovação tecnológica. A literatura sobre agroindústrias familiares indica que a adoção de inovações depende de fatores como custo, aplicabilidade e aceitação social (Silva; Lopes, 2021). No caso do monitoramento térmico, sua implementação deve considerar a realidade socioeconômica das comunidades do Marajó, garantindo que os sistemas sejam acessíveis e que não representem uma ruptura cultural, mas uma adaptação incremental.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

O consumo de lenha em fornos artesanais também deve ser analisado sob a ótica da justiça socioambiental. Azevedo *et al.,* (2023) argumenta que práticas de ensino e pesquisa em comunidades tradicionais precisam articular desenvolvimento sustentável com respeito aos modos de vida locais. Isso implica compreender que a mitigação do consumo de insumos energéticos, como a lenha, deve ocorrer de forma dialogada com os produtores, reconhecendo-os como protagonistas do processo de transformação.

Pesquisas realizadas na Amazônia demonstram que o equilíbrio entre tradição e inovação tecnológica é possível quando há participação comunitária ativa. Estudos de Carvalho e Pereira (2018) indicam que estratégias de desenvolvimento sustentável se consolidam apenas quando associam práticas ancestrais à adoção de tecnologias adaptadas. Nesse sentido, o monitoramento térmico não substitui o saber tradicional da torração, mas atua como instrumento de apoio para reduzir erros e desperdícios.

Além dos benefícios ambientais, a mitigação do consumo de lenha apresenta implicações econômicas diretas. A redução no uso de insumos energéticos diminui os custos de produção, aumentando a margem de lucro das famílias produtoras. Isso contribui para a valorização da atividade e para sua continuidade em longo prazo, tornando a produção de farinha mais competitiva em mercados locais e regionais.

Portanto, este estudo evidencia que o uso de monitoramento térmico em fornos artesanais integra-se às demandas contemporâneas por sustentabilidade, inovação e eficiência energética, ao mesmo tempo em que respeita a dimensão cultural da produção de farinha de mandioca. Trata-se de uma alternativa viável para enfrentar o problema do consumo excessivo de lenha, contribuindo para a preservação ambiental, a redução de custos e o fortalecimento socioeconômico de comunidades tradicionais do Marajó.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

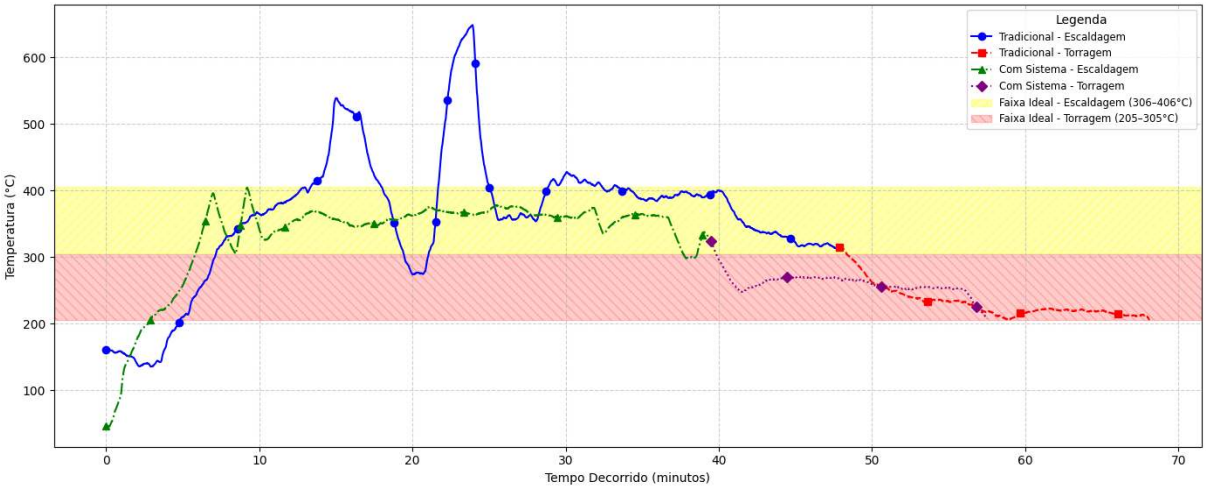
3.1. Avaliação do desempenho térmico com base nos gráficos de temperatura

A análise dos perfis térmicos registrados durante seis ciclos produtivos distintos, sendo três com e três sem a utilização do Sistema de Monitoramento de Temperatura (SMT), cujos dados foram comparados entre si. As Figuras 6, 7 e 8 mostram, de forma integrada, a variação da temperatura ao longo do tempo para ambos os cenários, com base nos dados coletados continuamente pela plataforma Arduino MEGA 2560 durante as etapas de escaldagem e torragem.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

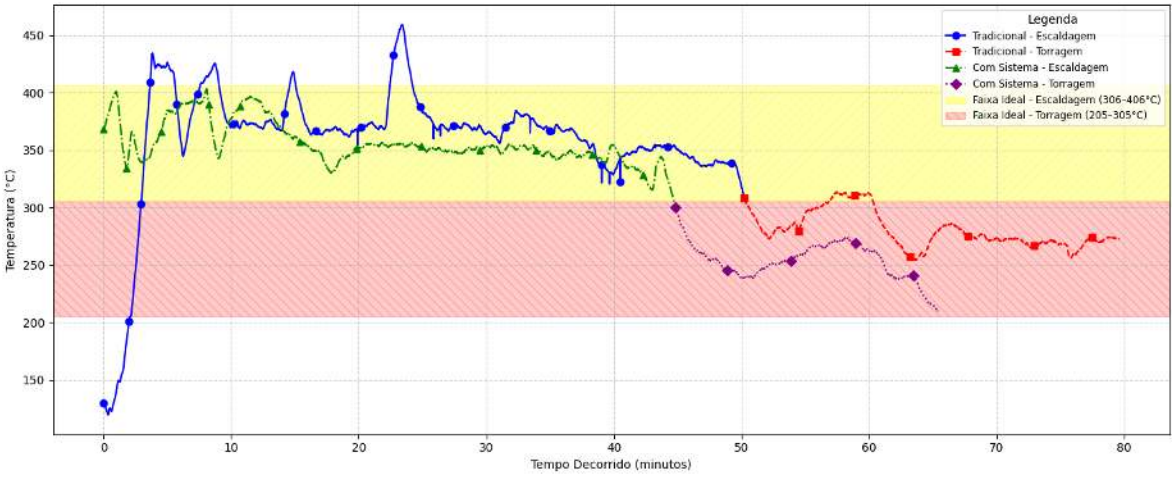
REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 6. Variação da Temperatura ao Longo do Tempo Obtida na 1ª Produção de Farinha



Fonte: Autor (2025)

Figura 7. Variação da Temperatura ao Longo do Tempo Obtida na 2ª Produção de Farinha

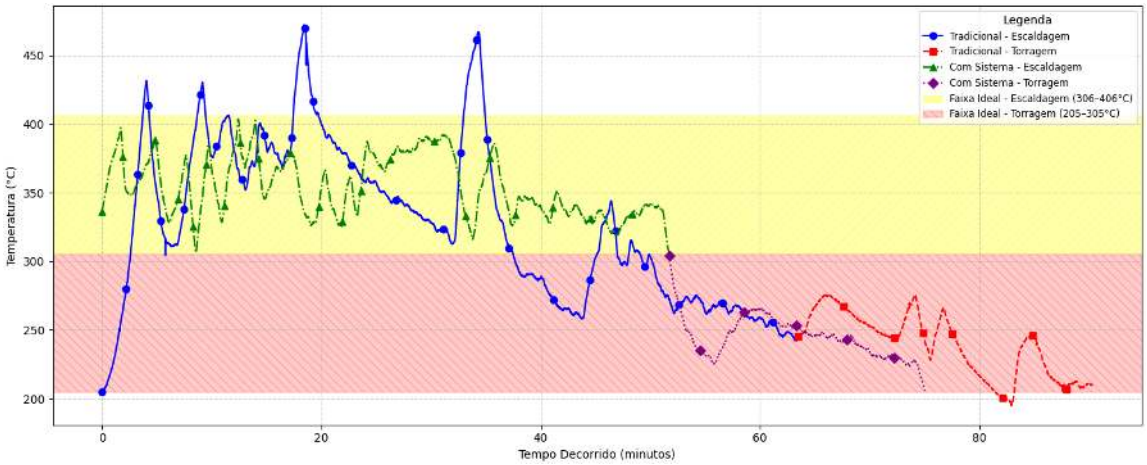


Fonte: Autor (2025)

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 8. Variação da Temperatura ao Longo do Tempo Obtida na 3ª Produção de Farinha



Fonte: Autor (2025)

As faixas de temperatura consideradas ideais foram previamente definidas no protocolo experimental: de 306°C a 406°C para a escaldagem (representada pelo sombreamento amarelo nos gráficos) e de 205°C a 305°C para a torragem (sombreamento rosa). Esses parâmetros foram estabelecidos com base no conhecimento empírico dos agricultores locais, passando a orientar o monitoramento térmico do forno.

A análise dos dados gráficos evidência que, nos ciclos com o uso do SMT, a temperatura se manteve mais estável dentro das faixas estipuladas, apresentando menor ocorrência de picos e quedas abruptas. Essa estabilidade térmica é fundamental para o cozimento homogêneo da massa, contribuindo para a padronização da qualidade da farinha, conforme discutido por Sousa *et al.,* (2023). O controle térmico mais uniforme também reduz perdas por sobreaquecimento ou subaquecimento.

Nos mesmos gráficos, observa-se que, nos ciclos realizados sem o uso do SMT, as oscilações térmicas foram mais acentuadas, refletindo a condução empírica do processo. Essa instabilidade pode comprometer a eficiência operacional e resultar em maior consumo de lenha, devido à necessidade de ajustes manuais frequentes na intensidade do fogo.

A coleta contínua de temperatura em tempo real durante as etapas de escaldagem e torragem permitiu uma avaliação mais precisa do desempenho do sistema, proporcionando subsídios objetivos para a tomada de decisões durante a produção. Entre os principais benefícios observados destacam-se: maior uniformidade da farinha, redução no tempo total de produção e tendência de diminuição no consumo de lenha — aspectos essenciais para a sustentabilidade e eficiência das Casas de Farinha da agricultura familiar.

A avaliação térmica dos ciclos produtivos demonstrou que a implementação do SMT contribuiu de forma significativa para a estabilização da temperatura nos fornos.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Essa estabilidade favoreceu a homogeneidade do produto final, otimizou o uso de energia e contribuiu para a redução dos impactos ambientais, confirmando a eficácia da solução proposta no contexto da agricultura familiar marajoara.

3.2. Análise Comparativa do Consumo de Lenha

A lenha é a principal fonte de energia utilizada nas Casas de Farinha, desempenhando papel fundamental no aquecimento dos fornos durante as etapas de escaldagem e torragem. Contudo, o uso intensivo pode acarretar custos operacionais elevados e provocar significativos impactos ambientais, como a degradação de recursos florestais e a emissão de gases de efeito estufa (IPCC, 2006). Nesse contexto, o uso racional da biomassa lenhosa configura-se como uma estratégia essencial para garantir a sustentabilidade do processo produtivo.

Como intuito de avaliar o impacto da implementação do SMT sobre o consumo de lenha, foram realizados experimentos em dois cenários distintos: (i) produção tradicional, sem o uso do SMT, e (ii) produção com o sistema em funcionamento. Cada cenário foi repetido três vezes, utilizando balança digital de alta precisão para aferição da massa total de lenha consumida por ciclo.

A Tabela 2 apresenta os dados coletados, incluindo valores individuais, médias, desvios padrão e totais consumidos em cada cenário.

Tabela 2. Dados de Consumo de Lenha em Produções com e sem SMT

Produção	Sem SMT (kg)	Com SMT (kg)
1ª	11,42	8,53
2ª	9,87	10,11
3ª	11,37	9,26
Média	10,89	9,30
Desvio Padrão	0,85	0,79
Total	32,66	27,90
Economia	**-**	**4,76 kg**

Fonte: Autor (2025)

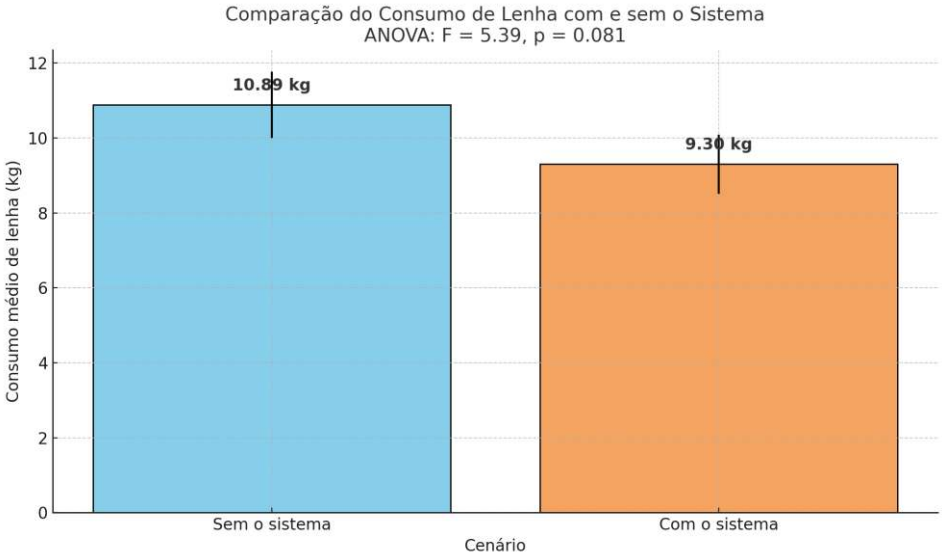
Observa-se uma redução média de 1,59 kg por ciclo, representando uma economia relativa de aproximadamente 14,6% em comparação com o cenário tradicional. Esse resultado indica ganhos consideráveis de eficiência energética no contexto da agricultura familiar.

3.3. Análise Estatística (ANOVA)

Para verificar se a diferença entre as médias é estatisticamente significativa, aplicou-se o teste de ANOVA de um fator, apropriado para comparação de grupos independentes com pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias (Montgomery, 2017). Os resultados estão ilustrados na Figura 9.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 9. Comparação do Consumo de Lenha com e sem o Sistema de Monitoramento



Fonte: Autor (2025)

Com base na análise de variância, observou-se que, ao nível de significância de 5% (α = 0,05), o valor de p = 0,081 foi superior ao limite crítico. Portanto, não há evidências estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese nula de igualdade entre as médias. No entanto, a proximidade do valor de p ao limiar de significância sugere uma tendência de redução no consumo de lenha, que poderá ser confirmada em estudos futuros com maior número de repetições. Ainda que os resultados não tenham alcançado significância estatística, o padrão observado reforça o potencial do sistema de monitoramento como ferramenta de racionalização do uso da biomassa.

3.4. Conversão Econômica da Biomassa Economizada

De acordo com o Informativo CEPEA nº 271, o preço médio do metro cúbico da prancha de Jatobá na região de Paragominas (PA), no mês de julho de 2024, foi de aproximadamente R$ 4.200,00. No mesmo período e localidade, o valor médio do metro cúbico da tora de Angelim Vermelho foi estimado em cerca de R$ 1.400,00 (CEPEA, 2024).

Considerando que não há informações específicas sobre o tipo de madeira utilizada como combustível na Casa de Farinha analisada, adotou-se, para fins de estimativa, o valor referente à madeira de menor custo — a tora de Angelim Vermelho — como referência. A escolha por esse tipo de madeira visa tornar a projeção mais conservadora e realista, especialmente no contexto da agricultura familiar.

Como os preços do CEPEA são apresentados em metros cúbicos (m³) e, neste estudo, o consumo de lenha é expresso em quilogramas (kg), realizou-se a conversão para estimar o custo por quilograma.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Com base na densidade média da madeira de Angelim Vermelho, estimada em 1.090kg/m3 a 15% de umidade, conforme dados do Catálogo de Madeiras Brasileiras para a Construção Civil, elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (2013), é possível realizar a conversão de volume para massa utilizando a relação direta entre essas grandezas. Assim, considera-se que 1 metro cúbico de Angelim Vermelho corresponde a 1.090 kg de madeira. Com base no valor de R$ 1.400,00 por metro cúbico, obtém-se:

Preço por kg = R$ 1.400,00 / 1.090 kg ≈ R$1,28/kg

Assim, o valor aproximado de cada quilograma de lenha de Angelim Vermelho é de R$ 1,28, o que possibilita mensurar com maior precisão os custos da biomassa utilizada na produção de farinha e estimar os impactos econômicos da economia proporcionada pelo sistema de monitoramento de temperatura.

Com isso, o preço médio por quilograma de lenha foi aplicado na quantificação do benefício financeiro anual. Multiplicando-se o total economizado de 1.242,36 kg pelo valor de R$ 1,28/kg, obteve-se uma economia financeira aproximada de:

1.242,36 kg x R$ 1,28/kg = R$ 1.590,22

Esse resultado demonstra que, além de contribuir para a redução do impacto ambiental causado pela queima excessiva de biomassa, o sistema de monitoramento de temperatura proporciona ganhos econômicos relevantes para os produtores, especialmente no contexto da agricultura familiar, em que o custo com insumos pode comprometer significativamente a renda líquida da atividade.

3.5. Estimativa de Redução de Emissões de CO_2

A lenha, ao ser utilizada como combustível, gera emissões diretas de dióxido de carbono (CO_2). Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2006), o fator de emissão é de 1,747 kg de CO_2 para cada 1 kg de lenha queimada. Aplicando esse fator à economia anual estimada de 248,04 kg de lenha, obtém-se:

Redução Anual de CO_2 = 248,04 x 1,747 = 433,32 kg de CO_2

Portanto, a implementação do sistema de monitoramento não apenas racionaliza o consumo de biomassa, como também contribui para a mitigação de aproximadamente 433,32 kg de CO_2 por ano. Isso representa um avanço relevante em termos de sustentabilidade ambiental no contexto da produção artesanal de farinha de mandioca.

3.6. Equivalência com Emissões de Veículos

Para contextualizar a mitigação de 2.170,40 kg de CO_2 por ano, realiza-se uma analogia com a emissão média de veículos automotores. De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2016), um automóvel movido a gasolina emite cerca de 192 g de

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

CO_2 por quilômetro rodado, o que corresponde a aproximadamente 2.496 kg de CO_2 ao ano, considerando uma quilometragem média anual de 13.000 km.

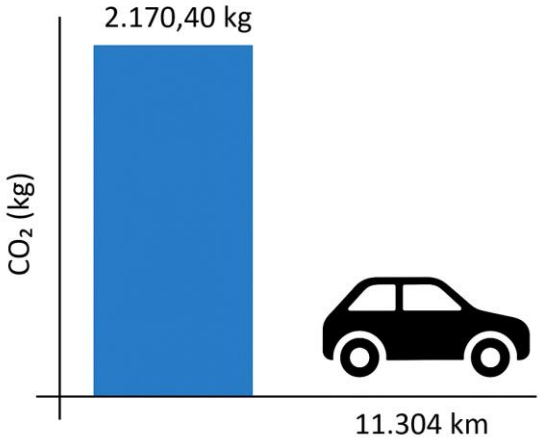
Esses valores são amplamente utilizados em inventários de emissões veiculares, como demonstrado no estudo de Silva e Lopes (2021), que adotam as métricas da CETESB como referência para o cálculo de emissões em diferentes categorias e faixas etárias da frota nacional. Assim, a comparação com o setor de transportes permite compreender, em termos práticos, a relevância da mitigação obtida neste estudo.

Dessa forma, a economia de 2.170,40 kg de CO_2 equivale à emissão de um automóvel convencional ao percorrer a seguinte distância:

Distância Equivalente = 2.170,40 kg CO_2 / 0,192 kg/km ≈11.304 km

Esse valor representa uma distância significativa, reforçando o impacto positivo da adoção do sistema em relação à redução das emissões de gases de efeito estufa. A equivalência é ilustrada na Figura 10, que apresenta visualmente a distância que um veículo poderia percorrer antes de emitir a mesma quantidade de CO_2 mitigada pelo sistema estudado.

Figura 10. Redução de CO_2 equivalente a um Carro Popular Rodando 11.304 km



Fonte: Autor (2025)

Os resultados evidenciam que a mitigação alcançada corresponde a uma expressiva redução de emissões, comparável ao deslocamento de um veículo por mais de 11 mil quilômetros. Esse impacto ambiental positivo associa-se diretamente à produção de farinha no contexto da agricultura familiar, demonstrando que a adoção do sistema não apenas contribui para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, mas também fortalece práticas produtivas mais sustentáveis. Sua aplicação promove ganhos ambientais e econômicos sem comprometer a produtividade, reforçando o potencial da solução como instrumento de modernização sustentável das unidades tradicionais na região amazônica.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3.7 Síntese dos Impactos

Os resultados obtidos demonstram que a utilização do monitoramento térmico exerceu impacto significativo na redução do consumo de lenha. Antes da adoção da tecnologia, o processo de torração demandava um volume elevado de combustível, frequentemente utilizado de forma ineficiente em razão da ausência de uma regulação precisa da temperatura do forno. Com a implementação do sistema de monitoramento, observou-se uma redução expressiva de 14,57% no uso de lenha durante o processo produtivo. Esse resultado reforça a relevância da inovação tecnológica para a promoção da sustentabilidade ambiental, uma vez que contribui para a mitigação dos impactos associados ao consumo de biomassa, incluindo a diminuição das emissões de dióxido de carbono (CO_2). Além disso, a racionalização do uso da lenha torna o processo produtivo mais economicamente viável para as unidades de agricultura familiar.

Do ponto de vista ambiental, a diminuição do consumo de lenha implica diretamente na redução da pressão sobre áreas florestais do entorno das comunidades. Como discutem Acselrad (2004) e Bullard (2005), o uso intensivo de recursos naturais em processos produtivos sem controle tende a reforçar desigualdades socioambientais e a ampliar a degradação dos ecossistemas. Nesse sentido, o monitoramento térmico aparece como uma estratégia de mitigação que contribui para práticas produtivas mais sustentáveis, alinhadas com os debates contemporâneos sobre justiça ambiental.

Outro aspecto observado durante os experimentos foi a necessidade de adaptação inicial ao uso do sistema. Com o decorrer dos ciclos, notou-se que os operadores da Casa de Farinha passaram a utilizar de forma mais autônoma as informações exibidas pelo sistema, incorporando gradualmente esse recurso ao manejo do forno.

Apesar dos avanços identificados, alguns desafios permanecem. Entre eles, destacam-se as condições das instalações físicas das Casas de Farinha e as diferentes etapas do processo produtivo, como prensagem, secagem, torrefação e moagem. A ausência de padronização nesses aspectos pode interferir nos resultados e exigir adaptações específicas dos sistemas de monitoramento térmico, o que reforça a importância de estudos em contextos diversos e com distintos níveis de infraestrutura.

Outro entrave refere-se ao custo de implementação do sistema. Embora a eficiência do monitoramento térmico tenha sido comprovada, o investimento inicial pode representar uma barreira, sobretudo para pequenos produtores com acesso limitado a recursos financeiros e apoio técnico. Esse cenário evidencia a necessidade de políticas públicas de incentivo e de estratégias de sensibilização comunitária, que possibilitem a difusão da tecnologia de forma inclusiva.

De modo geral, os resultados sugerem que a incorporação do monitoramento térmico em fornos artesanais contribui para a mitigação do consumo de lenha, a melhoria da eficiência energética e o fortalecimento da sustentabilidade socioeconômica da produção de farinha de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

mandioca no Marajó. Ao mesmo tempo, destaca-se a importância de considerar os aspectos culturais e identitários das comunidades tradicionais, garantindo que a inovação tecnológica funcione como instrumento de fortalecimento — e não de substituição — dos saberes locais.

4. CONSIDERAÇÕES

O presente estudo evidenciou que a implementação do Sistema de Monitoramento Térmico (SMT) em Casas de Farinha no Marajó contribuiu significativamente para a otimização do processo produtivo da farinha de mandioca. Os resultados apontaram para uma redução média de 11,67% no tempo total de produção, resultado diretamente associado ao controle mais preciso das etapas de escaldagem e torração. Essa economia de tempo representa ganhos substanciais para os agricultores familiares, ao permitir maior produtividade em menor intervalo, além de favorecer a dinamização da cadeia produtiva local.

Outro aspecto de destaque foi a redução aproximada de 14,6% no consumo de lenha, configurando um avanço tanto no campo econômico quanto no ambiental. Do ponto de vista econômico, a diminuição dos gastos com combustível amplia a margem de lucro dos produtores, tornando a atividade mais competitiva e sustentável financeiramente. Do ponto de vista ambiental, a menor demanda por lenha contribui para a redução da pressão sobre os recursos florestais da região, aspecto de especial relevância para a sustentabilidade amazônica, como apontam Souza *et al.,* (2023) e Azevedo *et al.,* (2023) em estudos sobre eficiência energética e conservação ambiental.

O caráter colaborativo da pesquisa, articulando o conhecimento técnico-científico ao saber tradicional dos agricultores, mostrou-se decisivo para o êxito do estudo. Durante a fase de calibração, constatou-se que a integração entre ciência e tradição potencializa soluções tecnológicas mais adequadas à realidade local, além de favorecer sua aceitação e apropriação pela comunidade. Esse resultado reforça a importância das metodologias participativas em projetos de inovação voltados à agricultura familiar, conforme defendem Back (2021) e Santos *et al.,* (2021).

No que se refere à sustentabilidade, o SMT demonstrou ser uma ferramenta eficaz para a promoção de uma produção mais limpa, eficiente e socialmente justa. A redução no uso de insumos, a mitigação dos impactos ambientais e a valorização das condições de trabalho dos agricultores configuram-se como contribuições relevantes para o fortalecimento de práticas agrícolas sustentáveis no contexto amazônico (IPCC, 2006; Azevedo *et al.,* 2023).

Por fim, este estudo aponta para a viabilidade de replicação do SMT em outras comunidades produtoras, dada sua simplicidade e facilidade de adaptação. Recomenda-se, entretanto, que pesquisas futuras aprofundem a análise de longo prazo, abrangendo não apenas aspectos técnicos, mas também dimensões econômicas mais amplas, bem como a inserção

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

dessa tecnologia em cadeias produtivas maiores. Assim, o SMT se consolida não apenas como uma inovação tecnológica voltada ao processo de produção da farinha de mandioca, mas também como um modelo de tecnologia social com potencial para promover o desenvolvimento sustentável em territórios amazônicos.

O presente estudo evidenciou que a utilização de sistemas de monitoramento térmico em fornos artesanais de Casas de Farinha no Marajó constitui uma estratégia eficaz para a redução do consumo de lenha e para o aumento da eficiência produtiva. Os resultados demonstraram que a tecnologia contribuiu para maior estabilidade na regulação da temperatura durante o processo de torração, refletindo diretamente na diminuição do tempo de produção e na racionalização do uso energético. Esses achados confirmam a relevância da inovação como ferramenta de mitigação de impactos ambientais em atividades agroalimentares tradicionais, alinhando-se às demandas atuais por sustentabilidade no setor rural.

A adoção do sistema mostrou-se estratégica ao proporcionar reduções significativas nos custos produtivos e ganhos em eficiência energética, resultantes do uso mais racional da biomassa como combustível. Além da viabilidade econômica, esses benefícios repercutem positivamente no âmbito social e cultural, ao tornar o processo produtivo mais sustentável e ao contribuir para a valorização da farinha de mandioca no mercado regional, reforçando a identidade cultural das comunidades produtoras.

Outro aspecto relevante observado foi o processo de aprendizagem e adaptação tecnológica por parte das comunidades. A implementação do monitoramento térmico exigiu capacitação inicial e promoveu reflexões sobre a articulação entre os saberes tradicionais e o uso de tecnologias contemporâneas. Esse movimento sugere a construção de práticas produtivas híbridas, nas quais os conhecimentos locais dialogam de forma crítica e complementar com as inovações tecnológicas, fortalecendo a autonomia dos agricultores familiares.

Entretanto, foram identificados desafios estruturais e sociais que podem limitar a adoção plena da tecnologia, tais como os custos de manutenção dos equipamentos, a necessidade de suporte técnico contínuo e a resistência inicial de alguns produtores diante de mudanças no processo produtivo. Esses entraves evidenciam a necessidade de políticas públicas específicas, programas de incentivo e ações de extensão rural que assegurem a sustentabilidade e a difusão da inovação, sobretudo em comunidades com menor acesso a recursos financeiros e tecnológicos.

Conclui-se, portanto, que a mitigação do consumo de lenha por meio do monitoramento térmico representa uma alternativa viável e promissora para o fortalecimento da produção de farinha de mandioca no Marajó, sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável. A experiência analisada reforça a importância de integrar ciência, tecnologia e saberes tradicionais na

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

construção de um modelo de produção ambientalmente responsável, economicamente viável e culturalmente valorizado.

REFERÊNCIAS

ACSELRAD, H. Justiça ambiental e construção social do risco. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 10, p. 49-60, 2004.

ALMEIDA, R. L. *et al.* Monitoramento térmico em processos agroindustriais: avanços e desafios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 215-222, 2018.

AZEVEDO, G. A.; AZEVEDO, J. R.; NETO, I. O.; OLIVEIRA, I.; COSTA, H. B.; SILVA, F. G. Avaliação de Sustentabilidade nos Sistemas de produção da comunidade quilombola barro vermelho, município de Chapadinha – MA. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 2, e422670, 2023. https://doi.org/10.47820/recima21.v4i2.2670

AZEVEDO, J. R.; VASCONCELOS, M. C. C. A.; SILVA, A. F. A.; AZEVEDO, G. A.; SILVA, M, M, R. Análise da sustentabilidade dos sistemas de produção de agricultores familiares de vargem grande, chapadinha e buriti, estado do maranhão. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 10, e4104216, 2023. https://doi.org/10.47820/recima21.v4i10.4216

BACK, J. C. Agricultura familiar e desenvolvimento rural sustentável: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, v. 9, n. 2, p. 55-72, 2021.

BARBOSA, W. C. Sustentabilidade e inovação em comunidades tradicionais. **Revista de Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 2, p. 45-63, 2017.

BECKER, S.; KUNZE, C.; VANCEA, M. Community energy and social entrepreneurship: addressing purpose, organisation and embeddedness of renewable energy projects. **Journal of Cleaner Production**, v. 147, p. 25–36, 2017.

BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade**: o que é - o que não é. 2. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2013. p. 107.

BRASIL. Ministério da Agricultura, **Pecuária e Abastecimento. Manual de Boas Práticas para Casas de Farinha**. Brasília: MAPA, 2016.

BULLARD, R. D. **The quest for environmental justice**: human rights and the politics of pollution. San Francisco: Sierra Club Books, 2005.

CARVALHO, A. S.; PEREIRA, J. R. Uso de tecnologias de automação em unidades familiares de produção de alimentos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 99-110, 2018.

CEPEA–CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. Informativo CEPEA–Setor Florestal: preço lista em dólar da celulose no mercado doméstico se estabilizará em agosto, após 8 meses de altas seguidas. **CEPEA**, Piracicaba, SP, n. 271, jul. 2024.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO**. Fatores de emissão de CO_2 no Brasil**. São Paulo: CETESB, 2016.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. L. Caracterização da farinha de mandioca do grupo seca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 861-864, 2006.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

FERREIRA, L. C. Sustentabilidade: uma abordagem histórica da sustentabilidade. *In:* BRASIL. **Encontros e Caminhos**: Formação de Educadoras(es) Ambientais e Coletivos Educadores. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos10/31_cons%20teor%20bacha.pdf

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GONÇALVES, F. A. S.; SOUZA, P. R. Automação de fornos artesanais e impactos na eficiência energética. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 28, n. 1, p. 112-120, 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal 2022**: mandioca no Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Estudo sobre biomassas energéticas no Brasil**. São Paulo: IPT, 2013.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Hayama: IGES, 2006.

IPIRANGA, A. S. R.; GODOY, A. S. Relatório Brundtland**. RAM, Rev. Adm. Mackenzie** (Online), São Paulo, v. 12, n. 3, jun. 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S167869712011000300002&lng=pt&tlng=pt

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento**: pesquisa qualitativa em saúde. 12. ed. São Paulo: Hucitec, 2009.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 9th ed. Hoboken: John Wiley Sons, 2017.

NASCIMENTO, A. C.; COSTA, M. F. Sustentabilidade energética na agricultura familiar: estudo de caso em comunidades amazônicas. **Revista de Políticas Ambientais**, v. 5, n. 2, p. 76-91, 2019.

OLIVEIRA, J. S.; CAMPOS, J. R. O.; PEREIRA, B. M.; FERREIRA, M. A. C.; JESUS, S. R. P.; Contabilidade ambiental e sustentabilidade: Uma análise bibliométrica realizada no amazonas. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar, v.** 6, n. 1, e616114, 2025. https://doi.org/10.47820/recima21.v6i1.6114.

REICHERT, L. Automação e controle de processos agroalimentares: perspectivas para pequenos produtores. **Revista Brasileira de Inovação Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 45-58, 2018.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

SANTOS, D. S. R. Redução do consumo e custo dos insumos com automatização da máquina de bioquímica em um laboratório de análises clínicas. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 2, n. 10, e210904, 2021. https://doi.org/10.47820/recima21.v2i10.904

SANTOS, F. M. A positive theory of social entrepreneurship. **Journal of Business Ethics**, v. 111, p. 335–351, 2012.

SILVA, E. C.; LOPES, J. A. Efeitos do uso de sensores térmicos na produção de farinha de mandioca. **Revista de Tecnologia Agroindustrial**, v. 12, n. 4, p. 55-70, 2021.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

SILVA, J. H. R.; MINHONI. D. C. R.; FLORIAN, F. Proposta de automação em uma seladora de copos utilizando microcontrolador pic16f628a. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar,** v. 3, n. 12, e3122490, 2022. https://doi.org/10.47820/recima21.v3i12.2490

SOUSA, M. D. N; PIRES, T. G.; PRAZERES, A. R.; FIGUEIRAS, L. A. SANTOS, S. F.; SILVA, E. V. C.; DANTAS, V. V.; SILVA, J. B. Cassava and tapioca flour quality in the state of Pará, Brazil. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 9, e493783, 2023. https://doi.org/10.47820/recima21.v4i9.3783

SOUZA, M. A.; BARBOSA, D. P. Eficiência energética em fornos artesanais: alternativas sustentáveis para comunidades tradicionais. **Revista de Engenharia Rural e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 87-95, 2019.

STAHLHÖFER, M. M. **Valorização do resíduo agroindustrial da mandioca**: caracterização físico-química da crueira e aplicação na formulação de biscoito tipo cookie sem glúten. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Alimentos) – Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus São Miguel do Oeste, São Miguel do Oeste, 2019.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.