SENAI CETIQT SENAI Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

ISSN 2179-1876

REDiGE

Edição nº 12

Revista de Design, Inovação e Gestão Estratégica

Fev. – Set. 2025

A Gaseificação de Biomassa como Fonte Sustentável de Produção de Hidrogênio: Uma Análise de Processo

Nitração de Acetanilida: uma abordagem didática para o desenvolvimento de processos químicos

Acondicionamento de fios de algodão: impactos na eficiência e qualidade do tear

SUMÁRIO

01 **Explorando a nitração da acetanilida:** uma abordagem didática na disciplina de desenvolvimento de processos

02 **A gaseificação de biomassa como fonte sustentável de produção de hidrogênio:** uma análise de processo

03 **A importância do acondicionamento dos fios 36/1 ne 100%co utilizados na trama na eficiência do tear:** uma análise comparativa

01

Explorando a nitração da acetanilida:

uma abordagem didática na disciplina de desenvolvimento de processos

EXPLORANDO A NITRAÇÃO DA ACETANILIDA: UMA ABORDAGEM DIDÁTICA NA DISCIPLINA DE DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS

EXPLORING THE NITRATION OF ACETANILIDE: A DIDACTIC APPROACH IN THE DISCIPLINE OF PROCESS DEVELOPMENT

Adriana Alves Barbosa
Ensino, Professora, Departamento de Engenharia Química, SENAI CETIQT

Livia Paloni do Nascimento da Silva
Ensino, Técnica em Química, Departamento de Engenharia Química, SENAI CETIQT

Resumo

Na Unidade Curricular (UC) de Desenvolvimento de Processos do curso de Engenharia Química da Faculdade SENAI CETIQT, na disciplina de Processos Orgânicos, buscou-se integrar o conteúdo teórico à experimentação, com o objetivo de desenvolver as capacidades técnicas, sociais, organizativas e metodológicas dos alunos. Dentro do contexto da nitração, uma mistura de ácido nítrico e ácido sulfúrico resulta na formação do íon nitrônio (NO_2^+), que promove a substituição no anel aromático ou em um composto alifático, gerando um nitrocomposto. Neste estudo, foi realizado o experimento de nitração da acetanilida, formando p-nitroacetanilida. Para a confirmação e identificação do produto formado, determinou-se o ponto de fusão e realizou-se uma análise por FTIR (Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier).

Palavras-chave: desenvolvimento de processos; nitração; experimentação.

Abstract

In the Curricular Unit (CU) of Process Development in the Chemical Engineering course at SENAI CETIQT, in the Organic Processes discipline, the aim was to integrate theoretical content with experimentation, to develop the technical, social, organizational, and methodological skills of the students. Within the context of nitration, a mixture of nitric acid and sulfuric acid results in the formation of the nitronium ion (NO_2^+), which promotes substitution on the aromatic ring or in an aliphatic compound, generating a nitrocompound. In this study, the nitration experiment of acetanilide was carried out, forming p-nitroacetanilide. To confirm and identify the product formed, the melting point was determined, and FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) analysis was performed.

Keywords: process development; nitration; experimentation.

Data de submissão: 12/05/2025.

Data de aprovação: 04/07/2025.

1 INTRODUÇÃO

Os processos industriais químicos são operações ou um conjunto de operações coordenadas que provocam transformações químicas e/ou físicas em um material ou mistura de materiais. Para projetar uma planta industrial, é essencial conhecer as condições do processo, os fenômenos de transporte e as reações que ocorrem durante a operação. Para garantir a excelência exigida do produto, deve-se primar pela qualidade e pureza dos reagentes, incluindo a água utilizada (Shreve et al., 2012).

Um processo químico é desenvolvido na fase do projeto conceitual (início do projeto básico), em que se elabora o fluxograma do processo, que envolve o sequenciamento dos equipamentos - reatores, sistemas de separação e purificação, integração energética e montagem das principais malhas de controle. Após essa etapa, realiza-se o balanço de massa e energia do processo com o auxílio de ferramentas computacionais, como softwares de simulação (Aspen Plus, Aspen HYSYS, DWSIM, entre outros). Em seguida, o sistema é submetido a uma análise de sensibilidade e otimização, a fim de definir as melhores condições de operação (Seider et al., 2017; Turton et al., 2012).

Além disso, a segurança operacional do processo deve ser avaliada, considerando cenários de possíveis perturbações (como elevação de pressão, temperatura ou falha de instrumentos de controle) que possam desestabilizar a planta e tirá-la da condição segura de operação. O ramo da engenharia que trata dos desvios de processo é denominado Segurança de Processos. Ao final do procedimento, além da obtenção do produto, são gerados subprodutos e rejeitos que devem ser devidamente tratados antes de sua disposição final. Para isso, as unidades industriais contam com estações de tratamento de efluentes, que tratam resíduos, efluentes e emissões de acordo com os padrões estabelecidos pela legislação vigente (Crowl et al., 2015).

O objetivo deste trabalho foi proporcionar o desenvolvimento das capacidades técnicas, sociais, organizacionais e metodológicas necessárias para a disciplina de desenvolvimento de processos químicos. A disciplina de Desenvolvimento de Processos busca integrar o aprendizado teórico e prático, utilizando um processo orgânico de nitração como exemplo para a compreensão dos aspectos envolvidos na operação e controle de processos industriais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A unidade curricular denominada Desenvolvimento de Processos, presente no curso de engenharia química da faculdade SENAI CETIQT, engloba seis disciplinas: Processos Orgânicos, Inorgânicos, Segurança de Processos, Estação de Tratamento de Água (ETA), Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e Sustentabilidade. Para este artigo, escolheu-se o tema da nitração dentro da disciplina de Processos Orgânicos. Inicialmente, foram apresentados os principais conceitos do processo de nitração, assim como os agentes de nitração mais utilizados e alguns tipos de nitração (alifática e aromática). Por fim, foram apontados dois processos de nitração realizados no Brasil, como a nitrocelulose e o nitrobenzeno, que são associados a documentos de engenharia, como o memorial descritivo e o fluxograma de processos (Barcza, 2024).

Uma forma de apresentar o processo de nitração é realizando um experimento de preparação da p-nitroacetanilida. Este procedimento consiste em uma reação de substituição eletrofílica aromática, com a introdução de um grupo nitro ($-NO_2$) no anel aromático de uma molécula, como a acetanilida. Para essa reação, foi utilizada uma mistura de ácido sulfúrico e ácido nítrico como agentes de nitração. Vale ressaltar que o ácido sulfúrico tem a função de aumentar a velocidade da reação, uma vez que, em meio fortemente ácido, o ácido nítrico forma o íon nitrônio (NO_2^+), que é o eletrófilo envolvido na reação de nitração. A reação de nitração foi conduzida em condições controladas de temperatura e tempo, conforme descrito no procedimento experimental de De Fátima et al. (2009).

3 METODOLOGIA

Para a preparação da p-nitroacetanilida, 3,0 g de acetanilida seca foram pesados e transferidos para um balão de 125 mL. 3,0 mL de ácido acético glacial foram adicionados e, depois, bem agitados. Em seguida, 5,0 mL de ácido sulfúrico concentrado foram acrescentados, em pequenas porções. Após a mistura completa, o sistema foi resfriado em banho de gelo até que a temperatura ficasse abaixo de 10°C. Depois, foi adicionada, com cuidado e aos poucos, uma mistura de 2,0 mL de ácido nítrico concentrado e 1,5 mL de ácido sulfúrico concentrado, que foi agitada durante 15 minutos. A mistura foi transferida para um béquer de 250 mL contendo 50 mL de água gelada, conforme De Fátima et al. (2009). A Figura 1 abaixo ilustra o processo de preparação da p-nitroacetanilida.

FIGURA 1 - PREPARAÇÃO DA P-NITROACETANILIDA

Fonte: Próprio Autor.

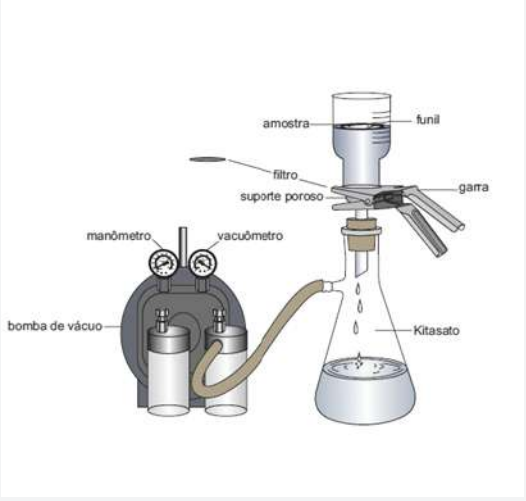
Na Figura 2 a seguir, podemos ver o precipitado amarelo que foi formado e filtrado por meio de um funil de Büchner.

FIGURA 2 - PRECIPITADO AMARELO

Fonte: Próprio Autor.

Em seguida, foi realizada a purificação da p-nitroacetanilida, com recristalização em etanol. O produto foi transferido para um Erlenmeyer de 250 mL e foram adicionados 15 mL de etanol. O Erlenmeyer foi aquecido em banho de água, com agitação frequente, até que toda a p-nitroacetanilida se dissolvesse. O sistema foi resfriado e, caso os cristais não fossem formados, utilizaria-se banho de gelo. Tais cristais foram filtrados sob vácuo com o funil de Büchner, como na Figura 3. Por fim, os cristais foram lavados com água destilada e armazenados para secagem, seguindo De Fátima et al. (2009).

FIGURA 3 - ILUSTRAÇÃO DA FILTRAÇÃO A VÁCUO



Fonte: Adaptado de Manzolli et al., 2011.

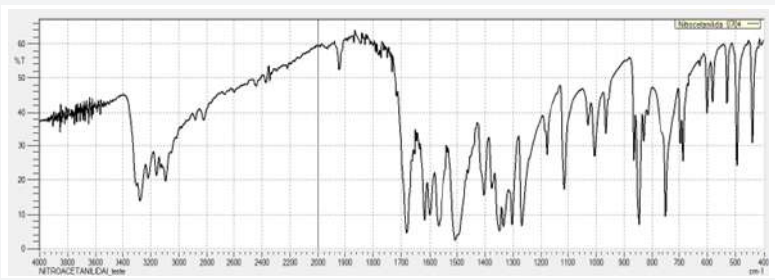
Após a secagem, foram realizadas duas análises para confirmação e identificação do composto formado, como o ponto de fusão e a Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), comparando com valores da literatura e da biblioteca do equipamento.

4 RESULTADOS

A análise de ponto de fusão do material formado no processo de nitração alcançou o valor de 216 oC. De acordo com a folha de dados de segurança da MERCK, o ponto de fusão varia entre 215 - 217 °C, podendo ser um indicativo de que o produto formado seria a p-nitroacetanilida, o que foi confirmado depois na análise de FTIR.

A Espectroscopia na região do Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) foi empregada para a caracterização da p-nitroacetanilida, permitindo a identificação dos principais grupos funcionais presentes na molécula. A Figura 4 abaixo apresenta o espectro obtido neste experimento. É possível identificar bandas características atribuídas à presença do grupo amida, do grupo nitro e do anel aromático substituído. Observa-se uma banda larga na região de 3300–3500 cm^{-1}, correspondente à vibração de estiramento N–H da amida. A carbonila (C=O) da função amida apresenta uma banda intensa e bem definida em torno de 1660–1690 cm^{-1}, típica desse grupo funcional. As bandas atribuídas ao grupo nitro (–NO_2) aparecem em duas regiões distintas: uma banda de estiramento assimétrico entre 1500–1600 cm^{-1} e outra de estiramento simétrico entre 1300–1370 cm^{-1}, ambas intensas e indicativas da substituição do anel aromático na posição para. Além disso, há bandas na região de 1450–1600 cm^{-1} associadas às vibrações de estiramento C=C do anel aromático. As deformações fora do plano do anel aromático, influenciadas pelos substituintes, surgem na região de 700–900 cm^{-1}.Os resultados do espectro FTIR estão em concordância com a estrutura esperada da p-nitroacetanilida, confirmando a presença dos grupos funcionais esperados.

FIGURA 4 – ESPECTRO FTIR PARA A P-NITROACETANILIDA



Fonte: Próprio Autor.

Nos trabalhos de Ragassi et al. (2016) e de Souza (2018), há referências para o comprimento 3279 cm-1, encontra-se a vibração de estiramento N-H, além da presença de grupo nitro em 1503 e 1351 cm-1. O pico referente à vibração da carbonila foi observado em 1662 cm-1.

Durante a execução do experimento de nitração da acetanilida, observou-se o desenvolvimento efetivo das capacidades técnicas por meio da aplicação de procedimentos laboratoriais padronizados, controle de variáveis críticas do processo (como temperatura, tempo de reação e adição controlada de reagentes) e análise instrumental dos produtos. A caracterização da p-nitroacetanilida por espectroscopia de infravermelho (FTIR) e determinação do ponto de fusão reforçou a importância da correlação entre dados experimentais e parâmetros físico-químicos de referência, promovendo o raciocínio técnico na identificação e avaliação da pureza do composto sintetizado. Esses elementos evidenciam a aplicação de fundamentos de engenharia química na prática laboratorial, especialmente no controle de reações orgânicas e na validação dos resultados por meio de análises estruturais.

No que se refere às capacidades sociais, organizacionais e metodológicas, o experimento exigiu planejamento estratégico da sequência operacional, alocação eficiente de recursos humanos e temporais e a tomada de decisões baseadas em observações empíricas e conhecimento prévio. A execução em equipe envolveu a definição clara de funções, comunicação assertiva e gestão de tempo - fatores essenciais para a execução segura e eficiente do processo. Metodologicamente, a estruturação das etapas experimentais — desde o pré-tratamento dos reagentes até a purificação e caracterização do produto — exigiu aderência a protocolos rigorosos e capacidade de adaptação a variações experimentais, promovendo uma compreensão aprofundada sobre o controle e a reprodutibilidade em processos químicos. Essas práticas refletem diretamente as competências requeridas no desenvolvimento e na operação de processos industriais em larga escala.

5 CONCLUSÃO

Ao final da realização do experimento, foi possível aplicar de forma integrada os conhecimentos teóricos da disciplina de Desenvolvimento de Processos à prática laboratorial, utilizando a nitração da acetanilida como modelo para compreender uma reação de substituição eletrofílica aromática e os fatores que influenciam seu rendimento e pureza. A técnica de recristalização demonstrou-se eficaz na purificação do produto, e os resultados obtidos por meio da análise do ponto de fusão e espectroscopia de FTIR confirmaram a identidade do composto final, em concordância com os dados da literatura.

Além da consolidação dos conceitos químicos, o experimento possibilitou o desenvolvimento de competências essenciais à formação do engenheiro químico. As capacidades técnicas foram aprimoradas por meio do manuseio de equipamentos, controle de variáveis e interpretação de dados. O trabalho em equipe exigiu organização, comunicação e cooperação, evidenciando o desenvolvimento das habilidades sociais e organizacionais. Já o planejamento das etapas, o cumprimento dos procedimentos e a adaptação a imprevistos refletiram o avanço metodoló-

gico. Assim, o trabalho cumpriu seu objetivo, promovendo uma experiência completa que uniu teoria e prática com foco na realidade dos processos industriais.

REFERÊNCIAS

BARCZA, M. V. **Nitração**: Apostila da disciplina processos químicos industriais 3.São Paulo: USP. Disponível em: https://sistemas.eel.usp.br/arquivos/Nitracao. Acesso em: 02 dez. 2024.

CROWL, D. A.; LOUVAR, J. F. **Segurança de processos químicos**: Fundamentos e Aplicações. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

DE FÁTIMA, Â.; ALVES, R. B. **Química orgânica experimental II**. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

RAGASSI, M. V. **Redução e acetilação de nitroaromáticos como proposta de reações na água vermelha (red water)**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

SEIDER, W. D. et al. **Product and Process Design Principles**: Synthesis, Analysis, and Evaluation. 4. ed. New York: Wiley, 2017.

SHREVE, R. N., BRINK, Jr. J., **Indústria de processos químicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

SOUZA, H. D. S. **Selenoglicolicamidas**: Síntese, caracterização e avaliações das atividades antimicrobiana, leishmanicida e citotóxica em células tumorais. 2018. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

TURTON, R. et al. **Analysis, synthesis, and design of chemical processes**. 4. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2012.

CURRÍCULO RESUMIDO DO(S) AUTOR(ES)

Adriana Alves Barbosa

Mestre em Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ, 2019), com experiência em resíduos sólidos, especialmente orgânicos, biogás e processos biológicos, como digestão anaeróbia. Licenciada em Química pela mesma instituição (UERJ, 2011) e Engenheira Química pela Universidade Federal Fluminense (UFF, 2018). Possui experiência docente no ensino básico e na graduação, além de atuar em projetos de engenharia na transição energética. Atualmente, é professora no curso de Engenharia Química da Faculdade SENAI CETIQT.

e-mail:aabarbosa@cetiqt.senai.br
Lattes: http://lattes.cnpq.br/1361075172575415

Livia Paloni do Nascimento da Silva

Técnica em Química Industrial pelo Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ)
e-mail:lpnsilva@cetiqt.senai.br

02

A gaseificação de biomassa como fonte sustentável de produção de hidrogênio:

uma análise de processo

A GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA COMO FONTE SUSTENTÁVEL DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO: UMA ANÁLISE DE PROCESSO

BIOMASS GASIFICATION AS A SUSTAINABLE SOURCE OF HYDROGEN PRODUCTION: A PROCESS ANALYSIS

Alessandra Campos Kühner
Estudante de Engenharia Química, Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (SENAI CETIQT)

Leticia Leiroz Fangueira Campos
Estudante de Engenharia Química, Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (SENAI CETIQT)

Maria Clara de Carvalho Aguiar
Estudante de Engenharia Química, Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (SENAI CETIQT)

Marta Cristina Picardo
Professora, Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (SENAI CETIQT)

Resumo

O presente artigo explora o processo de gaseificação da biomassa, destacando a microalga como fonte para a produção de gás hidrogênio. A introdução aborda os princípios da gaseificação, um processo termoquímico que converte materiais orgânicos em gás de síntese, enfatizando as vantagens ambientais e energéticas da biomassa em comparação com combustíveis fósseis. No corpo do texto, é apresentado o memorial descritivo, onde detalham-se as etapas do processo, desde a preparação da biomassa até a conversão em hidrogênio, descrevendo todas as condições operacionais. Com base no Diagrama de Blocos, realizou-se o Process Flow Diagram (PFD), que ilustra as etapas do processo. Por fim, tem-se a simulação, utilizando o software Aspen Hysys, com o objetivo de otimizar a eficiência na obtenção de H2 a partir da gaseificação de microalgas.

Palavras-chave: gaseificação; microalga; hidrogênio; simulação.

Abstract

The present article explores the biomass gasification process, highlighting microalgae as a source for hydrogen gas production. The introduction addresses the principles of gasification, a thermochemical process that converts organic materials into syngas, emphasizing the environmental and energy advantages of biomass compared to fossil fuels. The main body presents a descriptive report detailing the stages of the process, from biomass preparation to its conversion into hydrogen, outlining all operational conditions. Based on the Block Diagram, the Process Flow Diagram (PFD) was developed to illustrate the process steps. Finally, the simulation is presented using Aspen Hysys software, aiming to optimize the efficiency of hydrogen production from the gasification of microalgae.

Keywords: gasification; microalgae; hydrogen; simulation.

Data de submissão: 28/04/2025.

Data de aprovação: 04/07/2025.

1 INTRODUÇÃO

O início do uso de combustíveis fósseis, marcado principalmente pela Revolução Industrial do século XVIII, marcou uma mudança significativa na forma como a sociedade obtinha e utilizava energia. Antes desse período, a principal fonte de energia era a biomassa, como lenha e carvão vegetal, que era empregada principalmente para aquecimento e na produção de alimentos.

Com o advento da Revolução Industrial, a demanda por energia cresceu exponencialmente, impulsionando a busca por fontes de energia mais eficientes e abundantes. Foi nesse contexto que os combustíveis fósseis, como o carvão mineral, o petróleo e o gás natural, ganharam destaque. O carvão mineral, em particular, tornou-se uma peça fundamental para alimentar as máquinas a vapor que impulsionaram as fábricas, locomotivas e navios da época (Diwekar, 2003).

A exploração e utilização em larga escala desses combustíveis fósseis proporcionaram um aumento sem precedentes na produção industrial, possibilitando a fabricação em massa de produtos e a expansão dos meios de transporte. Contudo, esse desenvolvimento acelerado veio acompanhado de impactos ambientais significativos, incluindo a poluição do ar, do solo e da água, além da emissão de gases de efeito estufa responsáveis pelo aquecimento global (Yildiz, 2018).

Assim, os primórdios do uso de combustíveis fósseis marcaram não apenas uma revolução na produção e no transporte, mas também o início de desafios ambientais e sociais que persistem até os dias atuais. A queima destes combustíveis em excesso gera dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e outros gases de carbono que agravam os indícios de poluição na atmosfera e contribuem para o efeito estufa, desestabilizando o clima em razão da crescente demanda energética (Balat, 2011).

As soluções estratégicas para evitar o colapso ambiental e, simultaneamente, atender à crescente demanda global de energia ganharam espaço em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Ao longo dos anos, surgiram diversos estudos focados para o uso de fontes renováveis na geração de energia, sendo a luz e calor, o vento, a movimentação de quedas d'água, marés, ondas e as biomassas as principais formas de geração renováveis de energia (Bahman et al., 2022).

A geração de energia solar, eólica e hídrica é realizada por meio de equipamentos modernos e em constante evolução, os quais podem converter diretamente essas fontes de energia em eletricidade de acordo com cada um dos seus sistemas requisitados. Um exemplo emblemático são as usinas hidrelétricas brasileiras, que operam aproveitando a força gerada pelo movimento das águas entre diferentes níveis, sendo a principal forma de geração renovável no Brasil. Essa tecnologia demonstra a viabilidade e eficácia da conversão dessas formas de energia natural em energia elétrica utilizável (EPE, 2023).

O Brasil, com sua vasta extensão territorial e recursos naturais diversificados, possui um enorme potencial para ser líder em iniciativas energético-ambientais. Com uma rica biodiversidade e diferentes biomas, o país dispõe de uma variedade de matérias-primas renováveis que podem ser exploradas de maneira sustentável. Entre esses recursos, a biomassa destaca-se como uma fonte energética particularmente promissora devido à sua disponibilidade e renovabilidade (Copa Rey et al., 2024).

Por outro lado, a conversão de biomassa em energia tem um caráter mais marcante no âmbito industrial, sendo menos difundida e compreendida pela população em geral. Esse processo envolve a transformação de materiais orgânicos, como resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais, em energia utilizável por meio de métodos como a combustão, a gaseificação e a fermentação. Embora menos conhecida pelo público em geral, a energia obtida a partir da biomassa desempenha um papel significativo em diversas indústrias e na matriz energética de muitos países.

A biomassa é definida, do ponto de vista energético, como todo material orgânico, de origem vegetal ou animal, que possa ser utilizado para a produção de energia. Ela é resultante da absorção de CO2 da atmosfera, quando realizada a fotossíntese, fazendo com que todos os combustíveis originados sejam menos prejudiciais ao meio ambiente, podendo ser utilizados abundantemente e em grande parte do mundo (Naik et al., 2010).

Há dois tipos principais de biomassa: a virgem e a residual. A biomassa virgem advém de origem natural, como madeiras, plantas, folhas e animais. Já a residual é composta, como o próprio nome já diz, de diversos tipos de resíduos, sejam sólidos, líquidos, agrícolas, animais e de esgotos (EMBRAPA, 2016).

Existem diversos exemplos de biomassa, como a serragem de madeira, casca de arroz, resíduo de óleo, café em pó, bagaço da cana de açúcar, casca de coco, microalgas, sabugo de milho, haste do algodão, entre outros, cada um com potencial de geração de energia distinto. No geral, para nível de simplificação, as biomassas são consideradas apenas constituídas por carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e enxofre. A tecnologia acompanhada com resultados de sucesso na utilização da biomassa, que vem apresentando baixo impacto ambiental e redução nas emissões globais de CO2, é a gaseificação, amplamente estudada em diversas pesquisas e bases científicas (Hirano et al., 1998; Chang et al., 2011; Sikarwar, Zhao, 2017).

Diante disso, em termos de sustentabilidade, o uso da biomassa como fonte de energia promove impactos positivos nas esferas tanto ambientais quanto socio-econômicas. Como exemplo, temos a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em razão da diminuição da utilização de combustíveis fósseis, assim como o aumento de investimentos para o desenvolvimento e estudos de novas tecnologias de implementação e exploração da área (EPE, 2007).

Existem diversas tecnologias e processos de conversão energética da biomassa, o que resulta em produtos como calor, energia elétrica, combustíveis e matérias-primas para a síntese de produtos químicos. A gaseificação, um processo de conversão térmica com oxidação parcial em atmosfera de suprimento limitado de agente oxidante, destaca-se por produzir gases como

hidrogênio (H2), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO2) e metano (CH4), ou seja, produtos versáteis em aplicações industriais importantes (Rosa, 2017).

2 O PROCESSO

2.1 BIOMASSA: MICROALGA

A biomassa é vista como uma potencial fonte de energia com emissões mínimas, desempenhando um papel importante na captura biológica de CO2 (EMBRAPA, 2016).

A capacidade de captura de CO2 por vegetais terrestres, como na agricultura, foi estimado em apenas 3-6% das emissões de combustíveis fósseis, segundo Skjanes et al. (2007) devido às baixas taxas de crescimento dessas plantas, além dos problemas ambientais relacionados ao desmatamento e às queimadas. Em contrapartida, as algas, grupo de organismos e microrganismos presente em ambiente aquático doce e salgado, apresentam uma eficiência na fixação de CO2 de 10 a 50 vezes maior do que as plantas terrestres (Li et al., 2008).

Esses organismos ou microrganismos fotossintéticos aquáticos possuem boa tolerância a variações de temperatura, radiação, turbidez, concentração de dióxido de carbono e oxigênio, além de serem capazes de crescer tanto em ambientes marinhos quanto em locais terrestres úmidos (Andrade, 2014).

Quimicamente, as microalgas são constituídas principalmente por lipídeos, proteínas e carboidratos, sendo que as proporções desses componentes variam conforme o método de cultivo e a espécie cultivada (Choo et al., 2017). As microalgas podem ser criadas em meio aberto ou fechado.

Em sistemas abertos (Figura 1.1), o cultivo é realizado em lagoas ou tanques expostos, ambos tendo contato direto com a atmosfera, comum para o crescimento rápido e tolerância a altos níveis de oxigênio dissolvido. Há vantagens relativas, como o baixo custo de produção, uso de tanques simples com via de circulação contínua e manutenção acessível para a limpeza da superfície. Porém, desvantagens, como a contaminação direta com o meio e a evaporação da água pela livre exposição com a atmosfera, diminuem a eficiência na qualidade de produção desses microrganismos (Becker, 2004), (Rocha, 2016).

FIGURA 1.1 – SISTEMA ABERTO (TIPO RACEWAY) PARA CULTIVO DE MICROALGAS

Fonte: Kumar e Jain, 2014.

Já no caso dos sistemas fechados (Figura 1.2), os fotobiorreatores (placas, tubulares ou colunas), que não têm contato direto com o meio externo, por um lado, permitem o maior controle dos parâmetros de crescimento, como pH, temperatura e disponibilidade de CO2, possibilitando longos períodos de cultivos contínuos, o que resulta em alta produtividade celular e redução do impacto ambiental causado pela eutrofização. Por outro, além do maior custo e manutenção cautelosa, este método é sujeito ao superaquecimento do meio de cultivo devido à proximidade da fonte de luz (quando artificial), além do acúmulo de material biológico e oxigênio (O2) (Becker, 2004).

FIGURA 1.2 – SISTEMA FECHADO (TIPO TUBULAR) PARA CULTIVO DE MICROALGAS

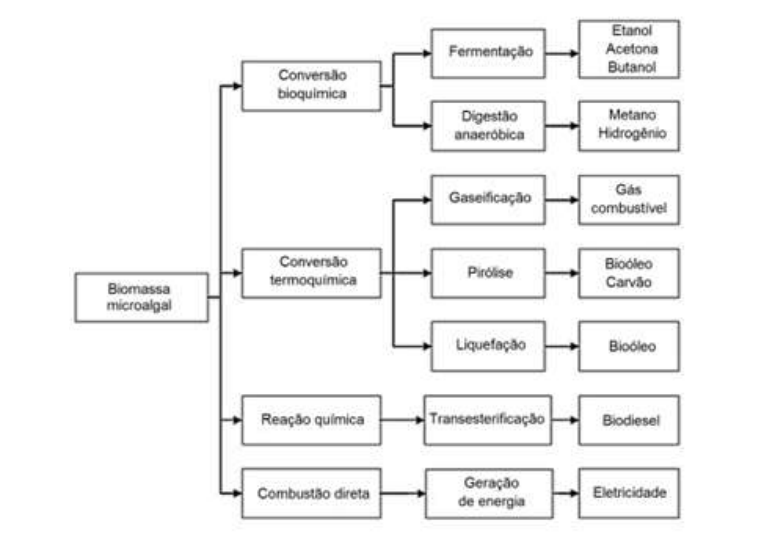
Fonte: TrueAlgae.

Em ambos os processos, além de haver relativo baixo consumo de água (em processo de recirculação interna para evitar sedimentação), as microalgas também podem ser cultivadas e produzidas com as águas residuais integradas com fontes salinas (Luche; Gonçalves; Silva, 2016). Portanto, os sistemas de produção de biomassa de microalgas podem ser facilmente adaptados aos vários níveis de desenvolvimento operacional e tecnológico.

As microalgas se caracterizam também por serem um importante tipo de combustível de terceira geração, aquele que possui alto teor de oxigênio e baixo nível de enxofre e nitrogênio. Com isso, torna-se ideal para sistemas de queima e calor devido a melhores características de combustão e altas taxas de queima (Bhaskar; Pandey, 2015)

Conforme apontando por Collares (2016), as microalgas vêm sendo apontadas como possíveis matérias-primas dentro da lógica de biocombustíveis - fortemente potencializada pela falta de competição direta com a indústria alimentícia -, pigmentos, fármacos, ácidos graxos poli-insaturados e produção de gases de alto teor de importância industrial, como o H2. A Figura 1.3 explora as principais possibilidades em relação ao uso das microalgas.

FIGURA 1.3 – DIFERENTES TIPOS DE USO ENERGÉTICO PARA A BIOMASSA MICROALGAL



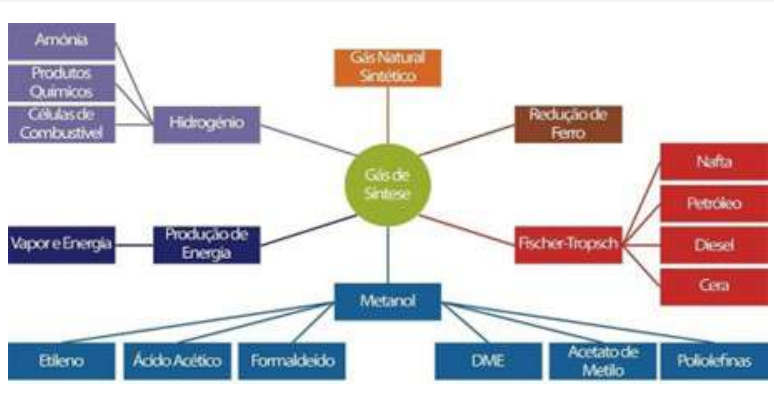
Fonte: Adaptado de Zardo (2011)

2.2 GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA

A gaseificação da biomassa é um processo de oxidação parcial da biomassa sólida, que ocorre a altas temperaturas e na presença de agentes oxidantes, sendo composta por uma série de etapas térmicas e químicas, o que resulta em uma mistura gasosa combustível. Ela ocorre pelo contato entre a biomassa e os gases (agentes de gaseificação), transformando compostos do estado líquido ou sólido em compostos gasosos e convertendo compostos pesados em leves –

os chamados gases de síntese ou syngas. A mistura gasosa obtida pela gaseificação é formada por H2, CO, CO2, CH4, gases ricos em hidrogênio e hidrocarbonetos leves, substâncias muito importantes para a indústria química, com aplicações diversas, conforme figura 1.4 (Sales et al., 2016).

FIGURA 1.4 – APLICAÇÕES DOS GASES DE SÍNTESE



Fonte: Gomes (2022)

Em termos gerais, espera-se que um gaseificador adequado tenha a capacidade de gerar um gás energético limpo e de qualidade para uso em demais processos, independentemente do tipo de combustível utilizado para sua alimentação. Os gaseificadores são categorizados com base no poder calorífico do gás energético, com classificações de baixo (até 5 MJ/Nm³), médio (de 5 a 10 MJ/Nm³) e alto (acima de 10 MJ/Nm³).

Além disso, eles são diferenciados pelo tipo de agente gaseificador empregado - ar, vapor, oxigênio ou hidrogênio -, pelo movimento relativo entre o agente gaseificante e o combustível, pela pressão de operação - atmosférica ou com pressurização de até 20 bar - e pelo tipo de biomassa utilizada, que pode incluir resíduos agrícolas, industriais ou urbanos, que vêm em diferentes formas, como in natura, peletizada ou pulverizada (Sánchez, 2010).

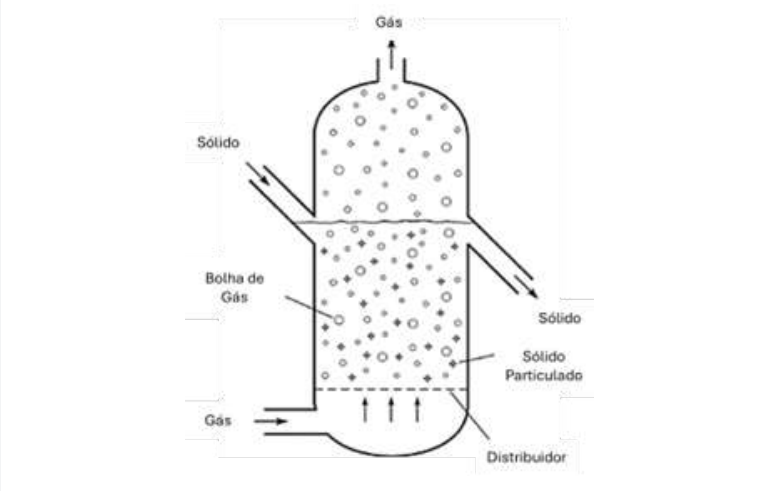
2.3 REATOR DE LEITO FLUIDIZADO – GASEIFICAÇÃO

Nos processos de gaseificação, devido às diversas biomassas que podem ser aplicadas e à gama de produtos obtidos, são comumente aplicados os reatores de leito fixo, de leito fluidizado e de leito de arraste, podendo ser usados em alta pressão ou à pressão atmosférica. A hidrodinâmica do leito exerce papel fundamental ao passo em que a velocidade mínima de fluidização, velocidade terminal e superficial são parâmetros para o funcionamento do reator e formação de produto (Gil et al., 1999).

Apesar de ter um funcionamento mais complexo que os demais, o leito fluidizado apresenta alto grau de mistura, facilidade de construção em grande escala para plantas industriais e uso em partículas grandes sólidas (maiores que 10mm), sendo essas as mais vantajosas.

Este reator ocasiona altas taxas de transferência de massa e calor devido ao seu poder de mistura, resultante da constituição do seu sistema por sólidos em semissuspensão, estado de fluidização, em passagem de um fluido com velocidade ideal para a movimentação no leito de partículas, conforme a Figura 1.4 a seguir.

FIGURA 1.4 – SIMPLIFICAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DE UM REATOR LEITO FLUIDIZADO



Fonte: Mckendry (2002).

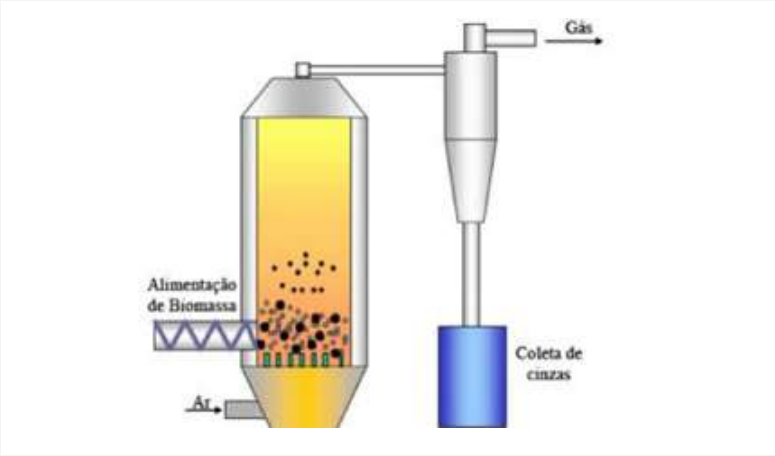
De forma geral, o fluido gasoso é introduzido na base do leito. À medida que a velocidade desse fluido aumenta, a força exercida sobre as partículas que compõem o leito tende a se equiparar ao peso dessas partículas. Quando essa igualdade de forças é alcançada, caracteriza-se a condição conhecida como mínima fluidização. O agente gaseificador flui através do leito, causando a fluidização das partículas sólidas. Isso significa que as partículas se comportam como um fluido, agitando-se e misturando-se devido ao fluxo ascendente do agente gaseificante.

A fim de se obter um produto específico, o reator pode ser constituído com proporções diferentes de catalisadores, asfalto e areia, em presença dos agentes de gaseificação para o processo em questão. O reator de leito fluidizado permite um alto grau de mistura dos componentes, proporcionando a eliminação do carbono não convertido junto às cinzas e menores taxas de produção de asfalto em razão à uniforme distribuição do material sólido a ser gaseificado no leito. Além disso, devido à não formação de zonas específicas para cada etapa, há uma simultaneidade nas etapas de secagem, desvolatilização, combustão e gaseificação (Miranda, 2014).

Os reatores de leito fluidizados podem ser separados em gaseificadores de leito borbulhante e gaseificadores de leito circulante, representados nas Figuras 1.5 e 1.6.

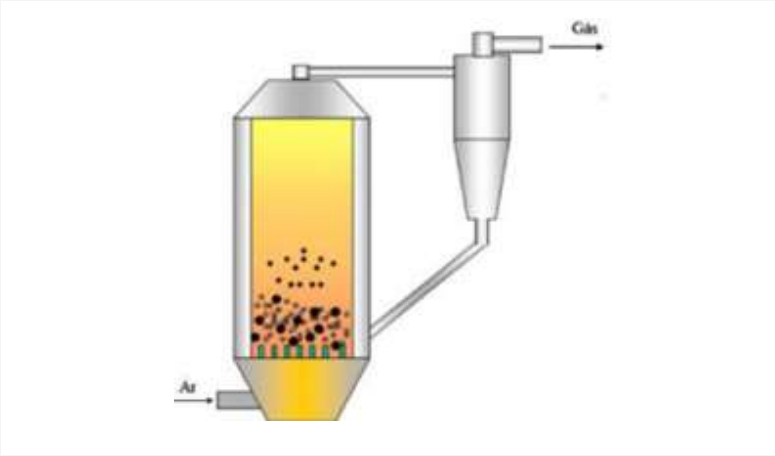
A diferença destaque é a velocidade de fluidização e o caminho percorrido pelo gás. Os gaseificadores de leito fluidizado borbulhantes possuem velocidades relativamente baixas em comparação aos de leito circulante, com velocidades próximas ao de transporte pneumático. Sendo assim, os sólidos são carregados pelo gás de fluidização, podendo ser coletados por ciclones e reciclados (Mckendry, 2002).

FIGURA 1.5– ESQUEMÁTICO DO GASEIFICADOR DE LEITO FLUIDIZADO BORBULHANTE



Fonte: Nest (2009).

FIGURA 1.6– ESQUEMÁTICO DO GASEIFICADOR DE LEITO FLUIDIZADO CIRCULANTE



Fonte: Nest (2009).

A utilização de gaseificadores de leito fluidizado borbulhante para a combustão de biomassa é uma das técnicas mais empregadas na gaseificação desse tipo de material. Há diversas demonstrações de seu funcionamento em uma ampla variedade de condições, incluindo diferentes temperaturas, pressões, taxas de fluxo e tipos de biomassa utilizados.

Além disso, essa tecnologia oferece a capacidade de operar com combustíveis que apresentam elevado teor de umidade, podendo chegar até 65% (Lora; Venturini, 2012).

Vantagens e desvantagens de um reator leito fluidizado em relação aos demais tipos de reatores são exploradas por Geldart (1986) e Kavidas et al. (1994), como visto no Quadro 1.1.

QUADRO 1.1 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DE UM REATOR LEITO FLUIDIZADO

Vantagens	Desvantagens
Tempo de residência das partículas longo e controlável.	Necessidade de uma estrutura com comprimento elevado: pequenas escalas de leito são raramente viáveis.
Flexibilidade na operação com partículas de diferentes tamanhos, densidades e geometrias.	Gradientes laterais podem ser considerados.
Poder substancial de mistura das partículas sólidas.	Superfícies internas se desgastam em função do atrito.
Contato efetivo entre gás e partículas.	Perda de partícula devido ao arraste.

Fonte: Adaptado de Kavidas et al. (1994) e Geldart (1986).

Conforme mencionado, a gaseificação utiliza agentes oxidantes que servem para garantir apropriadamente o processo de gaseificação e adicionar hidrogênio ao combustível gerado. Os agentes mais utilizados nesse processo são o vapor de água, o oxigênio puro e o ar. O poder calorífico e a composição dos gases gerados são influenciados diretamente pelo tipo e quantidade dos agentes de gaseificação. Na Tabela 1.2, é possível observar que o agente oxidante mais vantajoso é o oxigênio, pois gera um gás com alto poder calorífico, porém, a obtenção de oxigênio puro é cara, não sendo atrativa economicamente (Basu, 2010).

TABELA 1.2 – PODER CALORÍFICO DE PRODUTOS PARA DIFERENTES AGENTES DE GASEIFICAÇÃO

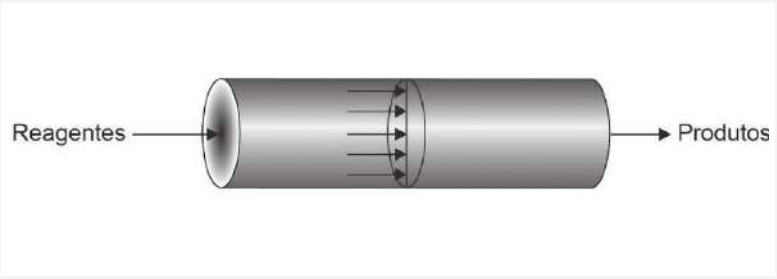
Agente de Gaseificação	Poder Calorífico (MJ/Nm^3)
Ar	4-7
Vapor d'água	10-18
Oxigênio puro	12-28

Fonte: Basu (2010).

2.4 REATOR DE WATER GAS SHIFT

Os reatores tubulares ou Plug-Flow Reactor (PFR, Figura 1.7) são amplamente empregados em processos que envolvem reações gasosas, especialmente quando estas devem ocorrer de forma rápida e em altas temperaturas. Além disso, são ideais para reações que requerem o uso de catalisadores, pois é possível preencher o interior dos tubos com esses materiais catalíticos (Mendoza; Elder, 2009).

FIGURA 1.7 – REPRESENTAÇÃO DE UM REATOR PFR



Fonte: Mendoza e Elder (2009)

Esses reatores são utilizados em uma variedade de processos químicos, incluindo polimerização, metanação, hidrogenação, alquilação, cloração, oxidação do etileno, entre outros. Isso se dá pela sua capacidade de proporcionar condições controladas, como temperatura, pressão e tempo de residência em seus tubos, que são essenciais para garantir a eficiência e seletividade das reações químicas.

2.5 MÉTODO PSA

O Pressure Swing Adsorption (PSA) é um processo utilizado na indústria para a purificação de gases por meio da adsorção por alternância de pressão. Esse método tem ganhado destaque devido à sua alta pureza nos produtos e por utilizar a pressão, uma variável de rápida resposta e manipulação (Ruthven, 1994).

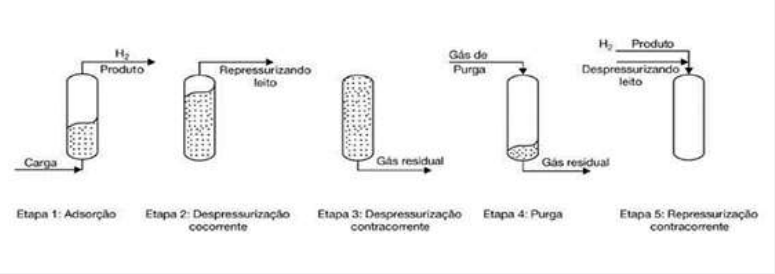
A adsorção é uma operação unitária que se baseia na transferência de massa entre sólido-fluido, ou seja, partículas contidas na fase fluida dissolvem-se na fase sólida por meio da adsorção física, que é resultado das forças de atração entre as moléculas do sólido (adsorvente) e os componentes do fluido (adsorvato). Componentes altamente voláteis com baixa polaridade, como o

caso do H2, são praticamente não adsorvíveis em comparação aos outros componentes, como o N2, CO2, CO e hidrocarbonetos. Portanto, essas impurezas são adsorvidas e geram uma corrente de H2 com 99,9999% de pureza e uma conversão de 80% a 90% (Linde, 2019).

A planta de PSA é constituída por no mínimo 4 vasos adsorventes que contenham o material adsorvente. O processo é dividido em 4 etapas principais: Adsorção, Despressurização, Purga e Repressurização (Costa, 2018):

- Etapa 1 (Adsorção): A corrente de hidrogênio que será purificada é introduzida na coluna em alta pressão, entrando pela parte inferior. Ao passar pelo leito adsorvente, as impurezas como CH4, CO e CO2, que têm maior afinidade pela fase sólida, se aderem ao leito e são removidas do gás. O hidrogênio, por ter baixa afinidade com o adsorvente, é extraído pelo topo da coluna, já purificado;
- Etapa 2 (Despressurização): Esta etapa ocorre de 2 maneiras: despressurização cocorrente e contracorrente. Na cocorrente, a alimentação do equipamento é interrompida e o gás é retirado parcialmente pelo bocal de saída no topo da coluna, no mesmo sentido do fluxo original (cocorrente). O hidrogênio extraído é usado para purgar e pressurizar parcialmente outra unidade do sistema. Já na contracorrente, o gás é removido pelo bocal de entrada na parte inferior do vaso até que se atinja a pressão mínima de operação. Durante essa etapa, parte das impurezas retidas no leito durante a adsorção é removida, formando o gás de purga;
- Etapa 3 (Purga): O hidrogênio purificado, retirado de uma coluna na despressurização cocorrente, é injetado pela parte superior da coluna para realizar a purga. Isso arrasta as impurezas do leito, que são, então, removidas pelo fundo do equipamento e direcionadas para um tanque de armazenamento do gás de purga;
- Etapa 4 (Repressurização): Após a regeneração do leito, é necessário pressurizá-lo novamente para iniciar um novo ciclo de adsorção. O hidrogênio purificado, vindo de uma coluna em adsorção ou de outra em despressurização cocorrente, é usado para aumentar a pressão do leito até o nível operacional, completando assim o ciclo de operação. A Figura 1.8 a seguir ilustra as etapas do ciclo da planta de PSA:

FIGURA 1.8 – ETAPAS DO CICLO DE PSA



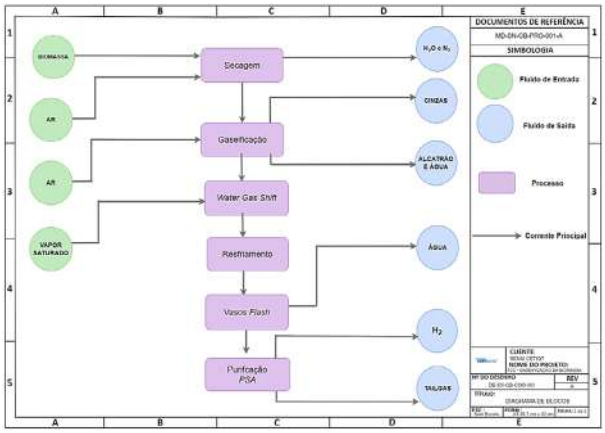
Fonte: Nayara (2018).

3 DIAGRAMA DE BLOCOS, PROCESS FLOW DIAGRAM (PFD) E SIMULAÇÃO

Após os estudos iniciais e identificação dos processos a serem trabalhados, um Diagrama de Blocos (DB) foi elaborado. Tendo como base a simulação em ASPEN HYSYS realizada por Araújo et al. (2016) e, anteriormente, por Barriquello (2013), a elaboração de um fluxograma de processo (PFD) e descrição acerca da gaseificação da microalga Chlorella vulgaris como matéria-prima foram possíveis.

Conforme o representativo do processo em esquemático simples de etapas, temos o DB na Figura 2.1.

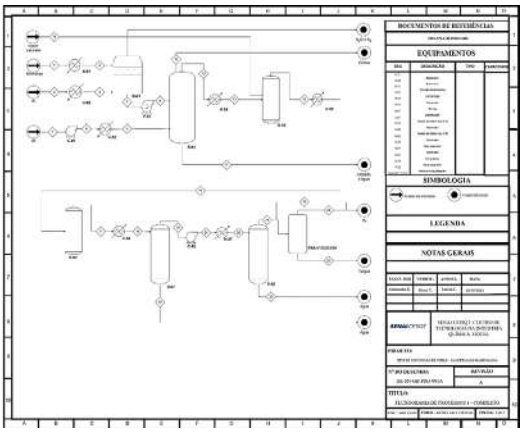
FIGURA 2.1 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROCESSO DE GASEIFICAÇÃO DA MICROALGA PARA PRODUÇÃO DE H2



Fonte: Autoria Própria (2025).

Além disso, outra representação em fluxograma - mais detalhada - acerca do processo é mostrada na Figura 2.2.

FIGURA 2.2 – FLUXOGRAMA DE PROCESSOS PARA A GASEIFICAÇÃO DA MICROALGA PARA PRODUÇÃO DE H2



Fonte: Autoria Própria (2025).

A simulação do processo foi realizada no software ASPEN HYSYS, plataforma de modelagem de processos que é usada para desenvolver processos químicos em diversos setores industriais. Ela conta com um extenso banco de dados de propriedades de substâncias químicas e oferece uma interface gráfica que simplifica o arranjo de sequências de reações e equipamentos (Barriquello, 2013).

A biomassa utilizada não se encontra no banco de dados do software, portanto, foi necessária a incorporação da representação da biomassa por meio da sua composição com o modelo UNIQUAC, como indicado na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 – FRAÇÃO MÁSSICA DA MICROALGA.

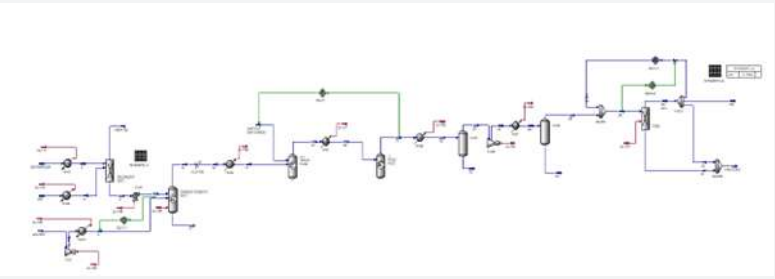
Componente	Composição (%)
Carboidrato	18
Lipídios	31
Proteínas	51

Fonte: Autoria Própria (2025).

Já para a gaseificação da biomassa e as etapas subsequentes, o pacote termodinâmico utilizado foi o PRSV (Peng Robinson Stryjek-Vera), pois satisfaz as condições de não idealidade do sistema tanto em relação à natureza dos componentes quanto à pressão do sistema.

A simulação do processo está ilustrada a seguir na Figura 2.3.

FIGURA 2.3 – SIMULAÇÃO GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA



Fonte: Autoria própria (2025).

A composição da biomassa pode ser analisada na tabela 2.2.

TABELA 2.2 – COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA DA MICROALGA CHLORELLA VULGARIS

Corrente	Carboidrato (%)	Proteína (%)	Lipídio (%)	Água (%)
Microalga úmida	0,0070	0,0050	0,0033	0,9846

Fonte: Barrichello (2013).

A biomassa apresenta uma alta porcentagem de umidade, em torno de 80%, e entra no processo com uma vazão de 100.000 kg/h e a uma pressão de 1 kPa e a 25°C. Por conta da alta umidade, a microalga úmida passa primeiramente por um trocador de calor (H-01), que eleva sua temperatura a 100°C, e, posteriormente, a um secador de leito fluidizado (D-01) constituído por uma contracorrente de ar aquecida em um trocador de calor (H-02) até 100°C, fazendo com que sua umidade seja reduzida a uma faixa entre 10% a 20% antes de seguir para o reator. Essa etapa deve ser realizada para obter-se um gás com poder calorífico razoável (Miranda, 2014).

Em seguida, a biomassa é bombeada para um reator de leito fluidizado (R-01), onde também será alimentada uma corrente de ar, o agente gaseificador, proveniente de um compressor (C-01), e um trocador de calor (H-03), que têm por objetivo aumentar a pressão e temperatura do agente para minimizar a área do reator, alcançando uma temperatura de 300°C e a uma pressão de 300 kPa. Dentro do reator, irá ocorrer o processo de pirólise da matéria-prima, que será convertida em gás de síntese. Para que isso ocorra, o reator deverá operar a uma temperatura de 1000°C e a uma pressão de 300 kPa. Após sair do reator com uma pressão de 300 kPa, o gás de síntese passa por um resfriador (H-04) para esfriar a corrente até 300°C, temperatura e pressão ideais para entrar nos reatores de WGS (Barriquello, 2013).

Segundo Barriquello (2013), o gás oriundo da etapa de gaseificação não apresenta uma razão de H2/CO apropriada para sua utilização em processos de síntese química. Por conta disso, o produto passará por dois reatores de Water Gas Shift, sendo eles de alta e baixa temperatura, no qual esta razão será ajustada para valores próximos de 2. O Water Gas Shift de alta temperatura (R-02) opera em uma faixa de 300 º - 450º C, favorecendo, assim, a cinética da reação, e o Water Gas Shift de baixa temperatura (R-03) opera entre 200 º - 250 ºC para favorecer a conversão, ambos com uma pressão de 300 kPa. Portanto, após a passagem no reator R-02, o gás passará por um resfriador (H-05) para diminuir sua temperatura a 180 ºC e adentrar no R-03.

Após sair do reator, o gás, constituído em sua grande maioria por H2 e CO2, passa por uma etapa de resfriamento composta por um trocador de calor (H-06) para atingir a temperatura de 50 ºC com a utilização de água de resfriamento. Em seguida, o gás resfriado segue para um vaso Flash

(V-01), para que o líquido formado na etapa de resfriamento seja descartado e, posteriormente, o gás passe por uma etapa de compressão (C-02), seguido por um resfriador (H-07) e um vaso Flash (V-02), atingindo, assim, uma pressão final de 10 bar (Barriquello, 2013).

Para a realização da etapa de separação do H2, é utilizado o método PSA (Pressure Swing Adsorption), em português, a Adsorção por Variação da Pressão, no qual as moléculas contidas na fase gasosa que possuem maior afinidade com o adsorvente contido no vaso (PSA-01/02/03/04) se difundem, como o CO, CO2 e outras impurezas, e o H2, que possui a menor afinidade, sai na corrente de saída com uma pureza maior que 99%. Esta corrente de saída com 99% de H2 em pureza é de 3030 kg/h, logo, cerca de 3,34 toneladas de hidrogênio gasoso produzido por hora

Para que a etapa de separação ocorra de forma efetiva, a corrente de alimentação da PSA deve apresentar 70% em mol de H2 para que se alcance 85% de conversão (Spath, 2005). A corrente de alimentação possuía em torno de 55% de H2 e para alcançar esse critério foi realizado um reciclo com a corrente do produto puro para atender a proporção necessária, com uma vazão de 9712,23 kg/h.

4 CONCLUSÃO

A gaseificação da biomassa é um processo termoquímico que converte materiais orgânicos, como resíduos vegetais e agrícolas, em gases combustíveis, como hidrogênio e monóxido de carbono, por meio da aplicação de calor com pouco oxigênio. Esse gás produzido pode ser usado para gerar energia em processos industriais. Nesse processo, além das posteriores etapas de purificação, obteve-se o hidrogênio com cerca de 99% de pureza a partir da gaseificação da microalga úmida Chlorella vulgaris.

Apesar do alto rendimento de hidrogênio, cerca de 99% de pureza, obtido a partir da gaseificação da biomassa, o processo enfrenta desafios econômicos significativos. O cultivo da microalga em larga escala demanda grandes investimentos, já que, diferentemente de biomassa residual, como palhas e cavacos de coco, a microalga não é um resíduo disponível em forma de reuso, havendo alta necessidade de produção. Além disso, a geração em larga escala de hidrogênio exige uma alta vazão de biomassa, o que intensifica ainda mais os custos operacionais - cerca de 100.000 kg/h de microalga para produção de cerca de 3,34 toneladas de hidrogênio por hora em alta pureza. Ademais, o uso de agentes gaseificadores alternativos, como o oxigênio puro em vez do ar, pode melhorar a eficiência do processo, mas também aumenta significativamente o custo total, tornando a viabilidade comercial mais desafiadora.

Diante dos desafios econômicos relacionados ao cultivo da Chlorella vulgaris e aos elevados custos operacionais na produção de hidrogênio, é necessário direcionar esforços para a investigação de alternativas de biomassa. O aproveitamento de resíduos agrícolas, florestais ou outras fontes mais acessíveis, aliado à análise de diferentes agentes gaseificadores e condições operacionais, pode proporcionar rotas ainda mais eficientes e econômicas. Estudos voltados para novas matérias-primas têm o potencial de revelar processos mais competitivos e sustentáveis, favorecendo a produção em larga escala de forma mais viável.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, D. S. et al. **Microalgas de águas continentais**: potencialidades e desafios do cultivo. In: IAPAR (Org.). Londrina: IAPAR, 2014. v. 1, cap. 6.

ARAUJO, P. B. **Simulação e análise da utilização de CO_2 emitido por termelétrica NGCC**: biofixação por microalga, gaseificação e síntese de amônia. 2016. 241 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

BAHMAN, Z.; FARHANG, M.; FARAHNAZ, B. **Renewable energy**. Elsevier eBooks, p. 423–463, 1 jan. 2022.

BALAT, M. Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: a review. **Energy Conversion and Management**, v. 52, n. 2, p. 858–875, fev. 2011.

BARRIQUELLO, D. S. **Análise econômica e ambiental de processo de produção de gás de síntese a partir de biomassa algal**. 2013. 127 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

BASU, P. **Biomass gasification and pyrolysis**: practical design. Burlington, MA: Academic Press, 2010.

BECKER, E. W. Microalgal in human and animal nutrition. In: RICHMOND, A. (ed.). **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology**. London: Blackwell Science, 2004. p. 312–351.

BHASKAR, T.; PANDEY, A. **Advances in thermochemical conversion of biomass**: introduction. p. 3–30, 1 jan. 2015.

CHANG, A. C. C. et al. Biomass gasification for hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, Taiwan, n. 36, p. 14252–14260, 2011.

CHOO, M. Y. et al. Recent progress in catalytic conversion of microalgae oil to green hydrocarbon: a review. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 79, p. 116–124, 2017. DOI: 10.1016/j.jtice.2017.06.028.

COLLARES, D. **Aposta na pesquisa com microalgas**. EMBRAPA Agroenergia: Microalgas, v. 10, p. 4–5, 2016.

COPA REY, C. A. et al. **Renewable hydrogen from biomass**: technological pathways and Economic Perspectives. Energies, Basel, v. 17, n. 14, p. 3530, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/en17143530.

COSTA, N. E. G. **Simulação e análise de uma unidade de geração de hidrogênio em refinarias de petróleo**. 2018. 96 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

DIWEKAR, U. M. Greener by design. **Environmental Science & Technology**, n. 37, p. 5432–5444, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Uso de biomassa para geração de energia. Sergipe**, 2016. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/. Acesso em: 14 abr. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz energética e elétrica 2023**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/. Acesso em: 14 abr. 2024.

GELDART, D. **Gas fluidization technology**. United Kingdom: John Wiley & Sons, 1986.

GIL, J. et al. Biomass gasification in atmospheric and bubbling fluidized bed: effect of the type of gasifying agent on the product distribution. **Biomass and Bioenergy**, Madrid, n. 17, p. 389–403, 1999.

GOMES, J. Eletrólise da água na obtenção de hidrogênio. **Revista de Ciência Elementar**, v. 10, n. 2, 2022.

HIRANO, A. et al. **Temperature effect on continuous gasification of microalgal biomass**: theoretical yield of methanol production and its energy balance. Catalysis Today, n. 45, p. 399–404, 1998.

KAVIDAS, S. et al. **Operating experience with high-ash waste coal in a B&W CFB boiler**. Apresentado para Power-Gen Asia, Hong Kong, ago. 1994.

KUMAR, V.; JAIN, S. Plants and algae species: promising renewable energy production source. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 26, n. 8, p. 679, 2014.

LI, Y. et al. Biofuels from microalgae. **Biotechnology Progress**, n. 24, p. 815–820, 2008.

LINDE. **Hydrogen recovery by pressure swing adsorption**. Disponível em: https://www.linde-engineering.com/en/images/HA_H_1_1_e_09_150dpi_NB_tcm19-6130.pdf. Acesso em: 27 set. 2024.

LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. **Biocombustíveis**. v. 1. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

LUCHE, D. E. D.; GONÇALVES, B. C. M.; SILVA, M. B. Produção de biomassa da microalga Chlorella minutissima usando mel como fonte de carbono. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 20531–20544, 2019. Acesso em: 4 maio 2020.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. **Bioresource Technology**, n. 83, p. 55–63, 2002.

MENDOZA, O.; ÉLDER, L. Modelagem de câmaras de combustão de turbinas a gás. In: **Combustão em Turbinas a Gás**. p. 35, 2009.

MIRANDA, G. P. **Modelagem e simulação de reatores de leito fluidizado para gaseificação da biomassa**. 2014. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

NAIK, S. N. et al. Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 14, p. 578–597, 2010.

NEST: Núcleo de Estudos em Sistemas Térmicos: UNIFEI. Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída, 2009.

ROCHA, C. A. L. **Cultivo de microalgas**: dimensionamento de uma instalação do tipo raceway pond. 2016. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2016.

ROSA, A. A. **Conversão termoquímica de biomassas residuais em gás combustível**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

RUTHVEN, D. M.; FAROOQ, S.; KNAEBEL, K. S. **Pressure swing adsorption**. New York: VCH Publishers, Inc., 1994.

SALES, C.; ANDRADE, R.; LORA, E. **Geração de eletricidade a partir da gaseificação de biomassa.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. Anais [...]. Campinas, 2006.

SÁNCHEZ, C. G. et al. (Org.). **Tecnologia da gaseificação de biomassa**. Campinas: Editora Átomo, 2010.

SIKARWAR, V. S.; ZHAO, M. Biomass gasification. In: **Encyclopedia of Sustainable Technologies.** p. 205–216, 2017.

SKJANES, K.; LINDBLAD, P.; MULLER, J. BioCO_2: A multidisciplinary, biological approach using solar energy to capture CO_2 while producing H_2 and high value products. **Biomolecular Engineering**, n. 24, p. 405–413, 2007.

SPATH, P. **Production detailed design and economics utilizing the Battelle Columbus Laboratory indirectly heated gasifier**. 2005. 161 f. Tese (Doutorado) – U.S. Department of Energy, National Renewable Energy Laboratory, Colorado, 2005.

TAN, J. S. et al. A review on microalgae cultivation and harvesting, and their biomass extraction processing using ionic liquids. **Bioengineered**, v. 11, n. 1, p. 116–129, 2020.

TRUEALGAE. **Cultura de inovação**. Disponível em: https://truealgae.com/pt/culture-of-innovation/#technology. Acesso em: 21 set. 2024.

YILDIZ, İ. 1.12 Fossil fuels. In: **Comprehensive Energy Systems**, p. 521–567, 2018.

ZARDO, I. **Análise de viabilidade econômica da produção de biodiesel a partir de microalgas.** 2011. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CURRÍCULO RESUMIDO DO(S) AUTOR(ES)

Alessandra Campos Kühner
Estudante de Engenharia Química, Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (SENAI CETIQT)

Leticia Leiroz Fangueira Campos
Estudante de Engenharia Química, Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (SENAI CETIQT)

Maria Clara de Carvalho Aguiar
Estudante de Engenharia Química, Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (SENAI CETIQT)

Marta Cristina Picardo
Professora, Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (SENAI CETIQT)

03

A importância do acondicionamento dos fios 36/1 ne 100%co utilizados na trama na eficiência do tear:

uma análise comparativa

A IMPORTÂNCIA DO ACONDICIONAMENTO DOS FIOS 36/1 NE 100%CO UTILIZADOS NA TRAMA NA EFICIÊNCIA DO TEAR: UMA ANÁLISE COMPARATIVA

THE IMPORTANCE OF 100% CO 36/1 NE WEFT YARNS PACKAGING IN THE LOOM EFFICIENCY: A COMPARATIVE ANALYSIS

Augusto Ferreira de Almeia Júnior
Engenheiro Industrial Têxtil, Instrutor do Curso Técnico Têxtil EAD, Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil, SENAI CETIQT.

Marcelo Eiti Banja
Engenheiro Têxtil e Industrial, Instrutor do Curso Técnico Têxtil EAD, Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil, SENAI CETIQT.

Gileno Lima Almeida
Curso Técnico Têxtil EAD, SENAI SE.

Leandro Barros Santos
Curso Técnico Têxtil EAD, SENAI SE.

Stéphany Amanda Santos Menêses
Curso Técnico Têxtil EAD, SENAI SE.

Wallace Vitória Santos
Curso Técnico Têxtil EAD, SENAI SE.

Resumo

A indústria têxtil brasileira é um setor econômico importante, que gera empregos e movimenta a economia. Desta forma, este trabalho teve por objetivo analisar o impacto do método de acondicionamento de fios de trama (36/1 Ne 100% algodão) na qualidade e eficiência do tear. Foram comparados fios não condicionados, condicionados na tecelagem por 24 horas e condicionados por vaporização. Os resultados mostraram que o condicionamento na tecelagem reduziu rupturas e aumentou a eficiência do tear, destacando a importância do controle de temperatura e umidade.

Palavras-chave: condicionamento de fios; eficiência do tear; qualidade têxtil.

Abstract

The Brazilian textile industry is an important economic sector, generating jobs and driving the economy. This work analyzes the impact of weft yarn conditioning (36/1 Ne 100% cotton) on the quality and efficiency of the loom. Unconditioned yarns, those conditioned during weaving for 24 hours and conditioned by steaming were compared. The results showed that weaving conditioning reduced breakages and increased loom efficiency, highlighting the importance of temperature and humidity control. It is concluded that adequate yarn conditioning is essential to improve quality and productivity in the textile industry.

Keywords: wire conditioning; loom efficiency; textile quality.

Data de submissão: 27/05/2025.

Data de aprovação: 04/07/2025.

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil brasileira tem uma história longa e significativa, sendo um dos principais setores econômicos do país. Representando uma importante fonte de emprego e renda, esse setor engloba desde a produção de fibras naturais e sintéticas até a confecção de produtos acabados, como roupas e outros têxteis. Ao longo dos anos, a indústria têxtil do Brasil tem se adaptado às novas tecnologias e às exigências do mercado global, posicionando-se como uma força relevante no cenário internacional.

Tal indústria vem gerando grande impacto econômico ao criar empregos e movimentar renda, posicionando o país como a 5ª maior indústria têxtil e a 4ª em vestuário no mundo. Contudo, os trabalhadores vêm enfrentando transformações devido às mudanças tecnológicas (TOTVS, 2023).

Dentro da cadeia produtiva têxtil, o processo de **fiação** desempenha um papel crucial, sendo responsável pela transformação das fibras nos fios que servem de base para toda a produção têxtil. Esse processo envolve várias etapas, como limpeza, cardagem, penteagem e torção das fibras, e tem o objetivo de produzir fios de alta qualidade, adequados para diversas aplicações industriais.

Dessa forma, a fiação exige um controle rigoroso e constante para garantir a uniformidade, resistência e outras características essenciais dos fios. Esse processo pode ser realizado de maneiras diferentes, dependendo do tipo de material que se deseja fabricar, como por meio do sistema convencional, que utiliza o filatório de anéis e pode gerar materiais diferentes, como o fio cardado e o fio penteado.

O fio penteado é produzido em fiação com o setor de penteagem (com presença das máquinas reunideira e penteadeira), o processo jato de ar (utilização do filatório de mesmo nome), que aplica torção no material por meio da ação da injeção de ar comprimido de forma direcionada, e o processo a rotor, sendo o fio obtido por meio da ação do conjunto “cardinha – rotor”, que faz parte do filatório Open End (SENAI, 2016).

Após o processo de fiação, a **tecelagem** entra em ação, entrelaçando os fios para formar os tecidos. A tecelagem possui os processos de preparação e a tecelagem propriamente dita. A preparação à tecelagem, segundo Faé (2021), é a etapa em que se recebem os fios para serem produzidos os rolos de urdume e os de trama, cujos processos de urdissagem e engomagem são referentes aos fios destinados ao urdume e ao acondicionamento, em área específica, ou equipamento é destinado aos fios de trama (Freitas, 2023).

O processo nas urdideiras tem como objetivo reunir os fios de forma paralela, contendo a quantidade necessária para a formação do rolo de urdume, enquanto o processo de engomagem consiste na reunião dos fios de vários carretéis de urdideira, revestindo-os com fios numa solução de goma a fim de torná-los mais resistentes às tensões exercidas no tear (Duarte; Sanches, 2024).

O processo de tecelagem pode ser realizado manualmente ou de forma automatizada, utilizando diferentes métodos de inserção de fios de trama, tais como a inserção por projétil, que atualmente é menos comum, a inserção a jato de água, de ar e por pinça. A variedade de tecidos gerados por esse processo é grande, e tem influência direta nas propriedades como espessura, textura, resistência e elasticidade, e pode ser direcionada para diversos segmentos como vestuário, artigos para o lar (cama, mesa, banho e decoração) e têxteis industriais.

O acondicionamento dos fios de trama no processo de tecelagem é uma etapa fundamental para a eficiência da produção. Esse processo consiste na absorção de umidade pelo fio, enrolado em bobina, que visa fixar a torção aplicada no fio, criando uma nova memória física para o produto, podendo ser realizado pela colocação dos pallets de bobinas em locais com alto percentual de umidade relativa do ar, ou por meio de máquinas de vaporização (Lenado, 2000).

Como os fios mal acondicionados não estão relaxados, a torção aplicada no processo de fiação torna-se algo prejudicial no momento de inserção do fio de trama, o que pode ocasionar paradas do tear por motivo de quebras, trama cortada e deslizamentos inadequados, prejudicando o desempenho na tecelagem e comprometendo a qualidade do tecido final. O armazenamento correto, aliado ao controle adequado das condições de umidade, temperatura e tensão dos fios, é essencial para preservar suas características estruturais e mecânicas, assegurando que o processo produtivo ocorra sem interrupções e com resultados otimizados. Dessa forma, o acondicionamento apropriado dos fios desempenha um papel crucial na indústria têxtil, sendo determinante para a excelência dos produtos confeccionados.

Este trabalho tem como objetivo, por meio de dados e testes, demonstrar o comportamento de fios de trama não condicionados e aqueles submetidos a dois tipos de acondicionamento: 1) repouso dentro do setor de tecelagem e 2) vaporização por meio de equipamento específico dentro do processo de tecelagem, além de atestar a influência desse processo nos índices e na qualidade do fio e de eficiência do tear.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar análise comparativa dos parâmetros da qualidade dos fios 36/1 Ne. 100% CO não condicionados e condicionados utilizados na trama por meio da eficiência do tear em relação ao índice de rupturas de trama por 1.000.000 batidas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamento bibliográfico sobre o tema;
- Obtenção de dados da qualidade dos fios 36/1 Ne.100%CO não acondicionados;
- Obtenção de dados da qualidade dos fios 36/1 Ne 100%CO condicionados por meio de permanência dentro da sala de tecelagem;
- Obtenção de dados da qualidade dos fios 36/1 Ne 100%CO condicionados em máquina específica vaporizadora;
- Obtenção de dados de eficiência do tear para os três tipos de amostras;
- Realização de análise comparativa dos dados da qualidade e dos resultados de produtividade do tear.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 A INDÚSTRIA TÊXTIL

A produção do tecido envolve diversas etapas, que transformam as fibras em fios, fios em tecidos e tecidos em produtos que podem ser aplicados em diversas áreas, como o uso em peças de vestuário, decoração e outros produtos têxteis. Esse processo começa com a fiação, na qual as fibras são convertidas em fios, seguindo as fases de tecelagem (plana ou malha) e beneficiamento (toque, cor, estampas e efeitos especiais), cada uma com técnicas especificas que visam agregar valor e qualidade ao tecido. Cada etapa é cuidadosamente planejada para garantir que o material final tenha as propriedades estéticas e funcionais desejadas, como cor, textura, resistência e durabilidade, atendendo às necessidades do consumido final e dos padrões de qualidade da indústria têxtil.

3.1.1 Fiação

É a etapa de transformação das fibras em fios por meio da execução das operações básicas de abertura, limpeza, estiragem e torção, formando um fio contínuo e resistente. O processo de fiação é dividido de acordo com o método de obtenção do fio, geralmente vinculado à última máquina do processo, o filatório. São eles o processo cardado, o processo penteado (ambos utilizam o filatório de anel para a produção), o processo Open End (filatório a rotor) e o processo jato de ar (FachinelII, 2021).

3.1.2 Tecelagem

O processo de tecelagem plana é dividido na etapa de preparação e no processo de tecelagem propriamente dito. A etapa de preparação possui uma nova divisão por conta dos processos diferentes de preparação dos fios de urdume e de trama.

Os fios de urdume são submetidos aos processos de urdição e engomagem, respectivamente, com o intuito de conferir resistência ao fio. O fio de trama, quando tem a composição de algodão, para melhorar a sua resistência, é submetido ao processo de acondicionamento, que consiste no repouso da bobina em local úmido, ou passando por um processo de vaporização em máquina específica.

O processo de formação do tecido plano no tear é constituído pelas seguintes etapas (SENAI, 2016):

- Desenrolamento do fio de urdume no rolo de entrada;
- Abertura da cala;
- Inserção do fio de trama pela cala;
- Batida do pente;
- Enrolamento do tecido no rolo de saída.

Os teares podem ser classificados quanto ao tipo de tecido fabricado, de abertura de cala e de mecanismo de inserção de trama. A tabela 1 mostra os tipos de teares existentes de acordo com uma propriedade específica.

TABELA 1 - TIPOS DE TEARES EXISTENTES SEGUNDO PROPRIEDADE EXIGIDA

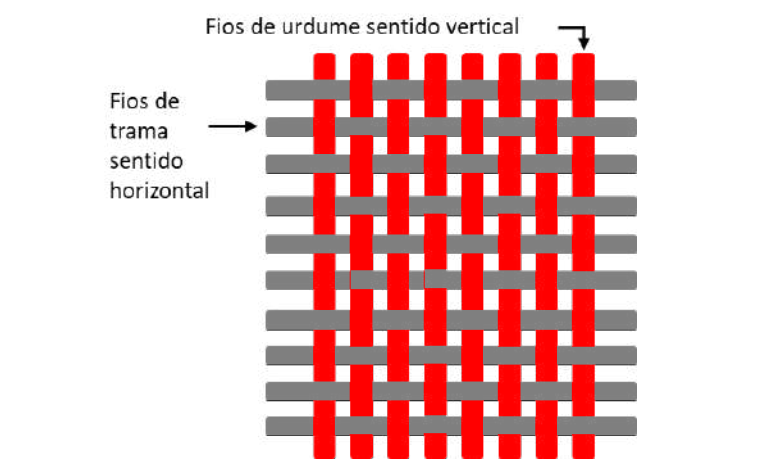
Componente	Composição (%)
Tecido fabricado	Tear liso
	Tear de felpa
Mecanismo de abertura de cala	Tear de quadro de liços
	Tear Jacquard
Mecanismo de inserção de trama	Tear de lançadeira
	Tear de projétil
	Tear de pinça
	Tear jato de ar

Fonte: Elaboração dos autores (2025).

Com uma simples combinação das propriedades levantadas na Tabela 1, pode-se observar o tipo de tear utilizado em escala industrial, como por exemplo o tear de quadro de liços, utilizado para a produção de tecido liso, com inserção do fio de trama por meio da aplicação de jato de ar.

Os tecidos planos possuem estruturas consideradas fundamentais, uma vez que praticamente todas as outras foram derivadas dessas. A figura 1, por exemplo, que ilustra o entrelaçamento dos fios de urdume no sentido vertical e da trama no sentido horizontal, representa o ligamento tafetá.

FIGURA 1 – BASE DE TECIDO PLANO TAFETÁ



Fonte: Elaboração dos autores (2025).

Assim como a sarja e o cetim – outras estruturas fundamentais para a formação do tecido plano –, o tafetá também possui estruturas derivadas, como o naté, gorgurã e panamá.

3.1.3 Beneficiamento

O beneficiamento é dividido em 3 etapas: Beneficiamento primário, secundário e terciário:

Primário: envolve tratamentos iniciais para preparar o tecido, como purga (remoção de impurezas), desengomagem e alvejamento (branqueamento das fibras de algodão), já se preparando para os beneficiamentos secundários;

Secundário: modifica as propriedades do tecido quanto ao seu aspecto visual, aplicando cor em toda a sua extensão de maneira uniforme (tingimento) ou de forma localizada, gerando desenhos (estamparia);

Terciário: aplica acabamentos no tecido que visam melhorar as características desejadas pelo mercado, que pode ser desde o brilho e o amaciamento, alterando o toque, até acabamento ditos

“avançados”, como hidrorrepelente, retardante de chama e anti-UV, cujo objetivo é melhorar o desempenho do tecido às condições necessárias para o que se destina.

3.2 ROCESSO DE FIAÇÃO

No processo de fiação, há uma divisão fundamental entre os processos convencionais e os não convencionais. O primeiro é o da fiação a anel, que pode produzir, ao mesmo tempo, vários fios (entre 200 a 1100 bobinas simultaneamente), sendo cada unidade de fiação conhecida por fuso, que estão situados ao longo da máquina, repartidos em igual número para ambas as faces. O segundo tem, entre os exemplos existentes, a fiação a rotor que, diferentemente do processo a anel, produz cerca de 300 bobinas simultâneas em um dos lados da máquina a velocidades muito superiores.

O processo consiste em transformar as fibras têxteis (naturais, sintéticas ou artificiais) em fios que serão utilizados na produção de tecidos. Esse processo é fundamental para indústria têxtil, pois é a base da criação dos fios que, posteriormente serão trançados ou tricotados, que serão transformados em diversos tipos de materiais têxteis.

Embora macias, as fibras do algodão apresentam boa resistência a esforços de tração, o que permitiu, desde tempos remotos, sua utilização na confecção de tecidos. O algodão é a matéria fibrosa que envolve as sementes do algodoeiro, planta do gênero Gossypium, família das malváceas, como visto na figura 2. As fibras crescem em quantidade considerável, aderidas às sementes e encerradas numa cápsula, que se abre ao amadurecer.

FIGURA 2 – CULTIVAR DE ALGODÃO

Fonte: Borges, 2024.

Regain é a quantidade de umidade que uma fibra consegue absorver em relação ao seu peso seco (SENAI, 2016). O valor percentual do regain da fibra é obtido a partir da seguinte relação demonstrada na figura 3, de acordo com o Araújo e Castro (1984).

FIGURA 3 – FÓRMULA %REGAIN

$$R\% = \frac{\text{massa de } H_2O \text{ absorvida na amostra}}{\text{massa em atmosfera seca}}$$

Fonte: Felker (2003).

De acordo com Felker (2003), o regain da fibra de algodão pode alterar as propriedades físicas e interferir na capacidade de fiar da fibra, alterando os resultados de teste. Somado a isto, sabe-se que a distribuição da umidade ao longo do fio não se dá de forma homogênea, portanto, mudanças nos dados de alongamento, tenacidade e módulo, assim como na uniformidade, imperfeições e níveis de defeitos, devem ser esperadas. O pré-condicionamento em uma atmosfera seca por vários dias e seu posterior condicionamento por, no mínimo, 24 horas em atmosfera padrão são cuidados que devem ser constantemente observados. Deste modo, qualquer influência decorrente das condições termo higrométricas é completamente eliminada.

Na tabela 2, pode-se observar o % regain comercial de acordo com o tipo da fibra têxtil:

TABELA 2 - EXEMPLOS DE REGAIN PARA FIBRAS TÊXTEIS

Fibra	Composição (%)
Algodão em rama	8,5
Lã	13,6
Seda	11,0
Vicose (rayon)	11,0
Nylon (Poliamida)	0
Poliéster	4,5

Fonte: Felker (2003).

O regain (ou índice de recuperação de umidade) do algodão, de acordo com normas técnicas da ABNT NBR ISSO 139:2008 e padrões internacionais como a ASTM e ISO, geralmente é definido como 8,5%. Esse valor refere-se à umidade padrão do algodão em equilíbrio com o ambiente em condições normais de laboratório (20 °C e 65% de umidade relativa), medida com o equipamento psicrômetro.

Essa especificação é importante para análises técnicas, como o cálculo do peso seco das fibras, ensaios mecânicos e processos industriais de fiação e tecelagem. A norma que define o valor padrão de umidade (regain) para o algodão é a ABNT NBR ISO 139:2008 (Têxteis - Atmosfera padrão para condicionamento e ensaio). Essa norma estabelece as condições de temperatura e umidade relativa para ensaios em laboratórios, onde o regain padrão do algodão é fixado em 8,5%.

Principais pontos da ABNT NBR ISO 139:2008 relacionados ao regain e ao condicionamento de têxteis:

Condições padrão para ensaios:

Temperatura: 20 °C ± 2 °C.

Umidade relativa: 65% ± 4%.

Essas condições são estabelecidas para garantir que os materiais sejam testados em um ambiente consistente.

Equilíbrio de umidade:

O material têxtil precisa ser condicionado até atingir o equilíbrio higroscópico, ou seja, um ponto no qual ele não ganha nem perde mais umidade em relação ao ambiente.

Regain (Recuperação de Umidade):

Para o algodão, o regain é estabelecido em 8,5%, indicando o percentual de umidade que a fibra retém em condições normais de laboratório.

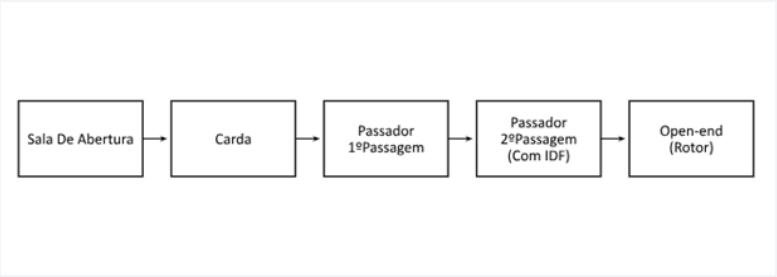
Importância do regain:

Esse valor é usado para calcular o peso seco das fibras, ajustar medições durante a produção e padronizar ensaios físicos e químicos.

3.2.1 Fluxo de processo

O processo Open End, desenvolvido no filatório a rotor, é representado pelo fluxo do processo descrito a seguir, o qual é estudado neste trabalho.

FLUXOGRAMA 1 – FLUXO DO PROCESSO DE FIAÇÃO A ROTOR



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

3.3 FORMAÇÃO DO FIO A ROTOR

A fiação a rotor, dentre os métodos não convencionais, é o mais utilizado em instalações industriais nacionalmente, tendo uma melhor performance para fibras de comprimento curto. Estima-se que os filatórios Open End já ocupem algo em torno de 40% do parque de máquinas de fiar nos EUA (Felker, 2003). Uma das maiores vantagens da fiação por rotor se dá pelo fato de que a aplicação da torção ocorre em separado do enrolamento do fio, o que permite altas velocidades no mecanismo de torção, enquanto o enrolamento acontece a uma velocidade muito mais baixa, agredindo menos o fio e as fibras que o compõem.

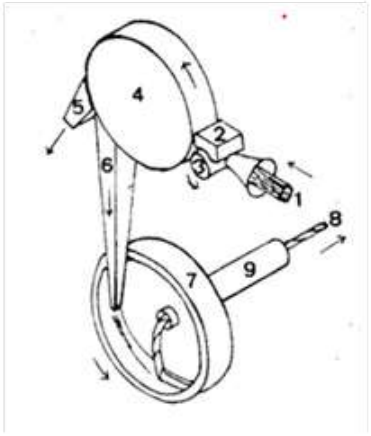
No entanto, uma desvantagem deste sistema é que quanto maior for o número de fibras na alimentação pior será a qualidade do fio resultante. Daí a preocupação das fiações com o índice micronaire da fibra do algodão, já que determinará o limite de fiabilidade em função da quantidade de fibras possíveis de serem inseridas na seção transversal do fio. Enquanto na fiação a anel a faixa mais utilizada de micronaire é entre 4,2 e 4,4, na fiação Open End, tais valores estão compreendidos entre 3,8 e 4,2.

O processo de formação do fio a rotor, listado a seguir, segue as numerações encontradas na Figura 4:

- A fita (1) entra na máquina puxada pelo cilindro alimentador (3), que trabalha com a placa alimentadora 2;
- As fibras são abertas pelo cilindro abridor (4), que possui um puado (guarnição) de carda;
- As impurezas saem pela abertura (5) e as fibras são aspiradas através do duto (6) para o rotor (7);

- A força centrípeta impele as fibras, pressionando-as contra a superfície do rotor e formando um anel;
- A fiação inicia-se introduzindo um fio iniciador (8) pelo tubo de saída (9).
- Cada volta do braço do fio introduz uma volta de torção no fio

FIGURA 4 – SISTEMA DE FORMAÇÃO DE FIO A ROTOR



Fonte: Usp (2024).

3.4 CONTROLE DE QUALIDADE FÍSICO

3.4.1 Resistência do fio

A resistência de um fio têxtil é a capacidade do fio de suportar forças de tração sem romper. É uma propriedade essencial para determinar a durabilidade e a qualidade do fio e dos tecidos produzidos a partir dele. Em outras palavras, fios com maior resistência são menos propensos a romper durante o processo de tecelagem, tingimento e acabamento, além de suportarem melhor o desgaste no uso cotidiano. A ruptura - parâmetro de qualidade que representa a força máxima necessária para romper um feixe de fibras - é expressa em g/tex (universal) e gf/tex (Brasil).

A resistência é geralmente medida em força (como Newtons) necessária para romper o fio ou sua tenacidade, que leva em conta a força em relação à espessura ou à área da seção transversal do fio (expressa em cN/tex, por exemplo). Essa resistência depende de fatores como o tipo de fibra, a estrutura do fio, a umidade e os tratamentos químicos aplicados.

3.4.2 Alongamento

O teste de alongamento de fios têxteis é um procedimento que avalia a capacidade do fio de se esticar sob tensão, medindo sua resistência até o ponto de ruptura. Esse teste é essencial para entender o comportamento do fio durante processos de tecelagem e o uso final em produtos, garantindo que ele atenda aos requisitos de qualidade e durabilidade.

Principais etapas do teste de alongamento:

Preparação do fio: O fio é cortado em amostras de comprimento específico e colocado em uma máquina de teste de alongamento (também chamada de tensomax);

Aplicação de carga: O fio é preso nas extremidades e submetido a uma força progressiva que puxa o material até ele atingir seu ponto máximo de alongamento ou romper. A velocidade e intensidade do alongamento são controladas conforme as normas estabelecidas para o tipo de fio;

Medição: Durante o teste, são registrados o percentual de alongamento (quanto o fio consegue esticar em relação ao comprimento original) e a carga de ruptura (a quantidade de força necessária para romper o fio).

Os resultados obtidos do teste são:

Alongamento (%): Mostra a capacidade de elasticidade do fio, indicando o quanto ele pode se esticar antes de deformar permanentemente;

Carga de ruptura (N): Determina a força máxima que o fio pode suportar antes de romper, indicando sua resistência.

3.4.3 Titulação

A titulação têxtil é o número que expressa a relação entre a massa e o comprimento dos materiais têxteis, indicando a espessura ou finura de fio. Existem dois sistemas de titulação:

- Título Direto: Baseia-se em comprimento constante e peso variável;
- Título Indireto: Baseia-se em peso constante e comprimento variável.

3.4.4 Regularímetro

O regularímetro é um equipamento visto em laboratórios de ensaios físicos e tem como principal objetivo a leitura dos materiais têxteis obtidos nos processos de preparação à fiação de algodão (fitas de carda, passador e pavio de maçaroqueira) e à fiação propriamente dita (espula vinda do filatório de anel e bobina de fio provenientes de qualquer processo de fiação) em relação a determinados parâmetros, como pontos finos, pontos grossos, neps, pilosidade etc. Essas irregulari-

dades acarretam queda de eficiência dos setores, tanto de fiação quanto dos posteriores, assim como na qualidade do material produzido, como influência no toque, na cor final e na resistência.

Seu funcionamento consiste na passagem do material de algodão (fita, pavio ou fio) por sensores capacitivos que realizam a leitura contínua do material, mensurando os parâmetros citados anteriormente. Esses resultados trazem um melhor entendimento da qualidade de alguns fatores, como por exemplo a mistura de fardos na sala de abertura e também as regulagens dos maquinários do setor de fiação, de forma a auxiliar na tomada de decisão com base na qualidade do material produzido e na eficiência dos maquinários. O regularímetro possui, atualmente, alguns fabricantes, sendo a USTER® - principal fabricante – e a MESDAN® as mais requisitadas.

3.5 O PROCESSO DE ACONDICIONAMENTO DO FIO DE TRAMA

Segundo o SENAI (2016), ao receber os lotes de fios na fábrica, é necessário conferir a quantidade e a qualidade de cada um, por meio de romaneio e relatório de testes com certificado que acompanham a nota fiscal.

Esta conferência busca verificar o peso do lote de fios e a umidade em função da massa seca (regain comercial) e, consequentemente, a determinação do peso de faturamento. Também é necessário verificar criteriosamente o relatório com certificado de qualidade do laboratório têxtil que mensurou as caraterísticas físicas dos fios. Tanto a forma de verificação do peso de faturamento como a metodologia de medição das caraterísticas físicas dos fios deve ser acordada e registrada no contrato de compra e venda entre os envolvidos.

A mensuração das características físicas dos fios pode ser acordada da seguinte forma:

a) A tecelagem deve receber, previamente, a amostra e o certificado com laudo dos valores dos parâmetros estatísticos das características físicas dos fios mensurados por um laboratório credenciado;

b) Os lotes de fios devem vir acompanhados de um certificado de qualidade de um laboratório que seja credenciado ou, pelo menos, que esteja em conformidade com o acordo entre as partes interessadas.

Caso tenham acordado em realizar os testes ou retestes (segundo teste) no recebimento do lote de fios, é necessário fazer a coleta das amostras conforme a metodologia acordada, que pode seguir as normas técnicas de amostragens da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O acordo também pode aceitar os resultados emitidos pelo laboratório da fiação, desde que tenha uma certificação.

A tecelagem que recebe os lotes de fios deve possuir balança para pesagem das caixas ou paletes que acondicionam as bobinas ou cones de fios, além de medidor de umidade portátil e aparelhos de laboratório para conferência das caraterísticas físicas do material comprado. A balança e o medidor de umidade devem possuir certificado atualizado de calibração emitido por um laboratório credenciado pela Rede Brasileira de Calibração (RBC).

Como exemplo de órgão credenciador de laboratórios para ensaios, pode-se mencionar o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro); como exemplo de laboratório têxtil credenciado pelo Inmetro, o laboratório do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial/ Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (SENAI/CETIQT).

Após a realização da conferência dos parâmetros e o recebimento dos lotes de fios, é de fundamental importância que eles sejam armazenados adequadamente em depósito, de modo a não colocarem os fios e suas embalagens em risco de danos.

FIGURA 5 – PALETE DE BOBINAS CONDICIONADAS NA TECELAGEM

Fonte: Elaboração dos autores (2024).

Tanto o excesso quanto a falta de umidade no ambiente e nos fios causam aumento do índice de roturas, redução da produtividade e aumento do custo do processo, que estão correlacionados com as fibras que formam a composição dos fios, ou seja, há fibras que perdem resistência ao aumentar seu conteúdo de umidade e fibras que ganham resistência. Assim, a umidade dos fios, a condição climática e a purificação do ar devem ser controladas continuamente ao longo dos processos que compõem a tecelagem plana.

O processo de acondicionamento dos lotes de fios visa a estabilizar a sua umidade em relação à condição climática da linha de processo. Portanto, as fibras que compõem o fio vão determinar o tempo necessário para desembalar as bobinas ou cones dos sacos plásticos antes de ser processadas pelas máquinas. O condicionamento possui um alto custo, porém é extremamente necessário.

O processo de acondicionamento pode ser feito em uma sala com condição climática controlável em termos de temperatura, umidade relativa e umidade absoluta do ar, ou mediante equipamentos apropriados para condicionar os fios por meio de vaporização. Isso possibilita a recuperação da taxa de umidade, tornando os fios mais estáveis e relaxados, o que leva a um rendimento nos processos de preparação à tecelagem. As salas de condicionamento dos lotes utilizam água fria sem pressão. (SENAI CETIQT, 2016).

Vale ressaltar que, normalmente, trabalham-se com sistemas que utilizam água fria quando o lote de fio é usado de imediato. Evita-se deixar os lotes de fios, principalmente os de algodão, estocados por longos períodos, pois a umidificação com água fria acelera o processo de amarelamento.

Um sistema de climatização e de purificação do ar ambiente instalado numa indústria têxtil deve ser capaz de manter a temperatura, a umidade relativa, a umidade absoluta e a purificação do ar dentro dos parâmetros desejados, o que representa um grande avanço na direção do aumento da produção, da melhor qualidade dos produtos e de condições de trabalho mais sustentáveis e saudáveis. Além do mais, existe um impacto positivo nos custos dos processos e produtos.

A umidificação correta mantém a resistência e a elasticidade do fio, melhorando a qualidade do produto, com margens de lucro mais altas. O desperdício também é reduzido porque os emaranhados diminuem. Cargas estáticas podem causar uma diminuição na produção e na qualidade dos produtos, devido à atração de fiapos e pelos, atolamentos na máquina, e até mesmo acidentes. Um nível de umidade mais alto naturalmente dissipa as cargas estáticas.

Para um controle contínuo das condições climáticas dos ambientes produtivos e laboratoriais, faz-se necessária a utilização de aparelhos como o termohigrômetro e o psicrômetro portátil, com selo de certificado de calibração por um laboratório credenciado pela RBC.

Outra forma de condicionamento acontece por meio das câmaras de umidificação que trabalham com vapor de ar quente sob pressão, termo fixação e máquina de vaporização.

FIGURA 6 – MÁQUINA DE VAPORIZAÇÃO

Fonte: Elaboração dos autores (2024).

O processo de vaporização consiste em devolver a umidade que é perdida pelo material no seu processo de produção, que, nesse caso, são as bobinas de fios têxteis utilizados como fios trama.

Etapas do processo de vaporização:

- Carregamento do material: os fios são acomodados em paletes (no formato de bobinas, nesse caso) e colocados na máquina de vaporização;
- Criação de vácuo: o sistema retira o ar da câmera, criando uma condição de vácuo. Isso permite que o vapor produzido penetre de forma mais eficiente no material, mesmo nos que apresentam certo grau de densidade;
- Injeção de vapor: O vapor é introduzido na câmara em condições controladas de temperatura e umidade. O vácuo reduz a temperatura ao ponto necessário para que o vapor seja eficaz, protegendo materiais sensíveis;
- Tratamento térmico: O material é exposto ao vapor por um período definido, ajustado de acordo com as características do fio ou tecido e os resultados desejados;
- Arrefecimento e finalização: Após o tratamento, o material é resfriado antes de ser descarregado.

Dentre as vantagens do processo de vaporização, destacam-se estas:

- Penetração profunda do vapor: O vapor alcança todas as camadas do material, mesmo em estruturas compactas;
- Qualidade uniforme do material: Ajuda a eliminar tensões, melhorando a textura e a uniformidade dos fios;
- Versatilidade: A vaporização é adequada para uma ampla gama de materiais, como algodão, poliéster e misturas.

Este método de condicionamento é valorizado pela sua capacidade de oferecer tratamento de alta qualidade com menor impacto ambiental, já que utiliza água e energia de forma eficiente.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia apresenta os métodos adotados para desenvolver a pesquisa, que se define a partir dos passos da pesquisa. Segundo Tumelero (2024), dentre a vasta quantidade de tipos de pesquisa, os principais são:

- Pesquisa qualitativa: Foca na análise subjetiva de comportamentos, sentimentos e fenômenos sociais, sem dados numéricos exatos. Utiliza métodos como observações e entrevistas abertas, geralmente em áreas como Psicologia e Ciências Sociais;

- Pesquisa quantitativa: Baseada em dados numéricos, estatísticas e evidências matemáticas. O pesquisador coleta dados concretos, como números de trânsito ou acidentes, para fazer análises objetivas;
- Pesquisa descritiva: Descreve processos, eventos e circunstâncias, sem interferir neles. O pesquisador observa e documenta a realidade, como em estudos de rotina em uma organização, sem se envolver diretamente;
- Pesquisa exploratória: Busca estudar um campo pouco analisado, com flexibilidade nos métodos. Ideal para tópicos novos ou pouco explorados, como o impacto da COVID-19 no urbanismo;
- Pesquisa bibliográfica: Baseia-se na revisão de literatura existente sobre um tema. O pesquisador compara e analisa o que foi escrito sobre o assunto, contribuindo com novas perspectivas ou conclusões;
- Estudo de caso: Examina minuciosamente um caso específico, como uma campanha de marketing, para entender suas causas e efeitos. O estudo busca extrair lições aplicáveis a outros contextos;
- Pesquisa experimental: Realiza experimentos controlados para testar hipóteses e obter resultados precisos, como no desenvolvimento de vacinas em laboratórios.

Para o projeto descrito neste documento, foi conduzida uma pesquisa experimental, em que as bobinas de amostras foram submetidas a diferentes tipos de acondicionamento e depois encaminhadas ao laboratório de ensaios físicos, onde passaram por ensaios de titulação, resistência e alongamento. Após a conclusão dos testes, as bobinas foram levadas para tecelagem e utilizadas em um mesmo tear, com o mesmo rolo de urdume, como fio de trama, para serem submetidas ao teste de produção. Esse procedimento foi realizado em dois turnos e, ao final, foram registradas as eficiências, a quantidade de rupturas de trama e o cálculo do índice de rupturas por 1.000.000 de passagens (batidas).

As amostras de fio, com mesma titulação e proveniente do mesmo filatório Open End, tiveram diferentes tipos de tratamento para o processo de acondicionamento, as quais serão explicadas a seguir:

Amostra 1: Tipo de acondicionamento: Sem acondicionamento (uso imediato após os ensaios no laboratório).

Amostra 2: Tipo de acondicionamento: Repouso na sala de tecelagem por 24 horas.

Amostra 3: Utilização das bobinas que foram condicionadas na máquina de vaporização.

A máquina de vaporização utilizada seguiu os seguintes parâmetros de processo durante a batelada: Tempo de vaporização: 48 minutos.

Temperatura: 62 °C.

Sucção: 8 minutos (tirar o vapor).

Início do processo: temperatura 30 °C (período de 2 horas e 30 minutos).

Condensação: tempo - 22 minutos, temperatura 62 °C.

Descarregamento do vapor.

É importante destacar que, para garantir uma maior uniformidade da experiência, todas as amostras foram obtidas utilizando a mesma programação de mistura dos fardos de algodão na sala de abertura. Além disso, a produção dos fios foi realizada nos mesmos fusos para cada amostra. Especificamente, as bobinas das amostras 1, 2 e 3 foram produzidas nos fusos de 01 a 12, totalizando 12 bobinas por amostra. O tear usado para a experiência também foi o mesmo para todas as amostras de bobinas, utilizando o mesmo rolo de urdume e a mesma rotação 700 rpm. A sala de tecelagem, no teste realizado com as três amostras, apresentou características de temperatura e umidade relativa praticamente constantes em 27 ºC e 76%, respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os dados dos testes conduzidos no laboratório de fiação com as amostras 1, 2 e 3.

TABELA 3 – RESULTADOS DE REGULARIDADE E RESISTÊNCIA DO FIO 36/1 NE

Parâmetro	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Título médio (Ne)	36,53	36,12	36,30
Desvio Padrão (Ne)	0,04	0,03	0,04
CV (%)	1,74	1,47	2,04
Resistência média (cN/tex)	11,58	12,12	12,04
Desvio Padrão (cN/tex)	0,65	0,49	0,64
CV (%)	5,54	4,08	6,66
Alongamento médio (%)	4,16	5,14	4,47
Desvio Padrão (%)	0,22	0,29	0,29
CV (%)	5,45	5,55	4,88

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Todas as amostras apresentaram um valor de titulação bem próximos, indicando que não houve variações significativas no processo de fiação. Tal fato também sugere que possíveis variações dos resultados encontrados nos demais ensaios realizados em laboratório não tiveram influência direta da titulação. A amostra 2 foi a que apresentou um resultado mais próximo do padrão (36,12 Ne, enquanto o padrão é 36,00 Ne) com baixos valores de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação - CV (%)).

As amostras 2 e 3, de acordo com os resultados apresentados na Tabela 3, exibiram melhora nos resultados em comparação à amostra 1, indicando que o processo de acondicionamento é benéfico para o fio e influencia diretamente nas propriedades de resistência, independentemente do tipo de processo a ser realizado.

A falta do acondicionamento na bobina da amostra 1 fez com que o fio mantivesse as tensões acumuladas dos processos anteriores (etapas de fiação), comprometendo a precisão dos ensaios pelo fato de o fio ter partes mais enrijecidas e outras mais frágeis que o normal e ao longo de toda a sua extensão (Booth, 1983).

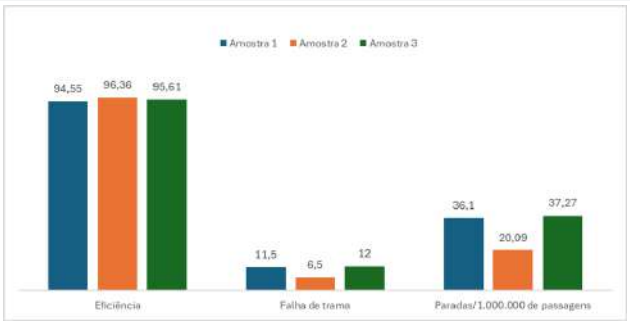
Já a amostra 2 apresentou os melhores resultados de resistência e alongamento, bem como pouca variação nesses mesmos resultados em relação às demais amostras. Essa condição sugere que a absorção da umidade, de forma gradual, tornou o equilíbrio higroscópico mais eficiente, aliviando as tensões residuais do fio de forma gradual, reduzindo a incidência de microdeformações internas. Tais fatores corroboram a afirmação de Fachinelli (2021), que aponta que o procedimento de acondicionamento é tradicionalmente eficaz e indicado para fios de composição de algodão.

A amostra 3 teve resultados de resistência e alongamento melhores que os encontrados na amostra 1, porém abaixo dos resultados da amostra 2, sendo a amostra que apresentou maior variação dos resultados no parâmetro de resistência, indicando que houve variabilidade no processo de vaporização. Dentre as possíveis causas do valor acentuado do coeficiente de variação da resistência da amostra 3, estão o possível empacotamento inadequado das bobinas para entrar no processo de vaporização, o que pode ter ocasionado a desuniformidade da penetração do vapor.

Além disso, os parâmetros do processo de vaporização (tempo, temperatura e pressão do vapor) podem não ter sido ideais, indo ao encontro do que cita Kulkarni (2020), que destaca a melhoria da estabilidade dimensional do fio com esse processo, mas que a sua eficácia está diretamente relacionada com a configuração correta do ciclo. O alongamento inferior ao da amostra 2 também sugere que o método aplicado, por conta de os parâmetros de processo não estarem na condição desejada para esse tipo de fio, pode ter causado uma pequena compactação estrutural, limitando a deformação elástica do fio.

O Gráfico 1 mostra os resultados de quantidade de paradas dos maquinários e eficiência dos teares para as experiências (amostras) 1, 2 e 3.

GRÁFICO 1 – RESULTADOS DE EFICIÊNCIA DO TEAR E DE PARADA DE MÁQUINA



Fonte: Elaboração dos autores (2025).

No processo de tecelagem, a eficiência de um tear é representada pela razão entre o tempo em que a máquina esteve em processo contínuo, ou seja, sem paradas de qualquer natureza, e o tempo total mensurado. Esse parâmetro evidencia o quão produtivo o tear estava em um determinado tempo. Os teares atuais já mostram esse parâmetro nas telas de comando dos próprios maquinários.

Assim, de acordo com a Gráfico 1, observa-se que as amostras 2 e 3 alcançaram valores de eficiência superior aos da amostra 1, indicando que o acondicionamento influenciou na otimização do desempenho dos fios durante o processo de tecelagem.

A amostra 1 apresentou baixa eficiência e altos valores para parada do tear por falha de trama (desvio causado pela inserção incompleta do fio de trama durante a abertura da cala) e alta taxa de parada do tear. Isso sugere a provável influência da alta rigidez do fio, que pode ter ocasionado a aparição de partes mais frágeis à deformação elástica por conta das tensões residuais, provenientes do processo de fiação, aumentando a probabilidade de rupturas e falhas na etapa de inserção da trama. Esse aumento da taxa de parada confirma a afirmação de Hossain (2016): “fios com baixo alongamento e resistência tendem a gerar mais paradas na tecelagem (...)”.

Os resultados apresentados pela amostra 2 nos ensaios de laboratório influenciaram positivamente no comportamento desse fio no processo de tecelagem. O relaxamento gradativo das tensões residuais permitiu um equilíbrio higroscópico ideal, propiciando os melhores resultados dentre as três amostras no ensaio da produção da tecelagem. O aumento do alongamento e da resistência fazem com que o material tenda a apresentar maior capacidade de absorção de cargas dinâmicas no processo de inserção do fio para a formação da trama, reduzindo a probabilidade de falhas. Tal fato corrobora o estudo de Nawab (2023), que relaciona a eficiência

operacional do processo de tecelagem às condições do fio de trama com menor variação dos valores de resistência e maior percentual de alongamento.

A amostra 3, mesmo realizando o processo de acondicionamento em equipamento de vaporização (Xorella), além de ter apresentado valor intermediário de eficiência - maior que a amostra 1, porém menor que a amostra 2 –, também demonstrou os maiores valores de falha de trama e de taxa de paradas. Essas condições indicam que a possível heterogeneidade da penetração do vapor na bobina impactou negativamente o desempenho. O estudo de Kulkarni (2020) e a explicação de especialistas da empresa fabricante de vaporização (Xorella) demonstram que o ajuste incorreto dos parâmetros de vaporização ou um possível empacotamento inadequado pode resultar em um tratamento não uniforme, o que prejudica os processos subsequentes.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou a influência do acondicionamento dos fios de trama na eficiência do tear e nas questões de falha do processo, bem como a taxa de parada de máquina em virtude de problemas da trama. As três amostras tiveram diferenças com relação ao processo de acondicionamento: 1) a amostra 1 não passou por nenhum processo de acondicionamento; 2) a amostra 2 realizou o acondicionamento por repouso em área separada dentro do setor da tecelagem por 24 horas e 3) a amostra 3 foi submetida ao processo de vaporização em máquina específica para o processo.

Nenhuma amostra apresentou variações do valor do título, indicando que o processo de fiação demonstrou uma regularidade de processamento. Os valores de resistência e alongamento mostram que o processo de acondicionamento teve influência nos resultados, mostrando valores superiores nos da amostra 1, destacando que o processo de repouso (amostra 2) apresentou resultados melhores que a amostra 3 (processo de vaporização).

Tais resultados influenciaram os efeitos do ensaio feito no setor de tecelagem com os fios utilizados na trama. A amostra 1, como não teve nenhum tipo de acondicionamento, apresentou falha de trama e taxa alta de parada por 1 milhão de passagens, enquanto a amostra 2 teve os melhores resultados de taxa de parada. Já a amostra 3 apresentou valores de falha e taxa de parada maiores que a amostra 1, indicando possíveis problemas, que vão desde o processo realizado com parâmetros incorretos até o formato do processo de enrolamento das bobinas, o que tem relação direta com o empacotamento. Essas condições sugerem que houve possível falha na penetração do vapor nas bobinas que entraram para o processo de vaporização. As condições vistas nas amostras 1 e 3 corroboram com a afirmação de Meredith (1986), que aponta que a relação da variação de umidade relativa (insuficiente ou excessiva) pode alterar a resistência em até 15%.

Os valores de eficiência dos teares nos experimentos estão muito próximos, indicando que as condições ambientais da sala de tecelagem, que se mantiveram com valores médios de 27,6 °C de temperatura e 76,5% de umidade, contribuíram para a otimização do desempenho dos fios das amostras no processo tecelagem. Esses dados destacam a relevância de um ambiente

climatizado adequadamente, que não apenas preserva a qualidade do material, mas também impacta positivamente a produtividade e a redução de perdas durante o processo de tecelagem.

Conclui-se, portanto, que o condicionamento dos fios é um fator determinante para alcançar padrões de qualidade e eficiência superiores a 90%, conforme exigido pelos padrões industriais. No entanto, é importante ressaltar que esses resultados podem variar de acordo com o tipo de artigo produzido e os critérios específicos de cada empresa. Recomenda-se, para estudos futuros, a ampliação das análises para diferentes condições ambientais e tipos de fios, bem como a realização de bateladas no vaporizador com diferentes parâmetros de processo, a fim de estabelecer resultados ainda mais precisos e adaptáveis a diversos contextos produtivos.

REFERÊNCIAS

BOOTH, J. E. **Principles of textile testing: An introduction to physical methods of testing textile fibres, yarns and fabrics**. 3. ed. London: Butterworths, 1983.

BORGES, S. Z. **Cultivares de algodão da Embrapa mostram seu potencial na Tecnofam 2024**. 2024. Embrapa Agropecuária Oeste. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/87728288/cultivares-de-algodao-da-embrapa-mostram-seu-potencial-na-tecnofam-2024. Acesso em: 26 maio 2025.

EMPRABA. **Algodão**. 2024

CONDAIR. **Umidificação e controle de umidade na indústria têxtil**. 2024. Disponível em: https://www.condair.com.br/humidificacion-humedad-industria-textil. Acesso em: 12 dez. 2024.

DUARTE, A Y. S.; SANCHES, R. A. Isto não é descarte! Reaproveitamento têxtil para uma economia circular. **Poéticas Têxteis**: tradição, preservação e ressignificação dos saberes, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 57-75, 5 fev. 2024. Canal 6 Editora. http://dx.doi.org/10.52050/9788579176395.c3.

FAÉ, D. **Urdideira Seccional**: problemas no processo de urdimento com algodão. 2021. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Produção Têxtil, Ceeteps, Fatec, Americana, 2021.

FACHINELLI, M. **Tecnologia da fiação**: fibras, processos e produtos. 2. ed. Blumenau: SENAI Editora, 2021.

FREITAS, T. V. F. **Estudo comparativo de gomas utilizadas no processo de engomagem de fios 100% algodão**. 2023. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Bacharelado em Engenharia Têxtil, Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UFTPR), Apucarana, 2023.

HOSSAIN, M. M. **A Review on Different Factors of Woven Fabrics' Strength Prediction. Science Research**, [s.l.], v. 4, n. 3, p. 88-97, 13 jun. 2016. Science Publishing Group. http://dx.doi.org/10.11648/j.sr.20160403.13.

ISO. ABNT NBR ISO 139:2008: **Têxteis**: atmosfera padrão para condicionamento e ensaio. Brasil: ABNT, 2008.

KULKARNI, R. **Textile yarns**: technology, structure, and applications. Cambridge: Woodhead Publishing, 2020.

LENADO. **Máquinas de fio a vapor.** 2000. Disponível em: https://pt.lenadolooms.com/other-loom/steam-yarn-machine.html#:~:text=O%20processo%20de%20vaporiza%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9,fio%20ou%20tecido%20est%C3%A1%20alojado. Acesso em: 26 maio 2025.

NAWAB, Y.; SHAKER, K. **Textile engineering**: an introduction. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2023.

RESPONDI, T. **Tipos de pesquisa, metodologias**. 2022. Disponível em: https://respondi.app/blog/tipos-de-pesquisa/. Acesso em: 06 dez. 2024.

SENAI (Brasília). Departamento Nacional. **Tecelagem volume 3 / Serviço Nacional de aprendizagem Industrial**: departamento nacional, serviço nacional de aprendizagem industrial. centro de tecnologia da indústria química e têxtil. 2016.

SENAI/DN, **Série Têxtil**. V.3: il. Disponível em: https://estantedelivros.senai.br/view/1C51b2JJ--I4lsaqVBKuHgNh9tA455Hlav, 2016. Acesso em: 14 fev. 2025.

TOTVS. **Qual é a força da indústria têxtil no Brasil?** Conheça importância e a tecnologia do setor. 2023. Disponível em: https://www.totvs.com/blog/gestao-varejista/industria-textil-no-brasil/. Acesso em: 19 out. 2024.

TUMELERO, N. **Metodologia de pesquisa**. 2019. Disponível em: https://blog.mettzer.com/metodologia-de-pesquisa/. Acesso em: 06 dez. 2024.

UMIDIFICAÇÃO para a indústria têxtil: Umidificação na indústria têxtil tem muitos benefícios que aumentam a rentabilidade: Umidificação na indústria têxtil tem muitos benefícios que aumentam a rentabilidade: 2024. Disponível em: https://www.condair.com.br/humidificacion-humedad-industria-textil. Acesso em: 12 dez. 2024.

USP (São Paulo). **Fiação por Rotor**. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4196901/mod_folder/content/0/tecfiacao7.pdf. Acesso em: 06 dez. 2024.

XORELLA AG. **Conditioning with steam**: The Xorella process. Winterthur: Xorella AG, 2021.

CURRÍCULO RESUMIDO DO(S) AUTOR(ES)

Augusto Ferreira de Almeia Júnior
Engenheiro Industrial Têxtil, Instrutor do Curso Técnico Têxtil EAD, Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil, SENAI/RJ/CETIQT.
E-mail: afalmeida@cetiqt.senai.br

Marcelo Eiti Banja
Engenheiro Têxtil e Industrial, Instrutor do Curso Técnico Têxtil EAD, Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil, SENAI/RJ/CETIQT.
E-mail: mbanja@cetiqt.senai.br

Gileno Lima Almeida
Curso Técnico Têxtil EAD, SENAI SE.
E-mail: gilenogiba@gmail.com

Leandro Barros Santos
Curso Técnico Têxtil EAD, SENAI SE.
E-mail: barrosleandro647@gmail.com

Stéphany Amanda Santos Menêses
Curso Técnico Têxtil EAD, SENAI SE.
E-mail: stephanyadm2015@gmail.com

Wallace Vitória Santos
Curso Técnico Têxtil EAD, SENAI SE.
E-mail: wallacevitoria1988@gmail.com

CENTRO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL DO SENAI – SENAI CETIQT

Sérgio Luiz Souza Motta
Diretoria Executiva

Fernando Rotta Rodrigues
Diretoria de Administração e Finanças

Leandro Neves
Gerência de Educação

Ana Claudia Lopes
Coordenação de Graduação e Ensino Técnico

Renata Rottweiler
Coordenação Educação a Distância e Desenvolvimento de Produtos

Ana Claudia Lopes
Editora-Gerente

André Simões
Robson Cruz
Editor-Chefe

Eric Viana
Design Educacional

Livia Duarte
Revisão Ortográfica e Gramatical

Amanda Pedrosa da Silva
Projeto gráfico

Amanda Pedrosa da Silva
Gabriel Benedito da Silva
Diagramação e Capa

SENAI CETIQT

SENAI Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial