



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM
ENGENHARIA CIVIL

Isabella Patrício Gomes

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DO COURO EM PROCESSO
DE PIRÓLISE**

Palmas

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO TOCANTINS CAMPUS PALMAS CURSO DE BACHARELADO EM
ENGENHARIA CIVIL

Isabella Patrício Gomes

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DO COURO EM PROCESSO
DE PIRÓLISE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
requisito parcial para obtenção do título de Bacharel
no Curso Superior de Engenheiro Civil do Instituto
Federal do Tocantins, Campus Palmas.
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

Palmas

2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins**

G633a Gomes, Isabella Patrício
APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DO COURO
EM PROCESSO DE PIRÓLISE / Isabella Patrício Gomes. – Palmas,
TO, 2023.
50 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

1. Resíduos da indústria de couro. 2. Pirolise de resíduos da
indústria de couro. 3. Carvão obtido da pirólise de resíduos de couro.
I. Mendes Pedroza, Marcelo. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

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

FOLHA DE APROVAÇÃO

Isabella Patrício Gomes

APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DO COURO EM PROCESSO DE PIRÓLISE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia Civil Instituto Federal do Tocantins - *Campus* Palmas, como exigência à obtenção do grau em Engenheiro Civil.

Aprovado em: 11 / 12 / 2023

BANCA AVALIADORA



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

Orientador

(IFTO)



Prof. Dra. Michelle Ludmila Guedes dos Santos

(IFTO)



Eng. Me. Ranyere do Nascimento Lôbo

RESUMO

GOMES, Isabella Patrício. **Aproveitamento de resíduo da indústria do couro em processo de pirólise**. 2023. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2023.

A grande quantidade de resíduos gerados pela indústria de couro é preocupante, logo, as buscas por alternativas que deem uma destinação final adequadamente sustentável devem ser acentuadas. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo utilizar a biomassa (serragens do couro) fornecida pelo departamento de Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto, estado de São Paulo, para a produção de carvão ativado através do ensaio de Pirólise, onde todos os testes foram elaborados no Laboratório de Análise de Águas, no Instituto Federal do Tocantins (IFTO), *Campus* Palmas. Inicialmente buscou-se obter algumas características do material *in natura* tais como Teor de Umidade, de Cinzas, de Material Volátil e de Carbono Fixo. A partir daí, foi feito o ensaio pirolítico realizado em um reator de leito fixo, com temperatura de 550°C, a uma taxa de aquecimento de 30°C/min e utilizando um gás de arraste, onde o vapor da água foi aquecido a 130°C. Através de planejamento multivariável o efeito de dois fatores no sistema de pirólise das serragens de couro: a temperatura e a taxa de aquecimento. Dessa forma, foi aplicado um planejamento experimental com 3 experimentos no ponto central e 8 tipos de combinações entre os fatores. Foram utilizadas temperaturas entre 479,29°C e 620,71°C e taxas de aquecimento de 17,93 °C/min a 32,07 °C/min. A análise imediata da biomassa *in natura* trouxe um Teor de Umidade de cerca de 19,8%, Material Volátil com 73,34%, Cinzas com 4,61% e Carbono Fixo de 2,25%, o que remetem a facilidade da amostra de entrar em combustão. O Balanço de Massa realizado após os testes de pirólise trouxe consigo o maior rendimento de carvão de 15,6%.

Palavras-chave: Resíduo. Couro. Reaproveitamento. Pirólise. Carvão.

ABSTRACT

GOMES, Isabella Patrício. **Use of waste from the leather industry in the pyrolysis process**. 2023. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2023.

The large amount of waste generated by the leather industry is worrying, therefore, the search for alternatives that provide an adequately sustainable final destination must be accentuated. Therefore, this work aimed to use biomass (leather sawdust) supplied by the Environmental Technology department of the University of Ribeirão Preto, state of São Paulo, for the production of activated carbon through the Pyrolysis test, where all tests were prepared at the Water Analysis Laboratory, at the Federal Institute of Tocantins (IFTO), Campus Palmas. Initially, we sought to obtain some characteristics of the raw material such as Moisture, Ash, Volatile Material and Fixed Carbon Content. From there, the pyrolytic test was carried out in a fixed bed reactor, with a temperature of 550°C, at a heating rate of 30°C/min and using a carrier gas, where the water vapor was heated to 130°C. Through multivariable planning the effect of two factors on the leather sawdust pyrolysis system: temperature and heating rate. Thus, an experimental design was applied with 3 experiments at the central point and 8 types of combinations between factors. Temperatures between 479.29°C and 620.71°C and heating rates of 17.93 °C/min to 32.07 °C/min were used. The Immediate analysis of in natura biomass brought a Moisture Content of around 19.8%, Volatile Material with 73.34%, Ash with 4.61% and Fixed Carbon with 2.25%, which refers to the ease of sampling from combusting. The Mass Balance carried out after the pyrolysis tests brought with it the highest coal yield of 15.6%.

Keywords: Waste. Leather. Reuse. Pyrolysis. Coal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Capacidade de produção de couros no Brasil.	13
Figura 2 -	Evolução do abate anual de bovinos, desde 1997, em milhões de cabeças.	14
Figura 3 -	Rebanho bovino brasileiro de corte por região em milhões de cabeças.	15
Figura 4 -	Distribuição de Estabelecimentos Curtidores por Região	16
Figura 5 -	Pilha de couro salgado.	17
Figura 6 -	Fluxograma esquemático da fabricação de couros – operações de ribeira.	18
Figura 7 -	Máquina rebaixadeira.	20
Figura 8 -	Couro Wet-blue.	20
Figura 9 -	Fluxograma esquemático da fabricação de couros – operações de acabamento.	21
Figura 10 -	Couro acabado.	22
Figura 11 -	Fluxos básicos principais de um curtume.	23
Figura 12 -	Esquema do processo de pirólise.	24
Figura 13 -	Desenho esquemático das atividades desenvolvidas.	27
Figura 14 -	Serragens de couro.	27
Figura 15 -	Estufa utilizada para o ensaio Teor de Umidade.	29
Figura 16 -	Diagrama de Pareto para a obtenção de carvão a partir da biomassa de couro.	29
Figura 17 -	Balança.	30
Figura 18 -	Mufla (Fornos Magnu's).	31
Figura 19 -	Reator empregado no ensaio da Pirólise.	33
Figura 20 -	Autoclave utilizada no ensaio da Pirólise.	33
Figura 21 -	Diagrama de Pareto para a obtenção de carvão a partir da biomassa de couro.	38
Figura 22 -	Rendimento do Carvão (experimental) x Rendimento do Carvão (predito).	40

Figura 23 - Superfície para obtenção de carvão das serragens de couro a partir das variáveis Temperatura e Taxa de aquecimento. **41**

Figura 24 - Mesma superfície em três dimensões. **41**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de Couro por Região em 2000.	15
Tabela 2 - Rendimentos obtidos por diferentes modos de pirólise (base madeira seca).	25
Tabela 3 - Níveis dos Fatores empregados no Planejamento Experimental, durante a Pirólise das serragens de couro.	34
Tabela 4 - Ordem dos experimentos empregados no planejamento fatorial DCCR 22.	35
Tabela 5 - Resultados da análise imediata da apara de couro.	36
Tabela 6 - Resultados do planejamento DCCR 2 obtidos da pirólise das serragens de couro em reator de leito fixo.	37
Tabela 7 - Coeficientes de regressão do Planejamento DCCR 2 obtidos da produção de carvão das serragens de couro em sistema de pirólise com intervalo de confiança de 95%.	38
Tabela 8 - ANOVA para a produção de carvão em processo de pirólise das serragens de couro em reator de leito fixo.	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 PROBLEMA DE PESQUISA	10
3 JUSTIFICATIVA.....	11
4 OBJETIVOS.....	11
4.1 OBJETIVO GERAL.....	11
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
5 REVISÃO DE LITERATURA	12
5.1 COURO	12
5.2 COURO BOVINO.....	13
5.3 ABATE DE BOVINOS NO BRASIL.....	13
5.4 PRODUÇÃO DO COURO.....	15
5.5 PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DA PELE EM COURO	16
5.5.1 Abate e esfolação	16
5.5.2 Conservação	17
5.5.3 Ribeiro	18
5.5.4 Curtimento	19
5.5.5 Acabamento	21
5.6 RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE COURO.....	23
5.7 PIRÓLISE.....	24
5.8 CARVÃO ATIVADO	26
6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	26
6.1 CARACTERIZAÇÃO DAS SERRAGENS DE COURO.....	28
6.1.1 Teor de Umidade	28
6.1.2 Teor de Cinzas	30
6.1.3 Teor de Material Volátil	31
6.1.4 Teor de Carbono Fixo	32
6.2 TESTE DE PIRÓLISE.....	32
6.2.1 Balanço da massa	33
7 RESULTADOS.....	35
7.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA	35

7.2 TESTE DE PIRÓLISE.....	36
8 CONCLUSÃO	42
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	42

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional desordenado, aliado ao avanço do padrão de vida, é perceptível a necessidade do aumento da produção alimentícia de um modo geral. E para atender tal demanda, indústrias da carne trabalham intensamente e ininterruptamente para manterem sua atividade de abate animal, essa atividade gera resíduos. A pele, em especial, se não processado para reutilização, tende a ser descartado, causando enormes danos tanto para o solo, quanto para as águas subterrâneas e superficiais, tornando-os impróprios para o consumo, além de causar ricos à saúde da população (CICB, 2019).

Aproveitando cerca de 40% do animal que seria originalmente descartado, os curtumes trabalham para reduzir esse impacto, contribuindo para a fabricação de itens indispensáveis à sociedade. Integrada em uma das cadeias mais importantes do agronegócio, a indústria do couro faz parte da economia circular, beneficiando diversos setores e, acima de tudo, protegendo as pessoas e o meio ambiente" (CICB, 2019).

As indústrias transformam o material putrescível (pele animal) em material imputrescível de couro, com consumo de matérias-primas e energia e consequentemente com geração de contaminantes. Nesse contexto, um dos principais problemas associados à atividade de curtume é a grande quantidade de resíduos líquidos e sólidos gerados, classificados segundo a ABNT como perigosos, por conterem cromo proveniente do processo produtivo (NOGUEIRA, 2017).

Assim, a busca por alternativas para reuso, reciclagem, tratamento e destinação finais ambientalmente adequadas de resíduos têm sido alvo de diversos estudos.

A pirólise pode ser definida como a degradação térmica de qualquer material orgânico na ausência parcial ou total de um agente oxidante, ou até mesmo, em um ambiente com uma concentração de oxigênio capaz de evitar a gaseificação intensiva do material orgânico. A pirólise geralmente ocorre a uma temperatura que varia desde os 400 °C até o início do regime de gaseificação. Esse processo resulta na formação de três produtos principais: um sólido rico em carbono (carvão), um líquido (óleo) e os

chamados gases "não condensáveis" como CO, CO₂, CH₄ e H₂ (PEDROZA et al., 2010).

O carvão ativado é considerado adsorvente universal para a remoção de diversos tipos de poluentes de águas. Porém, sua ampla utilização é restrita devido ao elevado custo (PEREIRA, 2018).

Assim, a produção de carvão em substituição ao carvão ativado comercial é de extremo interesse ambiental e industrial, pois existe uma gama de resíduos que podem ser usados para preparar adsorventes a um custo relativamente baixo (MARTINS et al., 2019).

Além disso, a conversão dos resíduos mostra-se interessante no sentido de encontrar um destino para os resíduos urbanos e industriais, que são frequentemente descartados de forma inadequada, causando efeitos adversos ao meio ambiente (MATA et al., 2018).

O presente estudo tem como objetivo avaliar a melhor condição experimental para maximizar o rendimento do carvão produzido a partir de resíduos da indústria do couro, sob diferentes condições de temperatura e taxa de aquecimento e ativação por vapor d'água.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

Considerando o reaproveitamento das serragens de couro, matéria-prima de baixo custo e de fonte acessível, de que forma ela contribui para a criação de novos produtos?

3 JUSTIFICATIVA

O tratamento de resíduos sólidos consiste em uma sequência de ações com o objetivo de diminuir a quantidade ou o potencial poluidor, seja impedindo o descarte em ambiente ou local inadequado, ou transformando-o em material inerte ou biologicamente estável (CANÔAS, 2018).

Nesse sentido, é substancial que se analise as características das serragens do couro após serem submetidas ao teste pirólise para definição do enquadramento em possíveis usos, visando o aproveitamento energético do resíduo.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Aproveitar os resíduos da indústria do couro através da degradação térmica do material.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o material *in natura*;
- Realizar a Pirólise de resíduo em reator de leito fixo;
- Determinar o modelo estatístico que representa a produção de carvão a partir da pirólise.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 COURO

Segundo Nobrega (2015), o material conhecido como couro é produzido exclusivamente a partir da pele de animal, curtido por qualquer processo e formado essencialmente da camada intermediária e mais espessa da pele, a derme.

O couro é a pele do animal preservada de modo que não sofra ataques de micro-organismo decompositores e apresenta textura repleta em fibras colágenas que passaram por diferentes estágios de transformação para se tornar flexíveis e macias (NOBREGA, 2015).

De acordo com o Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil (CICB), por ser um produto natural, a palavra “couro” está protegida pela Lei 4.888/1965, que coíbe o uso do termo em produtos que não sejam extraídos exclusivamente de pele animal. Destaca-se pelas seguintes providencias:

Art. 1º Fica proibido pôr à venda ou vender, sob o nome de couro, produtos que não sejam obtidos exclusivamente de pele animal.

Art. 2º Os produtos artificiais de imitação terão de ter sua natureza caracterizada para efeito de exposição e venda.

Art. 3º Fica também proibido o emprego da palavra couro, mesmo modificada com prefixos ou sufixos, para denominar produtos não enquadrados no art. 1º.

Art. 4º A infração da presente Lei constitui crime previsto no art. 196 e seus parágrafos do Código Penal (CICB).

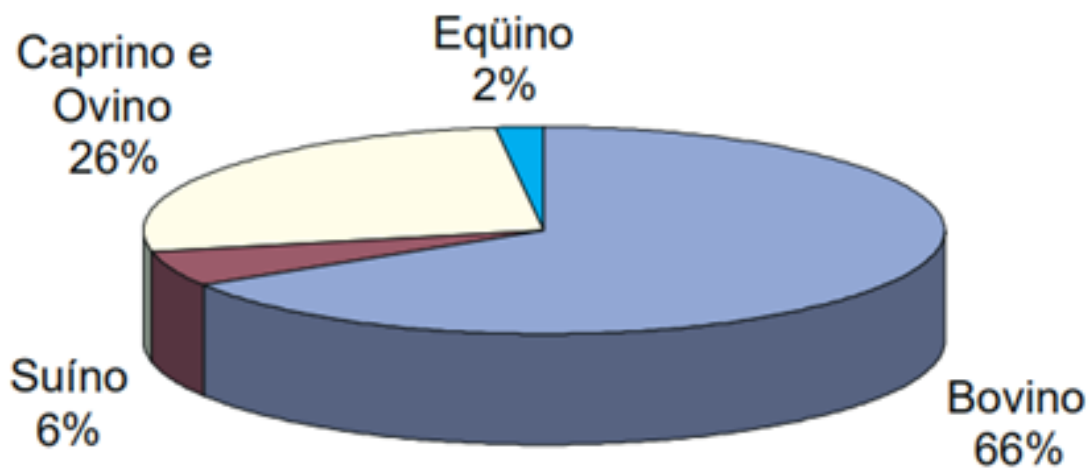
O couro apresenta alta durabilidade e estabilidade em relação à variação da temperatura e umidade dos produtos em que é aplicado. Devido essas vantagens está presente na indústria de calçados, mobiliário, automobilística, tapeçaria, vestuário, entre outros (CHIERIGHINI et al., 2021).

5.2 COURO BOVINO

São encontrados no mercado, couros provenientes de bovinos, caprinos, ovinos, suínos e outras peles com características bem diferentes das peles de mamíferos, as chamadas peles exóticas como as de jacarés, cobras, avestruzes (LEAL, 2015).

Embora possa ser fabricado a partir da pele de animais de várias espécies, conforme a Figura 1, o couro bovino lidera a produção e o comércio por ser o mais abundante do mercado e ao preço mais baixo (SOUZA, 2019).

Figura 1 – Capacidade de produção de couros no Brasil.



Fonte: Santos et al (2002)

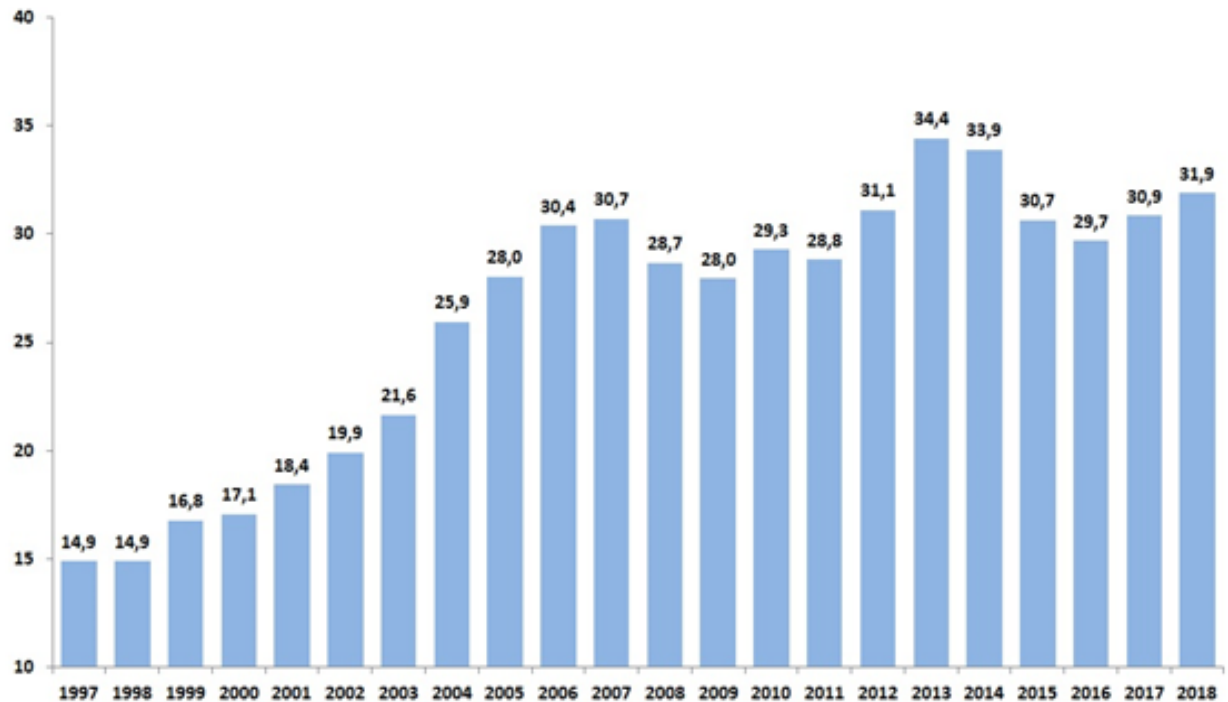
5.3 ABATE DE BOVINOS NO BRASIL

Ressalta-se que a demanda de produção de couro está diretamente ligada ao abate de bovinos. Dessa forma, o couro brasileiro tem destaque quantitativo, uma vez que o país possui o maior rebanho bovino comercial (CICB,2019).

Há 20 anos a imagem que se tinha do mercado brasileiro de carne bovina era bem diferente. Em conformidade com a Figura 2, no ano de 1998 o abate anual mal chegava à metade do de 2018. Não atendia nem a necessidade da própria

população e atualmente, sendo o segundo maior consumidor (38,6Kg/habitante/anual), 80% desse consumo é produzido no país (GOMES et al., 2017).

Figura 2 - Evolução do abate anual de bovinos, desde 1997, em milhões de cabeças.

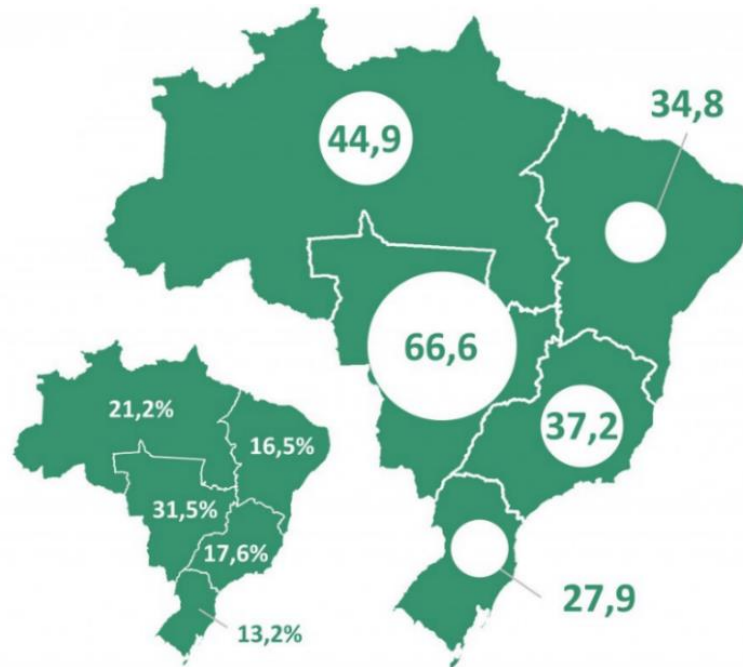


Fonte: Farmnews (2019)

Gomes et al. (2017) discutem que parte importante desse desenvolvimento ocorreu dentro das propriedades pecuárias brasileiras, onde os produtores e donos de propriedades enxergaram a necessidade de produção para suprir o consumo e investiram em tecnologias, especialmente nos eixos de alimentação, genética, manejo e saúde animal.

Quanto à distribuição da pecuária de corte pelo território brasileiro, acordo com a Figura 3, a maior quantidade de bovinos está localizada na região Centro-oeste, seguida da Norte, Sudeste, Nordeste e Sul.

Figura 3 – Rebanho bovino brasileiro de corte por região em milhões de cabeças.



Fonte: Cenário para pecuária de corte amazônica (2013)

5.4 PRODUÇÃO DO COURO

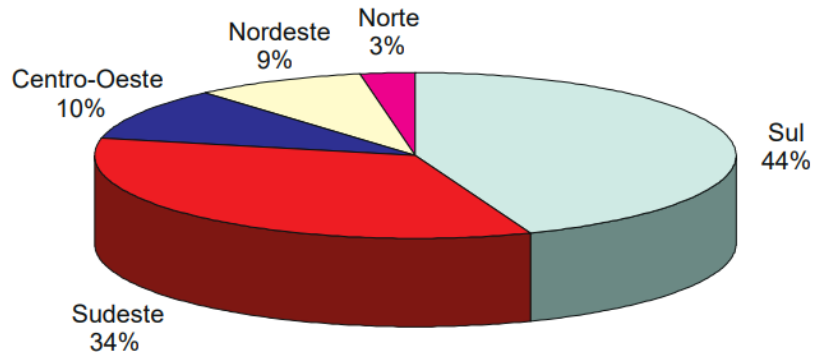
A maior produção brasileira de couro está concentrada nas regiões Sul e Sudeste (Tabela 1) que, juntas, são responsáveis por cerca de 72% da produção total e registram o maior número de curtumes (Figura 4).

Tabela 1 - Produção de Couro por Região em 2000

REGIÃO	Nº COUROS	PART. (%)
Sul	12.385.750	38
Sudeste	11.027.250	33
Centro-Oeste	4.920.500	15
Nordeste	3.562.000	11
Norte	604.500	2
Total	32.500.000	100

Fonte: Santos et al (2002)

Figura 4 - Distribuição de Estabelecimentos Curtidores por Região



Fonte: Santos et al (2002)

Nos últimos anos a região Centro-Oeste apresentou grande desenvolvimento na produção de bovinos de corte (crescimento de 95% do rebanho, enquanto o Sudeste e o Sul registraram queda de 38% e 23%, respectivamente) devido incentivos fiscais, mão-de-obra mais barata e exigências menores de controle ambiental. Esse cenário tem modificado a instalação de frigoríficos, local do abate e da produção de couro, em função dos custos de transporte (PACHECO, 2015; SANTOS et al., 2002).

5.5 PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DA PELE EM COURO

5.5.1 Abate e esfolagem

Essa primeira etapa, normalmente ocorre nos matadouros ou nos frigoríficos e consiste na matança e retirada da pele do animal. Nesse período, a pele recém tirada apresenta cerca de 60% de água e é denominada pele fresca, crua, “in-natura” ou como na maioria das vezes pele verde (MOREIRA E TEIXEIRA, 2003).

Após a esfolagem, ainda conforme Moreira e Teixeira (2003), algumas medidas são indispensáveis para evitar ação de decompositores e garantir a qualidade do

produto. A remoção de impurezas como a sangue e fezes e a utilização de bactericidas reduz os ataques e facilita o passo seguinte de conservação.

5.5.2 Conservação

A conservação tem como finalidade à preservação da pele caso tenha a necessidade de transportá-la ou estocá-las em altas temperaturas por um intervalo de tempo superior a 3 horas desde o abate até o início do processo de curtimento. O sistema mais empregado retardar a decomposição, é a salga (SOUZA, 2019).

Em geral, esta conservação é realizada empilhando-se as peles, intercalando-se camadas elevadas de sal entre ela, devendo ser no mínimo de 20 a 40% sobre sua massa (Figura 5). O cloreto de sódio tem o intuito de causa efeito de desidratação nas peles de modo a interromper seu processo de decomposição (MOREIRA E TEIXEIRA, 2003).

Figura 5 – Pilha de couro salgado.



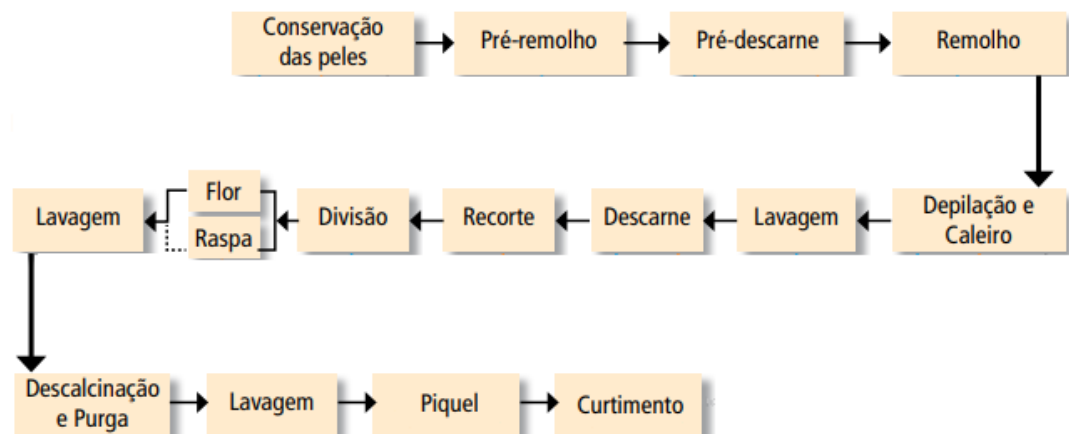
Fonte: MFRural

Conforme Souza (2019), as peles agora denominadas de “salgadas”, apesar de apresentam uma boa resistência as ações microbianas, implicam diretamente no processo produtivo pois antes de tudo, deveram ser reidratadas.

5.5.3 Ribeira

A etapa ribeira, baseado na Figura 6, tem como finalidade a limpeza e remoção de substâncias não desejadas no produto final e preparar a pele para reagir adequadamente com os produtos químicos das etapas seguintes, o curtimento e o acabamento (CETESB, 2015).

Figura 6 – Fluxograma esquemático da fabricação de couros – operações de ribeira.



Fonte: adaptado de CETESB (2015)

As etapas das operações de ribeira de forma resumida são:

- **Pré-remolho:** Remoção do sal utilizando-se água, com o intuito de repor parte da hidratação da pele (LACOURO).
- **Pré-descarne:** Elimina de forma mecânica os resíduos aderido na pele: gordura, carnes e fibras (SOUZA, 2019).
- **Remolho:** Repõem o teor de hidratação original da pele, utilizando além de água, produtos químicos (SOUZA, 2019).

- **Depilação e caleiro:** Retirada dos pelos, da camada epiderme (camada superior que protege a pele) e abertura da estrutura fibrosa com ação química de alcalis (MOREIRA E TEIXEIRA, 2003; MARINHO, 1993).
- **Descarne:** Operação mecânica para a remoção da camada interna da pele (hipoderme) e todas as impurezas presentes nela (SOUZA, 2019).
- **Recorte:** Ajuste de alinhamento nas extremidades (SOUZA, 2019).
- **Divisão:** Separação da pele em duas camadas. A camada superior denominada flor, e camada inferior, denominada raspa. Essa etapa pode ser executada até depois da pele curtida (MARINHO, 1993).
- **Descalcinação:** Utilização de produtos químicos para remover a cal e alcalinidade do interior da pele resultantes do caleiro (MARINHO, 1993).
- **Purga:** Limpeza profunda da estrutura fibrosa da pele com enzimas que degradam substâncias ainda presente (LACOURO).
- **Níquel:** Tem como objetivo deixar as fibras da pele com a acidez necessária para receber os agentes curtentes (MARINHO, 1993).

5.5.4 Curtimento

Segundo Souza (2019), no processo de curtimento as peles pré-tratadas na ribeira reagem com os materiais curtentes tornando-as imputrescíveis e possibilitando sua longa duração. Pode ser classificado em mineral, vegetal e sintético, sendo o sulfato básico de cromo (mineral) utilizado em aproximadamente 90% do couro produzido. Este procedimento apresenta destaque devido ao bom alcance de qualidade dos couros e o tempo menor de curtimento (SOUZA, 2019).

Ainda de acordo com Souza (2019), nessa etapa é necessário realizar uma operação mecânica de rebaixar o couro com a finalidade de uniformizar sua espessura (Figura 7). Completada essas ações o couro revela uma coloração azulada, dando origem ao nome *wet-blue*, conforme a Figura 8.

Figura 7 – Máquina rebaixadeira.



Fonte: FEAM (2019)

Figura 8 – Couro Wet-blue.

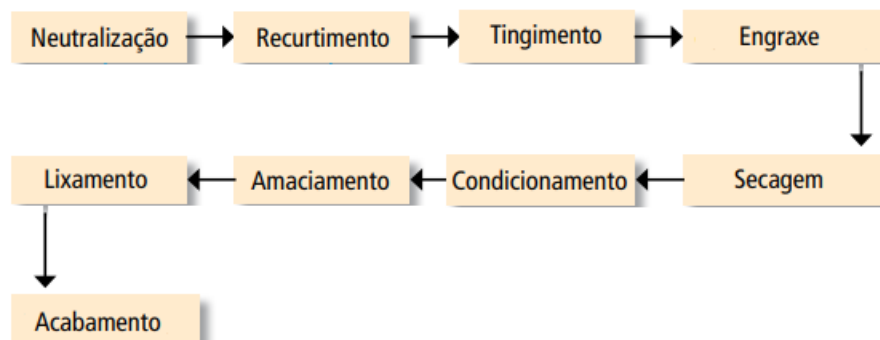


Fonte: Curtume Cacique

5.5.5 Acabamento

O acabamento tem como objetivo melhorar o aspecto e conceder ao couro as características finais desejadas (toque, flexibilidade, macies, resistência, impermeabilidade, elasticidade e cor) seguindo uma série de etapas, conforme a Figura 9 (SOUZA, 2019).

Figura 9 – Fluxograma esquemático da fabricação de couros – operações de acabamento.



Fonte: adaptado de CETESB (2015)

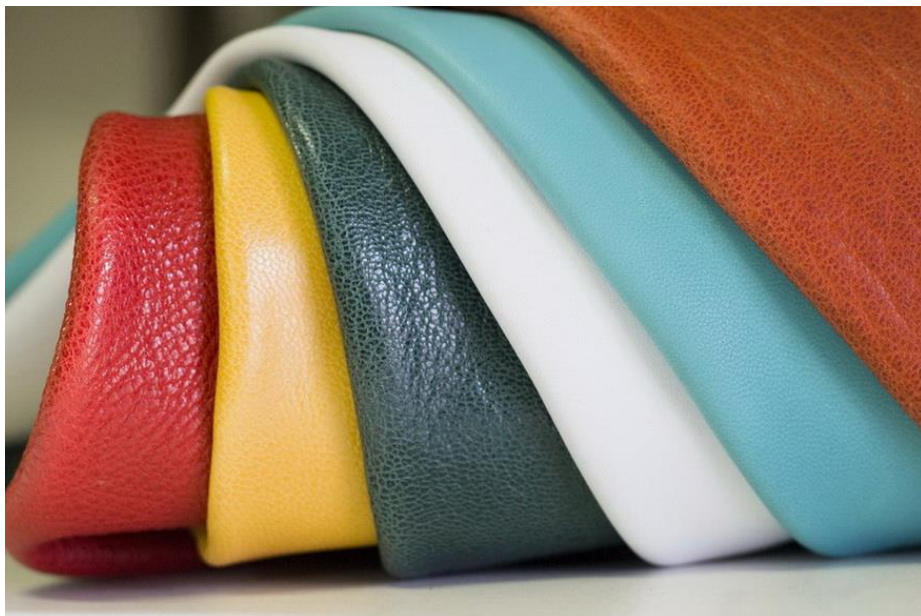
As etapas realizadas no acabamento são:

- **Neutralização:** Ajuste de pH do couro curtido ao cromo, eliminando os ácidos livres. Essa etapa define as características finais, no que se refere a toque, flexibilidade, distensão e rasgamento (MARINHO, 1993).
- **Recurtimento, tingimento e engraxe:** São esses tratamentos que definem as características físico-química (macies, resistência, impermeabilidade e elasticidade) e a cor do couro. Podem ser feitas em sequência ou simultaneamente (LACOURO).
- **Secagem:** Visa remover a água contida no couro em até 14% (MARINHO, 1993).
- **Condicionamento:** Garante um reumidificação do couro visando atingir a quantidade adequada (entre 28% e 32%), de forma que a peça possa receber trabalhos

mecânicos sem afetar seu sistema fibroso (MOREIRA E TEIXEIRA, 2003; MARINHO, 1993).

- **Amaciamento:** As peças de couro são colocadas em máquina de movimento vibratórios que exercem o deslizamento das fibras, de modo a permitir que estas percam seu estado de aglutinação. (MOREIRA E TEIXEIRA, 2003; LACOURO)
- **Lixamento e eliminação do pó:** Busca aperfeiçoar a superfície do couro, eliminando alguns defeitos e melhorando a aparência do material. Após o lixamento deverá ser feita a eliminação do pó utilizando máquinas de sucção (MOREIRA E TEIXEIRA, 2003).
- **Acabamento:** Aplicações de tinta de fundo e cobertura com a finalidade de melhorar ainda mais o aspecto do couro (Figura 10) concedendo embelezamento, resistência, durabilidade e proteção (MOREIRA E TEIXEIRA, 2003; LACOURO)

Figura 10 – Couro acabado.



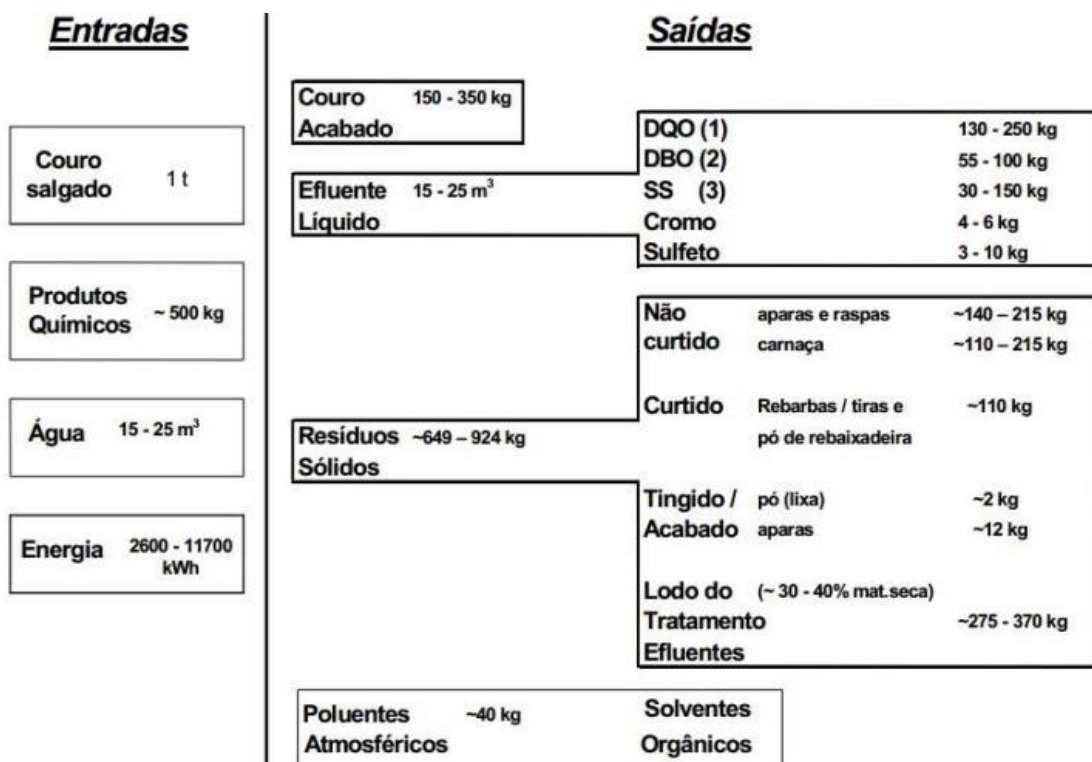
Fonte: Cobrasil

5.6 RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE COURO

E acordo com a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), apesar dos impactos positivos do setor na economia, a indústria coureira tem como contraponto as questões ambientais relativas à atividade desenvolvida, sendo o mais considerável, a geração de resíduos sólidos tanto pela quantidade produzida como pela complexidade exigida para seu correto gerenciamento.

A Figura 11 a seguir, mostra que o processamento convencional de 1 t ou 1.000 kg de peles salgadas gera somente 150 a 350 kg de couros acabados, o que dá um rendimento médio do processo de 25%. Por outro lado, além de outras emissões, o processo gera cerca de 800 kg de resíduos sólidos.

Figura 11 – Fluxos básicos principais de um curtume



(1) DQO - demanda química de oxigênio e

(2) DBO - demanda bioquímica de oxigênio: medem a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação ou degradação química e bioquímica, respectivamente, de materiais oxidáveis presentes nos efluentes e, portanto, o potencial de desoxigenação de corpos d'água onde forem lançados.

(3) SS - Sólidos suspensos ou em suspensão.

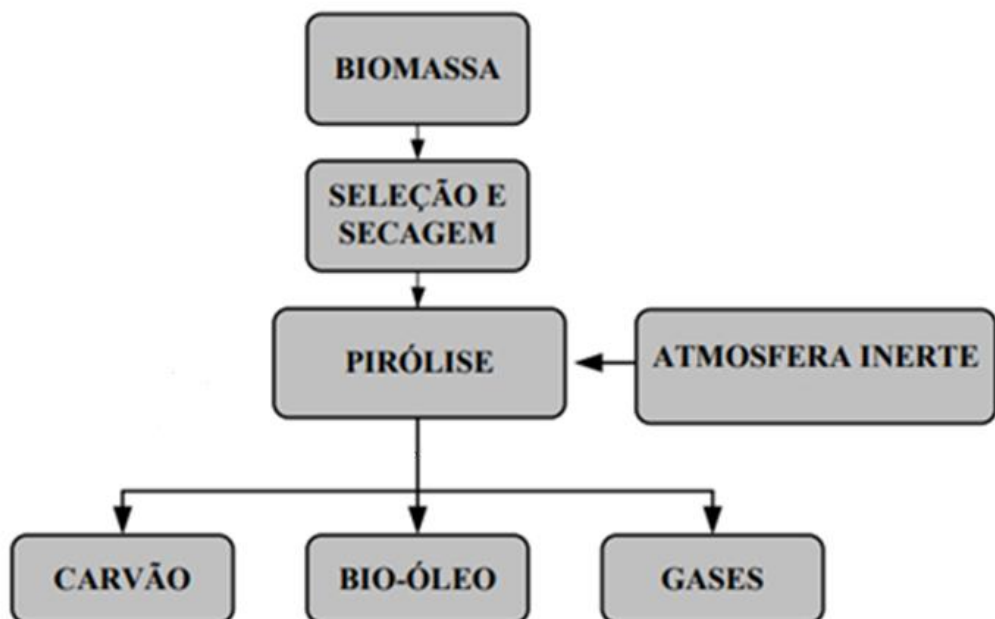
Fonte: Silva (2019)

Dos resíduos sólidos produzido, conforme classificação adotada na ABNT/NBR 10.004/2004 e Resolução CONAMA, podem ser Classe I (resíduos perigosos) e Classe II (resíduos não perigosos). Os considerados perigosos são os que passam pela reação de curtimento com cromo: as serragens de couro, as serragens, os pós e lodos provenientes do tratamento de efluentes líquidos, que podem trazer riscos ao meio ambiente e saúde humana quando não gerenciado de forma adequada (SILVA, 2019; FEAM).

5.7 PIRÓLISE

A pirólise é uma das alternativas mais eficientes tanto para reduzir o potencial poluidor do material, quanto para aproveitamento energético do resíduo. De acordo com a Figura 12, consiste em degradar as moléculas constituintes de um material (biomassa) em moléculas menores através ações de temperatura elevada e ausência de ar ou oxigênio, produzindo três diferentes produtos: carvão, bio-óleo e gases (CANÔAS, 2018).

Figura 12 – Esquema do processo de pirólise.



Fonte: Adaptado de Ferreira (2020)

- **Carvão** - Parte sólida obtida, usado principalmente como combustível e no tratamento do solo melhorar a capacidade de retenção de água e renovando os teores carbono, nitrogênio e outros nutrientes que foram perdidos. Posteriormente poder ser desenvolvido e aprimorado pelo processo de ativação (SCHENA, 2019; SANTOS, 2022).
- **Bio-óleo** – Produto líquido cuja composição depende da biomassa utilizada. Em geral, tem demonstrado eficiência para utilização em caldeiras, além da possibilidade de extração de vários produtos químicos (SANTOS, 2022).
- **Gás** – A porção gasosa gerada exibe grande oportunidade de aproveitamento devido ao seu alto valor energético, podendo ser utilizado até mesmo como combustível no próprio processo de pirólise. (CANÔAS, 2018)

Conforme a Tabela 2, os principais fatores que podem influenciar no rendimento de cada material obtido são a temperatura final e o tempo de residência.

Temperaturas finais moderadas com tempos de residência curtos favorecem a produção de líquidos. Temperaturas finais baixas e tempos de residência longos favorecem a produção de sólidos. Temperaturas finais altas com tempos de residência intermédios favorecem a produção de gases. (REIS, 2014, p.7)

Tabela 2 – Rendimentos obtidos por diferentes modos de pirólise (base madeira seca).

Modo	Condições	Líquido	Sólido	Gás
Rápido	-500 °C, tempo de residência curto do vapor quente -1 s	75%	12% carvão	13%
Intermédio	-500 °C, tempo de residência do vapor quente -10-30 s	50% em 2 fases	25% carvão	25%
Carbonização (lento)	-400 °C, tempo de residência longo do vapor quente horas → dias	30%	35% carvão	35%
Gasificação	-750-900 °C	5%	10% carvão	85%
Torrefação (lento)	-290 °C, tempo de residência de sólidos -10-60 min	0% a menos condensada, em seguida, até 5%	80% sólido	20%

Fonte: Reis (2014)

5.8 CARVÃO ATIVADO

O carvão produzido através da pirólise pode ser transformado em carvão ativado por meio de reações secundárias. A ativação consiste na retirada de resíduos orgânicos que estejam obstruindo os poros, resultando em uma forma de carvão mais poroso e, por isso, com maior área superficial (SCHENA, 2019).

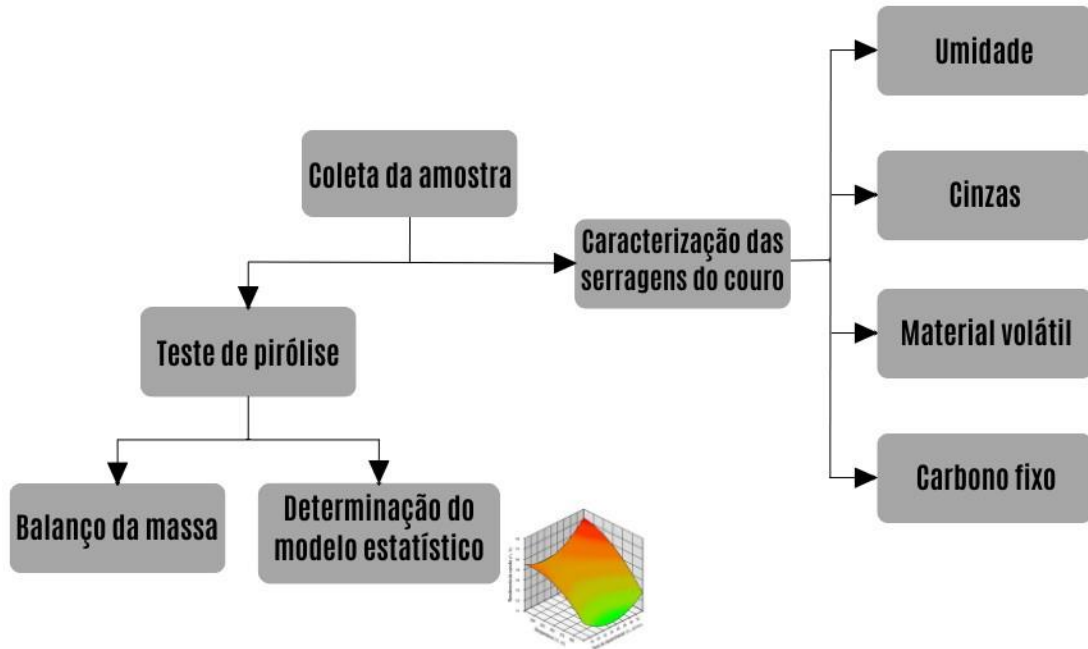
O processo de ativação pode ser por dois tipos, a denominada ativação química onde é colocado junto ao material um agente químico ativador (ácidos ou hidróxidos, a exemplo) o qual tem capacidades desidratantes, ou usando-se vapor d'água e/ou CO₂, denominada ativação física, onde as moléculas de água ou gás carbônico, têm acesso facilitado aos microporos, aumentando o volume dos mesmos (SANTOS, 2022).

O carvão ativado apresenta grande potencial para uso como material adsorvente, sendo útil no tratamento de águas residenciais e industriais, na adsorção de poluentes atmosféricos, compostos orgânicos e metais pesados (SCHENA, 2019).

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A Figura 13 apresenta o desenho esquemático com todas as atividades desenvolvidas durante esta pesquisa. O material (Figura 14) utilizado resulta do rebaixamento de couro wet-blue, também chamado de “serragem de couro” e foi fornecido pelo departamento de Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto, estado de São Paulo. Todos os ensaios dessa pesquisa foram realizados no laboratório de análises de águas do Instituto Federal do Tocantins, *Campus Palmas*.

Figura 13 - Desenho esquemático das atividades desenvolvidas.



Fonte: Autora (2023)

Figura 14- Serragens de couro.



Fonte: Autora (2023)

6.1 CARACTERIZAÇÃO DAS SERRAGENS DE COURO.

Os procedimentos citados nesse capítulo, determinaram o teor de umidade, o teor de cinzas, o teor de material volátil e o teor de carbono fixo, e foram realizados com a amostra *in natura*.

6.1.1 Teor de Umidade

Encontrada de acordo com a norma ASTM D 3173-87, o intuito da análise foi determinar a quantidade de massa perdida após submeter-se a uma temperatura controlada.

Para início do ensaio, foram adicionado cerca de 3 gramas do material a um cadinho de porcelana, de antemão seco e com peso constante pré-determinado. Em seguida a amostra passou para uma estufa (Figura 15) aquecida a uma temperatura de 110 °C por um período de 1 hora. Posteriormente, transferiu-se o cadinho para um dessecador (Figura 16) por 15 minutos, logo em seguida obteve-se o peso utilizando a balança da Figura 17. Este procedimento foi realizado em triplicata, portanto encontrou-se o teor de umidade final pela média aritmética simples entre os resultados. O teor de umidade foi determinado segundo a Equação 1, descrita a seguir

$$\% \textit{umidade} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

A = massa inicial da amostra, em gramas;

B = massa da amostra após o aquecimento, em gramas.

Figura 15 – Estufa utilizada para o ensaio Teor de Umidade.



Fonte: Autora (2023)

Figura 16 – Dessecador.



Fonte: Autora (2023)

Figura 17- Balança.



Fonte: Autora (2023).

6.1.2 Teor de Cinzas

A cinza, segundo Cecchi (2003) trata de o resultado da matéria orgânica estar submetida à altas temperaturas, gerando assim um composto inorgânico, podendo gerar: CO₂, H₂O e NO₂.

O teor de cinzas foi dado, seguindo a metodologia sugerida por Cecchi (2003), onde inicialmente pesou-se um cadinho incinerado e com massa pré-determinada, em seguida foi adicionado aproximadamente 3 gramas de material. Seguidamente, o conjunto foi colocado dentro da mufla (Figura 18), ao qual aumentou-se a temperatura progressivamente até chegar a 710°C, e deixando a amostra por um período de 1 hora. Feito isso, retirou-se o cadinho com a amostra e encaminhou para um dessecador para que esfriasse por 50 minutos e assim que chegou à temperatura ambiente foi possível pesá-lo. Assim como os demais, o ensaio também foi realizado em triplicata, onde a porcentagem de cinzas foi obtida de acordo com a Equação 2, descrita abaixo:

$$\% \text{ cinzas} = \frac{A-B}{C} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

A = massa do conjunto após a queima, em gramas;

B = massa do cadinho vazio, em gramas;

C = massa da amostra utilizada antes da queima, em gramas (aproximadamente 3g).

Figura 18- Mufla (Fornos Magnu's).



Fonte: Autora (2023).

6.1.3 Teor de Material Volátil

A metodologia seguida para a determinação do teor de material volátil das serragens do couro, foi mediante a proposição dada por Sanchez et al. (2009), ao qual utilizou-se um cadinho com peso pré-determinado, contendo aproximadamente 3 gramas do material analisado. Feito isso, a amostra foi aquecida em mufla com uma temperatura de 850 °C por um tempo de 7 minutos, sem presença de oxigênio, logo todo o conjunto esteve totalmente fechado. Após o procedimento, a amostra teve de ser resfriada à temperatura ambiente por 50 minutos, para obtenção da massa final. O ensaio também foi realizado em triplicata e a porcentagem de material volátil foi determinada por meio da Equação 3 descrita a seguir:

$$\% \text{ material volátil} = \frac{A-B}{C} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

A = massa inicial do conjunto, em gramas;

B = massa final do conjunto, em gramas;

C = massa da amostra inicial, em gramas.

6.1.4 Teor de Carbono Fixo

Concluído todos os ensaios ditos acima, iniciou-se a análise da quantidade de carbono fixo contido na amostra, pois segundo Mckendry (2002) o carbono fixo representa todo o material restante após liberar os compostos voláteis. Para estipular o valor do carbono fixo, o cálculo utilizado foi o da Equação 4:

$$\% CF = 100 - (\% \text{ umidade} + \% \text{ cinzas} + \% \text{ material volátil}) \quad (\text{Equação 4})$$

6.2 TESTE DE PIRÓLISE

O ensaio pirolítico foi realizado em um reator de leito fixo (Figura 19) de aço inox de 100 cm de comprimento e diâmetro externo de 10 cm. O reator foi aquecido por forno bipartido reclinável (marca FLYEVER, modelo FE50RPN e linha 05/50), sendo operado em regime de batelada. O gás de arraste empregado na reação foi o vapor de água aquecido a 130 °C em autoclave (Figura 20). A temperatura do ensaio foi de 550°C e a taxa de aquecimento de 30°C por minuto. O experimento teve uma duração de 45 minutos.

Figura 19 - Reator empregado no ensaio da Pirólise.



Fonte: Autora (2023).

Figura 20- Autoclave utilizada no ensaio da Pirólise.



Fonte: Autora (2023).

6.2.1 Balanço da massa

Mediante Himmelblau (2011), o balanço material retrata o desenvolvimento da lei de conservação das massas, onde se designa que a massa não pode se nem

criada nem destruída. Sendo assim, o balanço de massa foi dado de acordo com a massa que entrou e que saiu do reator, observando as diferentes maneiras de saída do material. Portanto, a equação utilizada para determinação desse balanço, pode ser expressa pela Equação 5:

$$M = M1 - M2 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

M = massa de carvão, em gramas;

M1 = massa final, em gramas;

M2 = massa do recipiente tarado, em gramas.

Em seguida, foi verificado através de planejamento multivariável o efeito de dois fatores no sistema de pirólise das serragens de couro: a temperatura e a taxa de aquecimento. Dessa forma, foi aplicado um planejamento experimental – Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), com 3 experimentos no ponto central e 8 tipos de combinações entre os fatores. Os valores mínimos e máximos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Níveis dos Fatores empregados no Planejamento Experimental, durante a Pirólise das serragens de couro.

Fatores	Níveis				
	(-1,4)	(-1)	(0)	(+1)	(+1,4)
Temperatura final do processo (°C)	479,29	500	550	600	620,71
Taxa de aquecimento (°C/min)	17,93	20	25	30	32,07

Fonte: Autora (2023).

Os experimentos foram realizados de forma aleatória, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Ordem dos experimentos empregados no planejamento fatorial DCCR 2.

Ordem dos Experimentos	Fatores	
	Temperatura (°C)	Taxa de aquecimento (°C/min)
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+
5	-1,41	0
6	1,41	0
7	0	-1,41
8	0	1,41
9	0	0
10	0	0
11	0	0

Fonte: Autora (2023)

7 RESULTADOS

7.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA

Os teores de umidade, cinzas, material volátil, carbono fixo das amostras das serragens de couro estão apresentados na Tabela 5.

Para a análise do teor de umidade, encontrou-se para as amostras das serragens de couro um teor de umidade de 19,8%. Riehl e Deitos (2014) e Vieira, (2004) apresentaram teores de umidade nas serragens de couro de 11,61% e 14,13% respectivamente. Segundo Cortez, Lora e Gómez (2008), o que determina o processo utilizado de conversão energética dos resíduos é seu teor de umidade, pois, em termos práticos, só é possível queimar resíduos com até 50% de umidade.

O resultado obtido para a determinação do teor de cinzas das serragens foi de 4,61%, o que significa que apresentaram uma redução em massa de cerca de 95%.

Alguns autores chegaram a valores de teor de cinza de 5,8% (RIEHL E DEITOS, 2006) e de 6,16% (GODINHO, 2006). Conforme Dettmer (2008), o teor de substâncias minerais que estão nas serragens é identificado através do teor de cinzas.

O valor encontrado para material volátil foi de 73,3%, valor alto e considerado favorável para combustão. De acordo com Vieira et al., (2013), biomassas com alto teor de voláteis possui maior facilidade de queima. O resultado de materiais voláteis encontrado é próximo ao determinado por outros pesquisadores. Quanto ao carbono fixo, este está relacionado a cinzas e material volátil, ele representa a massa restante após a eliminação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de umidade.

Tabela 5: Resultados da análise imediata da serragem de couro.

Variável Analítica	Serragem de couro dessa pesquisa	Outros autores	
Umidade (%)	19,8	11,61 (Riehl e Deitos, 2014)	14,13 (Vieira 2004)
Cinzas (%)	4,61	6,23 (Riehl e Deitos, 2014)	5,8 (Godinho,2006)
Material Volátil (%)	73,34	76,84 (Vieira, 2004)	77,3 (Godinho, 2006)
Carbono Fixo (%)	2,25	16,92 (Vieira, 2004)	16,9 (Godinho, 2006)

Fonte: Autora (2023).

7.2 TESTE DE PIRÓLISE

Os resultados dos experimentos realizados no DCCR são os descritos na Tabela 6, sendo a partir dos dois fatores investigados, temperatura do reator e a taxa de aquecimento, obtém-se o percentual de rendimento no qual se visualiza o melhor comportamento da biomassa conforme os dois fatores empregados.

Tabela 6: Resultados do planejamento DCCR 2 obtidos da pirólise das serragens de couro em reator de leito fixo.

Ordem dos Experimentos	Fatores		Rendimento do Carvão (%)
	Temperatura (°C)	Tempo de reação (C°/min)	
1	- (500)	-	14,55
2	+ (600)	-	12,20
3	- (500)	+	15,60
4	+ (600)	+	12,70
5	-1,41 (479,29)	0	15,23
6	1,41 (620,71)	0	12
7	0 (550)	-1,41	15,10
8	0 (550)	1,41	15,41
9	0 (550)	0	14,20
10	- (500)	0	14,10
11	+ (600)	0	14

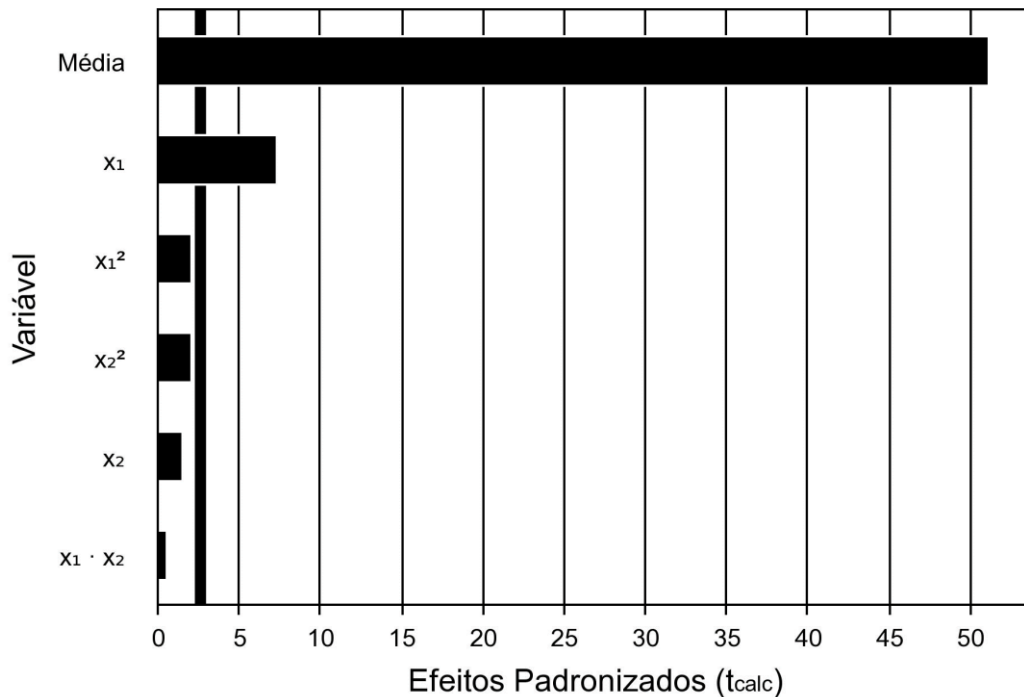
Fonte: Autora, 2023.

Da tabela se observa que o melhor rendimento obtido a partir da pirólise das serragens de couro foi no ensaio 3, com 15,60% de rendimento a uma temperatura de 500°C e taxa de aquecimento de 30°C/min, o menor rendimento foi no ensaio 6 com temperatura de 620,71°C e taxa de aquecimento de 25°C/min, obtendo-se rendimento de 12% de carvão.

O diagrama de Pareto apresentado na Figura 21 foi gerado a partir dos dados obtidos no DCCR 2 indicando que a temperatura (X1) possui um efeito negativo (-7,28) para o rendimento da biomassa, mostrando que com o aumento da temperatura ocorre a redução do rendimento da biomassa, sendo observado, por exemplo, quando a temperatura passa de 479,29°C para 620,71° ocorre redução de aproximadamente 3,23% no rendimento da biomassa.

Já a taxa de aquecimento (X2), possui efeito positivo (1,47) sobre a amostra, porém não apresenta significância na produção de carvão ativado.

Figura 21: Diagrama de Pareto para a obtenção de carvão a partir da biomassa de couro.



Fonte: Autora, 2023.

Segundo Pedroza (2011, *apud* RODRIGUES, 2019), a redução do rendimento da biomassa de couro pelo aumento da temperatura ocorre em razão da liberação de materiais voláteis durante o aquecimento do combustível sólido, conhecido como desvolatização.

Os efeitos das variáveis analisadas com a obtenção do carvão de biomassa de couro estão demonstrados na Tabela 7:

Tabela 7: Coeficientes de regressão do Planejamento DCCR 2 obtidos da produção de carvão das serragens de couro em sistema de pirólise com intervalo de confiança de 95%.

Fatores	Coeficiente de regressão	Erro Padrão	t Calculado	p-valor
Média	14,10	0,28	51,21	0,0000
Temperatura (X ₁)	-1,23	0,17	-7,28	0,0008
Temperatura ² (X ₁ ²)	-0,41	0,20	-2,05	0,0961

Taxa (X ₂)	0,25	0,17	1,47	0,2004
Taxa ² (X ₂ ²)	0,41	0,20	2,04	0,0969
Temp.-Taxa (X ₁ - X ₂)	-0,14	0,24	-0,58	0,5892

Fonte: Autora, 2023.

Com os coeficientes de regressão, obtidos por meio da matriz codificada, foi permitido traçar o modelo ajustado que descreve a obtenção de carvão durante a pirólise das serragens de couro empiricamente. Os efeitos da média (14,10) e temperatura (-1,23) foram significativos a um nível de confiança de 95%, conforme demonstrado na Tabela 7. Os demais efeitos não foram considerados significativos mesmo assim se faz necessário mantê-los na Equação 6 para preservação da hierarquia matemática (BARROS NETO, SCARMINIO e BRUNS, 2007 apud RODRIGUES, 2019).

$$\text{Rendimento do carvão}(\%) = 4,10 - 1,23x_1 - 0,41x_1^2 + 0,25x_2 + 0,41x_2^2 - 0,14 x_1x_2 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

X₁ = Temperatura;

X₂ = Taxa de Aquecimento.

A Tabela 8 apresenta a análise de variância (ANOVA) para a produção de carvão na pirólise das serragens de couro.

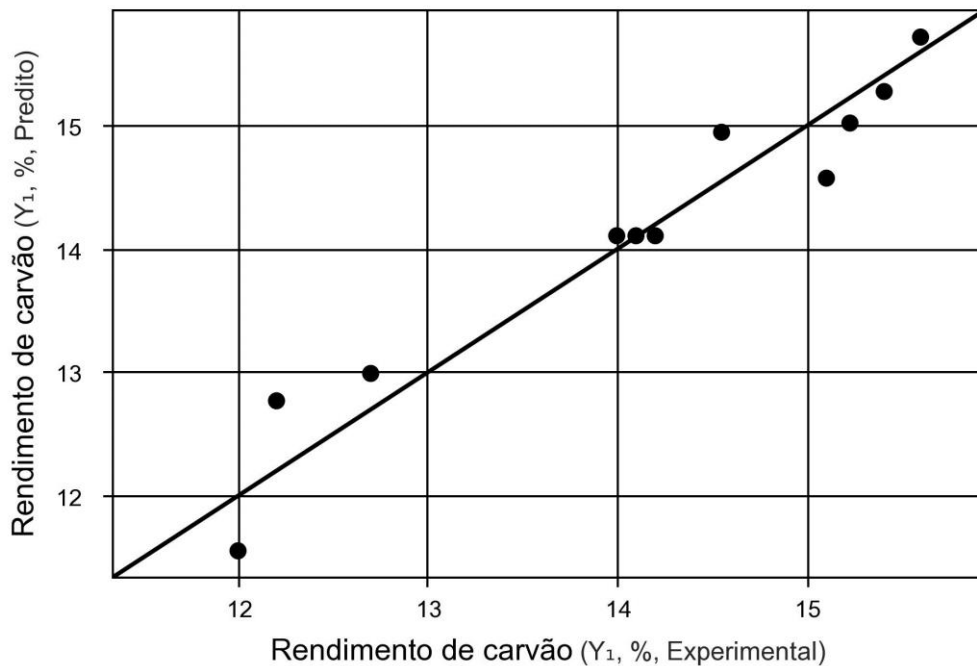
Tabela 8: ANOVA para a produção de carvão em processo de pirólise das serragens de couro em reator de leito fixo.

Fonte de Variação	Soma Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calculado}	p-valor
Regressão	15,3	5	3,1	13,5	0,00633
Resíduos	1,1	5	0,2		
Falta de Ajuste	1,1	3	0,4	37,2	0,02624
Erro Puro	0,0	2	0,0		
Total	16,4	10			

Fonte: Autora, 2023.

O coeficiente R^2 atingido pela regressão foi de 0,9309, mostrando-se como modelo ideal, principalmente por se observar o acúmulo de dados próximos à reta como se observa na Figura 22, ou seja, conforme Rodrigues (2019), essa proximidade demonstra que a previsão a partir do planejamento experimental está de acordo com os valores observados após a pirólise.

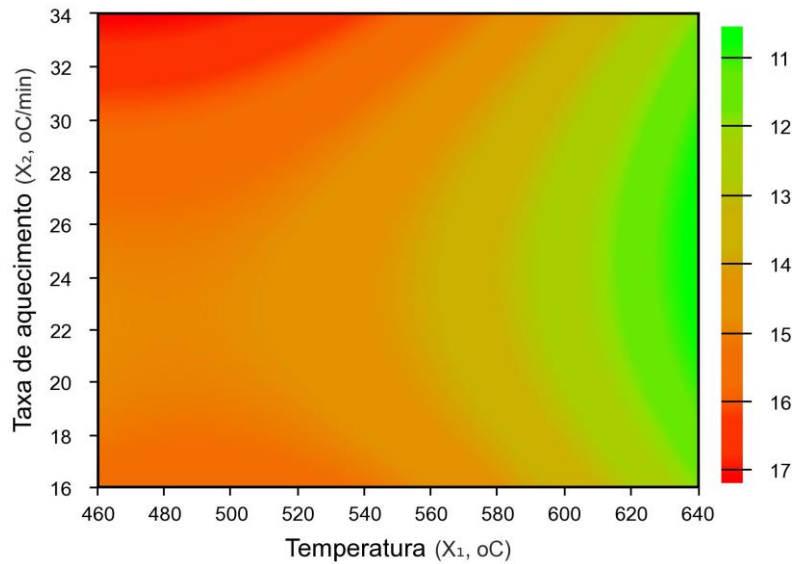
Figura 22: Rendimento do Carvão (experimental) x Rendimento do Carvão (predito)



Fonte: Autora, 2023.

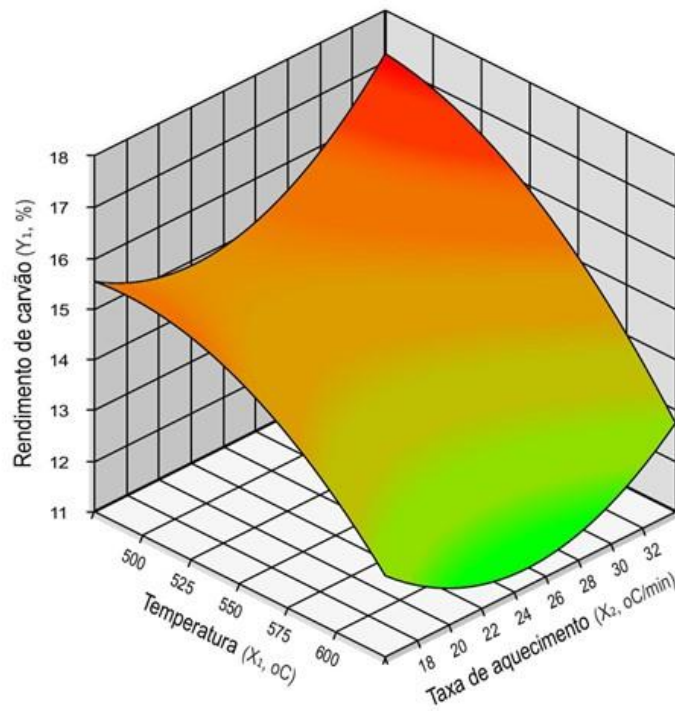
Conforme observado na superfície representada pelo modelo na Figura: observa-se que máxima quantidade de carvão pode ser conseguida em condições de baixa temperatura. As regiões em vermelho indicam as condições em que a produção de carvão seria maior. A partir da Figura 23 e Figura 24 observa-se que a produção de carvão está otimizada entre 460°C e 520°C com uma Taxa de Aquecimento entre 30°C e 34°C/min.

Figura 23: Superfície para obtenção de carvão das serragens de couro a partir das variáveis Temperatura e Taxa de aquecimento.



Fonte: Autora, 2023.

Figura 24: Mesma superfície em três dimensões



Fonte: Autora, 2023.

8 CONCLUSÃO

Visando um reaproveitamento dos resíduos da indústria de couro antes de sua disposição final e levando em consideração o baixo teor de umidade e baixos teores de carbono fixo, conclui-se que este resíduo é uma boa fonte de reciclagem para processos de cogeração, como a pirólise.

Já no processo de pirólise o maior rendimento de carvão ativado foi de 15,6% em temperatura de 500° C e taxa de aquecimento de 30° C/min. Observando que com o aumento da temperatura ocorre a diminuição do rendimento de carvão. O efeito da taxa de aquecimento na produção de carvão também foi observado, porém não significativo quanto a temperatura, no entanto, o recomendado é a manutenção da taxa de aquecimento nos padrões verificados para se evitar que o rendimento seja alterado.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, 1991. **Annual Book of ASTM Standards**. Sec 05.05. Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. ASTM, D 3173-87, Philadelphia, PA, p.324- 325.

CANÔAS, Edson Antônio. **Pirólise dos resíduos sólidos de couro do tipo Wet-Blue em reator de leito fixo em escala de bancada**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP. Ribeirão Preto, 2018.

CECCHI, H. M. Fundamentos teóricos e práticos em análise dos alimentos. In: CECCHI, H. M. **Cinza e conteúdo mineral**. 2.ed. Campinas: UNICAMP, 2003. p 49-59.

Cenário para pecuária de corte amazônica. **Indicadores históricos**. Disponível em: <https://csr.ufmg.br/pecuaria/portfolio-item/indicadores-historicos-2/>. Acesso em: 23 abril 2023.

CETESB – Companhia Ambiental Do Estado de São Paulo. **Guia técnico ambiental de curtumes**. 2 ed., São Paulo, 2015.

CHIERIGHINI, D.; GONÇALVES, T.; SCHROEDER J. V.; **Estudos Setores produtivos de Santa Catarina**. Disponível em: <https://inaitec.com.br/archives/4->

Fabricacao-de-Calçados-de-Couro-em-Santa-Catarina.pdf. Acesso em 03 maio 2023.

CICB - Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil. **Lei do couro**. Disponível em: <https://cicb.org.br/lei-do-couro/sobre>. Acesso em: 16 abril 2023.

CICB - Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil. **O COURO E O CURTUME BRASILEIRO**. Disponível em: <https://cicb.org.br/lei-do-couro/sobre>. Acesso em: 16 abril 2023.

CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares. **Biomassa para energia**. Campinas: Editora Unicamp, 2008.

DETTMER, Aline. **Recuperação do cromo das cinzas do tratamento térmico de resíduos da indústria calçadista visando curtimento de peles**. Dissertação de Mestrado. PPGEQ – UFRGS, Porto Alegre, RS, 2008.

Farmnews. **Evolução anual do abate de bovinos no Brasil**. Disponível em: <https://www.farmnews.com.br/gestao/abate-de-bovinos-no-brasil-3/>. Acesso em: 23 abril 2023.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Guia técnico do setor de curtumes**. Belo Horizonte, 2018.

FERREIRA, Márcia de Fátima Pantoja. **Estudo dos constituintes dos produtos de pirólise visando a produção de biocombustível e químicos**. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) - Universidade Federal do Pará, Belém – PA, 2020.

GODINHO, Marcelo. **Gaseificação e combustão combinadas de resíduos sólidos da indústria coureiro – calçadista**. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006

GOMES, R. C.; FEIJÓ, G. L.; CHIARI, I. **Evolução e qualidade da pecuária brasileira**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/21470602/EvolucaoQualidadePecuaria.pdf/64e8985a-5c7c-b83e-ba2d-168ffaa762ad>. Acesso em: 23 abril 2023.

HIMMELBLAU, D. M. Engenharia Química: **Princípios e Cálculos**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

LEAL, Olga Benário Ramos. **Análise Técnica, Econômica e de Tendências da Indústria do Couro Brasileira e da sua Relação com a Indústria Química**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

MOREIRA, Marina Vergílio; TEIXEIRA, Regina Cánovas. **Estado da arte tecnológico em processamento do couro: revisão bibliográfica no âmbito**

internacional. Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas, 2003. 242p. il. (Projeto Desenvolvimento Sustentável da Indústria do Couro em MG e no RS).

NOBREGA, Laura Carolina Oliveira. **O couro de peixe e seus benefícios na indústria têxtil e de confecção**. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

NOGUEIRA, Gabriella Elisa da Silva. **Análise das características de efluente industrial de curtume e das propriedades do lodo de estação de tratamento de efluentes para incorporação em blocos cerâmicos**. Dissertação (Pós-Graduação em Tecnologia e Inovações Ambientais) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2017)

PACHECO, José Wagner Faria. **Curtumes**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 23 abril 2023.

PEREIRA, Izadora Consalter. **Lodo secundário de esgoto sanitário como adsorvente alternativo para remoção de corante vermelho reativo 120 em solução aquosa**. 2018. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

REIS, Carlos Manuel Rodrigues Carneiro. **Simulação de um processo de pirólise rápida de biomassa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2014.

RIEHL Alice; DEITOS Aline. **Caracterização de resíduos de couro e calçados visando a sua reciclagem**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS. Rio Grande do Sul, 2014.

SANTOS, A. M. M. M. et al. **Panorama do setor de couro no Brasil**. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. Acesso em: 23 abril 2023.

SANTOS, Tamires Roberta Damascena dos. **REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE OSSOS SUÍNOS PROVENIENTES DA AGROINDÚSTRIA PARA PRODUÇÃO DE BIO-ÓLEO DE CARVÃO ATIVADO**. Dissertação (Mestrado em Processos Químico e Biotecnológicos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR. Toledo, 2022.

SCHENA, Tiago. **Aproveitamento dos Resíduos de Coco através da Pirólise: Uma Abordagem Analítica e Econômica**. Dissertação (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2019.

SANCHEZ, M. E. et al. Effect of pyrolysis temperature on the composition of the oils obtained from sewage sludge. **Biomass and Bioenergy**, 33, p 933-940, 2009.

SILVA, Fabiana Andresa da. **Caracterização e análise da viabilidade do bloco confeccionado a partir da reciclagem de resíduos couro oriundos da indústria coureiro calçadista de Franca/SP**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

SOUZA, Anderson Luís. **Tratamento de efluentes provenientes da indústria curtidora, empregando acelerador de elétrons**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) – Instituto de pesquisas energéticas e nucleares Autarquia associada a Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

VIEIRA, A. C.; SOUZA, S. N. M.; BARICCATTI, R. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C. **Caracterização da casca de arroz para geração de energia**. Revista Varia Scientia Agrárias, Cascavel. v. 3, n. 1, p. 51-57, 2013

VIEIRA, Máiquel Santos. **Recuperação do cromo contido nas cinzas provenientes da incineração de resíduos sólidos das indústrias coureira e calçadista visando a obtenção de cromato de sódio (VI)**. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS 2004.