



**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**



**LUCAS FERREIRA MATOS**

**CARACTERIZAÇÃO DO ALCATRÃO DE HULHA PURIFICADO POR PROCESSO  
EM ÓLEO DESINFETANTE**

**VOLTA REDONDA  
2020**

**LUCAS FERREIRA MATOS**

**CARACTERIZAÇÃO DO ALCATRÃO DE HULHA PURIFICADO POR PROCESSO  
EM ÓLEO DESINFETANTE**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, na área de concentração de Processamento e caracterização de materiais reciclados, linha de pesquisa de Materiais Compósitos.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Cirlene Fourquet Bandeira

**VOLTA REDONDA  
2020**

### FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

M425c Matos, Lucas Ferreira  
Caracterização do alcatrão de hulha purificado por processo em  
óleo desinfetante. / Lucas Ferreira Matos. - Volta Redonda: UniFOA,  
2020. 85 p.: Il

Orientador (a): Profa. Dra. Cirlene Fourquet Bandeira

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em  
Materiais, 2020

1. Materiais - dissertação. 2. Carboquímica. 3. Destilação de carvão. 4. Siderurgia. 5. Decantação. I. Bandeira, Cirlene Fourquet. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



**LUCAS FERREIRA MATOS**

Caracterização do alcatrão de hulha purificado por processo em óleo desinfetante  
Orientadora: Profa. Dra. Cirlene Fourquet Bandeira

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

“MESTRE EM MATERIAIS”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE

MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Dra. Cirlene Fourquet Bandeira  
Presidente/ UniFOA

Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro  
Examinador Interno/ UniFOA

Prof. Dr. André Marques dos Santos  
Examinador Externo/ UFRRJ

Outubro de 2020

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha mãe Mara Eliane Ferreira, por sempre acreditar em mim, apesar de todas as dificuldades, agradeço por todos os momentos, todo apoio, cuidado e carinho. A todos aqueles que me apoiaram desde o início dessa trajetória. Aos que ajudaram no meu crescimento e meu conhecimento e aprendizado, em especial a minha orientadora e amiga Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cirlene Fourquet Bandeira.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde e força para que pudesse persistir até aqui, por iluminar meu caminho e me guiar nas escolhas, que apesar de todas as dificuldades, sempre me proporciona novas oportunidades.

À minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Cirlene Fourquet Bandeira, por ter me orientado e batalhado comigo nesta caminhada, pelo respeito, receptividade, dedicação e companheirismo.

À minha família, em especial a minha mãe Mara Eliane Ferreira, a quem sou eternamente grato, pois sem seu amor, eu não seria absolutamente nada.

À minha companheira dessa jornada, Francine Pamponet, também mestranda, nos conhecemos durante a realização deste curso e desde então, sempre estive ao meu lado, me ajudando com os estudos, participando das minhas preocupações, desesperos e aturando meu mal humor. Obrigado por se tornar essa pessoa especial em minha vida.

Aos meus amigos da faculdade de Engenharia Mecânica da UniFOA (2012.1), e das Instituições Profissionais, onde tive a oportunidade de me desenvolver intelectualmente e moralmente, todos foram verdadeiros compartilhadores e debatedores de dados que compõe esta dissertação.

À banca examinadora, Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro e ao Prof. Dr. André Marques dos Santos, por todas suas contribuições ao universo acadêmico de pesquisas e desenvolvimentos, pelos ensinamentos concedidos e pela honra das vossas participações no contexto geral deste estudo.

Aos técnicos dos laboratórios da UNESP FEG e UniFOA, pelas inestimáveis ajudas nas análises e acompanhamento das amostras.

Às amigas e secretárias, Ana Maria Oliveira de Carvalho Souza e Isabela Teixeira Domingos, pela paciência e atenção.

E a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão deste estudo.

## EPÍGRAFE

"Nada na vida deve ser temido,  
somente compreendido. Agora é hora de  
compreender mais para temer menos."

Marie Curie.

MATOS; L, F. **Caracterização Do Alcatrão De Hulha Purificado Por Processo Em Óleo Desinfetante**. 2020. 85p. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

## RESUMO

O alcatrão é um líquido viscoso e escuro e pode ser obtido por meio de destilação seca do carvão e submetido a destilação fracionada, produzindo óleos aromáticos e piche. No passado, vários materiais derivados da queima de carvão eram apontados como resíduos e descartados. Nos dias de hoje, o alcatrão e seus subprodutos, são utilizados na indústria química e aplicados em diversos seguimentos. Para isso, estes produtos passam por processos químicos de purificação visando se obter substâncias mais limpas, que possuem maior valor agregado. Entretanto, para se atender as exigências do mercado, faz-se necessário o aprimoramento das técnicas de purificação. Dentre estes produtos, o alcatrão de hulha se destaca por sua grande importância para o mercado mundial. Nesta perspectiva, este estudo teve como finalidade aprimorar uma metodologia de purificação do alcatrão de hulha, visando diminuir suas impurezas, utilizando-se de recursos já existentes, de maneira que os custos não sejam onerados. Sendo assim, foi realizado um processo de tratamento do alcatrão com óleo desinfetante nas proporções (1:1), (1:2) e (1:5), em conjunto com a técnica de decantação de líquidos. Na sequência, foi feito um estudo analítico e comparativo dos resultados obtidos e a fração (1:1), obteve os melhores resultados, concluindo-se que este processo pode ser utilizado para aprimorar este material com aplicações na indústria carboquímica, de forma a reduzir os teores de impurezas identificados pelas análises de insolúvel em quinolina e toluol e o teor de umidade.

**Palavras-Chave:** Carboquímica; Destilação de carvão; Siderurgia; Decantação.



MATOS; L, F. **Characterization of coal tar purified by disinfectant oil process.** 2020. 85p. Dissertation (Professional Masters Degree in Materials) – Fundação Oswaldo Aranha, Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

### ***ABSTRACT***

Tar is a dark, viscous liquid and can be obtained through dry distillation of coal and subjected to fractional distillation, producing aromatic oils and tar. In the past, various materials derived from burning coal were identified as waste and discarded. Nowadays, tar and its by-products are used in the chemical industry and applied in several segments. For this, these products undergo chemical purification processes in order to obtain cleaner substances, which have greater added value. However, to meet market demands, it is necessary to improve the purification techniques. Among these products, coal tar stands out for its great importance for the world market. In this perspective, this study aimed to improve a methodology for purifying coal tar, aiming to reduce its impurities, using existing resources, so that costs are not burdened. Therefore, a tar treatment process was carried out with disinfectant oil in the proportions (1:1), (1:2) and (1:5), together with the liquid decantation technique. Then, an analytical and comparative study of the results was made and the fraction (1:1) obtained the best results, concluding that this process can be used to improve this material with applications in the carbohydrate industry, in order to reduce the levels of impurities identified by the analyses of insoluble in quinoline and toluol and the moisture content.

**Key words:** Carbochemistry; Coal distillation; Steel Industry; Decantation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos básicos encontrados na composição do carvão.....	21
Figura 2 – Porcentagem de carbono e teor de umidade nos carvões.....	22
Figura 3 – Reservas de carvão a nível mundial, em toneladas.....	24
Figura 4 – Consumo de carvão mineral pelo mundo.....	25
Figura 5 – Processo carboquímico e todas as ramificações.....	27
Figura 6 – Vista lateral de uma bateria de forno coméia.....	29
Figura 7 – Usina de produção de coque em forno de recuperação com bateria byproduct.....	31
Figura 8 – Compostos obtidos através da destilação destrutiva do carvão.....	33
Figura 9 – Processo de destilação genérico do alcatrão.....	34
Figura 10 – Retirada de umidade do alcatrão pelo desidratador.....	35
Figura 11 – Processo de destilação de alcatrão.....	36
Figura 12 – Produtos extraídos pela destilação destrutiva do alcatrão.....	36
Figura 13 – Temperaturas dos subprodutos da destilação do alcatrão.....	37
Figura 14 – Fluxograma de encamilhamentos dos subprodutos do alcatrão.....	38
Figura 15 – Processo de separação de Piche e Antraceno (Antrafen).....	38
Figura 16 – Processo de separação do Creosoto/Naftaleno/Desinfetante.....	39
Figura 17 – Separação do Creosoto/Naftaleno.....	40
Figura 18 – Estrutura química dos multicresóis encontrados no óleo desinfetante..	44
Figura 19 – Estrutura química do 2-(2-butoxi) etanol, componente químico encontrado no óleo desinfetante.....	45
Figura 20 – Fluxograma da metodologia empregada neste trabalho.....	48
Figura 21 – Esquema de processo de decantação realizado neste trabalho.....	49
Figura 22 – Esquema da análise de teor de umidade utilizado neste trabalho.....	50
Figura 23 – Fluxograma de determinação do teor de umidade.....	51
Figura 24 – Fluxograma de determinação de insolúvel em quinolina.....	52
Figura 25 – Fluxograma de determinação de insolúvel em toluol.....	54
Figura 26 – Fluxograma de determinação da destilação fracionada.....	55
Figura 27 – Esquema da análise de destilação fracionada utilizada neste trabalho	56
Figura 28 – Fluxograma de determinação de massa específica para alcatrão.....	57
Figura 29 – Esquema da análise de densidade no óleo desinfetante.....	58
Figura 30 – Fluxograma de determinação de densidade para óleo desinfetante.....	58

Figura 31 – Aspecto das amostras após análise de IQ .....	67
Figura 32 – Aspecto das amostras após análise de IT.....	69
Figura 33 – Resumo dos ensaios realizados.....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais reservas de carvão mineral do Brasil.....	23
Tabela 2 – Ranking dos países de maior produção de carvão mineral em 2010 .....	25
Tabela 3 – Ranking dos países de maior consumo de carvão mineral em 2010.....	26
Tabela 4 – Estados físicos dos produtos carboquímicos .....	32
Tabela 5 – Composição química média da Nafta Solvente .....	42
Tabela 6 – Composição química média do Antraceno/Antrafen.....	42
Tabela 7 – Composição química média do Creosoto.....	43
Tabela 8 – Composição química média do Óleo Desinfetante.....	44
Tabela 9 – Composição química média do Piche .....	45
Tabela 10 – Composição química média do Naftaleno .....	46
Tabela 11 – Valores de quantidade de comercialização do alcatrão de hulha.....	47
Tabela 12 – Valores de quantidade de comercialização do óleo desinfetante .....	48
Tabela 13 – Estudo estatístico do alcatrão de hulha <i>in natura</i> .....	61
Tabela 14 – Valores de qualidade do alcatrão de hulha <i>in natura</i> /valores obtidos...	62
Tabela 15 – Valores de análise do óleo desinfetante .....	63
Tabela 16 – Valores de quantidade do óleo desinfetante/valores obtidos .....	63
Tabela 17 – Comparativo Teor de Umidade - alcatrão purificado e <i>in natura</i> .....	64
Tabela 18 – Comparativo IQ - alcatrão purificado e <i>in natura</i> .....	66
Tabela 19 – Comparativo IT - alcatrão purificado e <i>in natura</i> .....	68
Tabela 20 – Comparativo Massa Especifica alcatrão purificado e <i>in natura</i> .....	70
Tabela 21 – Comparativo Destilação Fracionada alcatrão purificado e <i>in natura</i> ....	71

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Cálculo do Teor de Umidade.....	51
Equação 2 – Cálculo de Insolúvel em Quinolina .....	52
Equação 3 – Cálculo de Resina Beta.....	53
Equação 4 – Cálculo do Insolúvel em Tolueno .....	54
Equação 5 – Cálculo das Frações de Destilação Fracionada .....	56
Equação 6 – Cálculo de Massa Específica por Picnômetro .....	57
Equação 7 – Cálculo da Média em Triplicata de Amostras .....	59
Equação 8 – Cálculo de Variação Populacional de Dados .....	59
Equação 9 – Cálculo de Desvio Padrão .....	60
Equação 10 – Cálculo de Coeficiente de Variação .....	60

## SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
°C	Graus Celsius
Cq	Conversões químicas
cm <sup>3</sup>	Centímetros cúbicos
CND	Creosoto/Naftaleno/Desinfetante
CN	Cresoto/Naftaleno
cP	Centipoise (Milipascal/segundo)
Ex	Exemplo
°F	Graus Fahrenheit
GCO	Gás de Coqueria
g/cm <sup>3</sup>	Gramas por centímetro cúbicos
KJ	Quilojoules
kg	Quilograma
Mtep	Milhões de toneladas equivalente de petróleo
MJ	Mega Joule
MO	Microscopia óptica
IQ	Insolúvel em Quinolina
IT	Insolúvel em Toluol
%	Por cento
Op	Operações físicas
Hpa	Hectopascal
PA	Para Análise
W	Watts

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	18
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	20
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	20
1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	20
<b>1.3 JUSTIFICATIVA</b> .....	20
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	21
2.1 TIPOS DE CARVÃO.....	21
2.1.1 CARVÃO VEGETAL.....	22
2.1.2 CARVÃO MINERAL.....	23
2.2 RESERVAS, PRODUÇÃO E CONSUMO NO MUNDO DO CARVÃO MINERAL.....	24
2.3 PROCESSO DA INDÚSTRIA CARBOQUÍMICA EM CARVÃO MINERAL.....	26
2.3.1 GASEIFICAÇÃO DO CARVÃO.....	28
2.3.2 LIQUEFAÇÃO DO CARVÃO.....	28
2.3.3 COQUEIFICAÇÃO.....	28
2.4 PROCESSOS DE OBTENÇÃO DOS PRODUTOS CARBOQUÍMICOS.....	31
2.5 PROCESSO DE DESTILAÇÃO E FRAÇÕES DO ALCATRÃO.....	33
2.6 PRODUTOS CARBOQUÍMICOS.....	41
2.6.1 ALCATRÃO.....	41
2.6.2 NAFTA SOLVENTE.....	41
2.6.3 ÓLEO ANTRACENO OU ANTRAFEN.....	42
2.6.4 ÓLEO CREOSOTO.....	43
2.6.5 ÓLEO DESINFETANTE.....	43
2.6.6 PICHE.....	45
2.6.7 NAFTALENO.....	46

<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	47
3.1 MATERIAIS .....	47
3.1.1 ALCATRÃO DE HULHA .....	47
3.1.2 ÓLEO DESINFETANTE .....	47
3.2 MÉTODOS .....	48
3.2.1 MÉTODO DE PURIFICAÇÃO .....	49
3.3 ANÁLISES DE QUALIDADE .....	50
3.3.1 TEOR DE UMIDADE .....	50
3.3.2 INSOLÚVEL EM QUINOLINA .....	51
3.3.3 INSOLÚVEL EM TOLUOL .....	53
3.3.4 DESTILAÇÃO FRACIONADA .....	54
3.3.5 MASSA ESPECÍFICA POR PICNÔMETRO .....	56
3.3.6 DENSIDADE ESPECÍFICA .....	56
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	61
4.1 RESULTADOS DE QUALIDADE .....	61
4.1.1 RESULTADOS DO ALCATRÃO DE HULHA <i>IN NATURA</i> .....	61
4.1.2 RESULTADOS DO ÓLEO DESINFETANTE .....	63
4.1.3 RESULTADOS DO ALCATRÃO PURIFICADO E SUAS PROPORÇÕES .....	63
4.1.3.1 ANÁLISE DE UMIDADE .....	64
4.1.3.2 ANÁLISE DE INSOLÚVEL EM QUINOLINA (IQ) .....	65
4.1.3.3 ANÁLISE DE INSOLÚVEL EM TOLUOL (IT) .....	67
4.1.3.4 ANÁLISE MASSA ESPECÍFICA - ALCATRÃO .....	69
4.1.3.5 ANÁLISE DE DESTILAÇÃO FRACIONADA .....	70
4.1.3.6 VISIBILIDADE GERAL DAS ANÁLISES E COMPARAÇÕES ENTRE AS FRAÇÕES .....	72
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	75



<b>6. TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>76</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>85</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações iniciais

Até o século XIX, derivados da queima de carvão eram considerados resíduos e conseqüentemente, descartados. Entretanto, a partir das experiências do engenheiro William Murdoch, que produziu gás combustível oriundo do carvão, possibilitando iluminar as ruas de Londres em 1812 e do químico britânico Sir William Henry Perkin, que em 1856 desenvolveu os primeiros corantes sintéticos extraídos de um composto oriundo do alcatrão de carvão, estes materiais passaram a apresentar uma grande demanda e valor, agregando ao que antes era um rejeito (INFOPLASE, 2018; THOMSON, 2003).

O alcatrão é um material de aparência escura, betuminoso, viscoso e de forte odor, sendo formado, basicamente, por um conjunto de hidrocarbonetos e bases nitrogenadas. É de grande importância para a indústria química e suas ramificações, por ser uma fonte natural de substâncias aromáticas, o que possibilita a extração de aproximadamente duzentos compostos (XIE; LIUX; FEI, 2015).

O alcatrão e seus subprodutos podem ser aplicados em vários setores, sendo o fator determinante seu estado final. Sendo assim, ele pode ser utilizado na fabricação de metanol, do ácido acético, adesivos, tintas, aditivo para produção de solventes, fibras sintéticas, desinfetantes, cosméticos, corantes, fármacos, plásticos, vernizes, impermeabilizantes, refratários, pavimentação, combustível, dentre outros. No setor agro, seus subprodutos são encontrados em inseticidas para controle de fungos, larvas e demais pestes (LEWANDOWSK; *et al*, 2011; SREE, 2017).

Esta substância pode ser obtida via carvão mineral (alcatrão de hulha), carvão vegetal (alcatrão vegetal) ou como um resíduo de refino do petróleo por processos distintos. No caso do carvão mineral, é utilizado um processo denominado de coqueificação ou pirólise do carvão mineral. No entanto, para o tipo vegetal, utiliza-se um processo de carbonização da madeira, especialmente o eucalipto (GAO; ZHANG; YU, 2014; MACHADO, 2002).

De uma tonelada de carvão pode-se obter entre 30 a 50 kg de alcatrão. No Brasil se produz aproximadamente 5 milhões de toneladas por ano de carvão de

origem vegetal, o que permite obter 2 milhões de toneladas de alcatrão ao ano, mas este valor depende das melhorias na tecnologia de carbonização e da recuperação de subprodutos aliados a pesquisas no ramo e investimentos de tecnologias (REZENDE, 2010; SILVA, 2008).

Dentre os processos químicos, um dos maiores desafios, é o de obter substâncias puras, visto que, grande parte dos materiais provenientes da natureza, são constituídos por misturas e algumas carregadas com impurezas. Sendo assim, é necessário realizar um procedimento apropriado de purificação, considerando o tipo de material, situações econômicas e o tempo necessário para separação (AZPÍROZ; BLANCO; BANCIELLA, 2008).

Diversos estudos nas áreas extração e utilização do alcatrão foram realizadas nas últimas décadas, porém, pouco se descreve sobre tais estudos envolvendo o processo de purificação desse produto, principalmente no Brasil (CHESHKO; *et al.* 2014; SALIM; EGASHIRA, 2006; SUN; MA; YAO, 2011).

Em vista disto, este estudo pretende colaborar com o acréscimo às técnicas de purificação de alcatrão de origem carvoeira, que visam aplicações mais nobres e com maior valor agregado (FLOTTWEG, 2018; LÜ; LING; ZHOU, 2000; WU; *et al.*, 2001; YING, 2012; SUN; WANG Z; WANG; CHAO, 2011).

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Aprimorar uma metodologia de purificação do alcatrão de hulha visando a melhoria de sua qualidade.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Realizar um estudo analítico do alcatrão de hulha, diminuir a quantidade de impurezas, utilizando recursos já existentes no processo de fabricação (lavagem com óleo desinfetante) junto à decantação de líquidos, de forma a não elevar os custos de manufatura, sua caracterização e a comparação dos resultados obtidos com os do produto *in natura*, para identificar o melhor processo à ser usado no setor de carboquímicos.

## **1.3 JUSTIFICATIVA**

Devido as exigências crescentes no mercado de indústrias químicas, no tocante a práticas relacionadas a custos/benefícios, se faz necessário o aprimoramento das técnicas de forma a atender a demanda atual, possibilitando com isto, a formação de recursos humanos e o desenvolvimento de metodologias para purificação do alcatrão em nível nacional.

O alcatrão purificado possui um maior valor agregado, principalmente para indústria farmacêutica, que pode utilizar esta matéria-prima em aplicações mais nobres, além de melhorar diversas atividades produtivas como menor deterioração de peças utilizadas na produção e a diminuição nos espaços de lavagem dos tanques de armazenamento, visto que o material se apresentará menos viscoso.

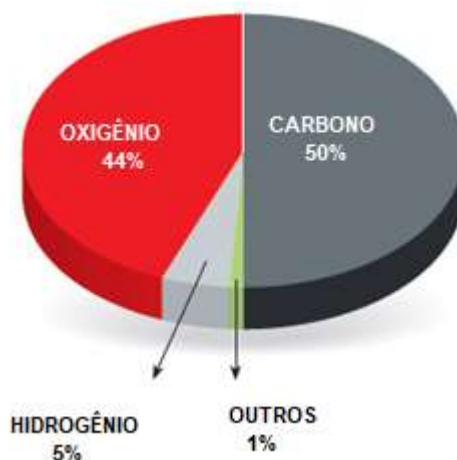
## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Tipos de carvão

O carvão encontrado na natureza pertence basicamente a duas categorias, identificadas como vegetal e mineral. Sendo o primeiro obtido por meio da carbonização da lenha, e o segundo pela decomposição de matéria orgânica, como restos de plantas e árvores, que ocorrem num período de dez milhões de anos, sob condições de pressão e temperaturas adequadas (DAI; WAND; ZAO, 2018).

Esta substância é composta por átomos de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e enxofre adjuntos a demais elementos de origem rochosa, como arenito, diamictitos, siltito, folhelhos e minerais, como a pirita (figura 1) (BARBIERI, 2018; PERUZZO; CANTO, 2015).

Figura 1: Elementos básicos encontrados na composição do carvão.



Fonte: PERUZZO; CANTO (2015).

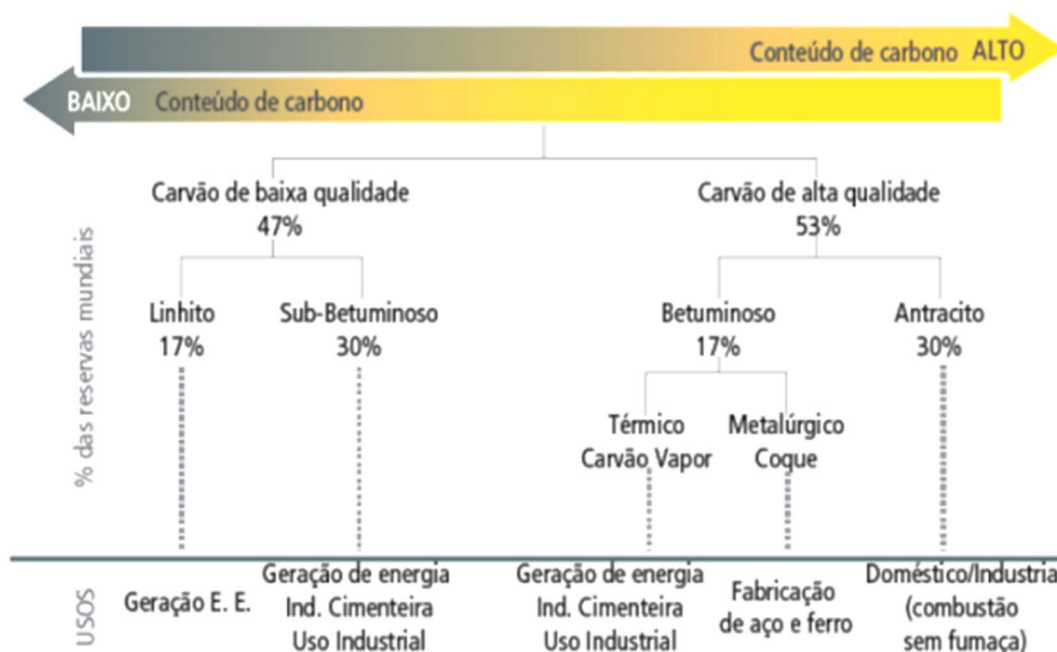
Tanto o carvão mineral, quanto o vegetal, são utilizados nos mais variáveis seguimentos industriais, com destaque nos setores siderúrgicos e de produção de energia elétrica. Mundialmente, o carvão vegetal é menos utilizado se comparado ao mineral. Isto ocorre, pelo alto valor de impurezas identificados em sua composição, reduzindo sua capacidade ativa (poder calorífico) em kcal/kg (quilocaloria obtida por quilo do combustível) (MACHADO, 2009).

De acordo com a qualidade do carvão extraído, determina-se uma subdivisão em categorias denominadas de baixa qualidade, onde estão inclusos

o linhito e o tipo sub-betuminoso, e de alta qualidade ou hulha, este subdividido em betuminoso e antracênico (OLIVEIRA; *et al.* 2012; OLIVEIRA, 2017).

Pode-se afirmar que das reservas mundiais de carvão de origem mineral, 53% são compostas por aqueles que apresentam elevado teor de carbono (hulha) e o restante (47%), apresentam baixo teor de carbono, como demonstrado na figura 2. Os tipos de carvão extraídos e o consumidos mundialmente, são chamado de categoria intermediária, e são compostos pelo linhito, utilizado na geração de energia elétrica e os tipos betuminosos/sub-betuminosos, mais rentáveis, além de apresentar maior capacidade na produção de calor (SANTOS, 2017; SILVA, 2008).

Figura 2: Porcentagem de carbono e teor de umidade nos carvões.



Fonte: SANTOS (2017).

### 2.1.1 Carvão Vegetal

É originário da madeira, apresenta baixa densidade (entre 0,210 e 0,400 g/cm<sup>3</sup>), o que facilita a absorção de oxigênio e conseqüentemente, a queima e o desprendimento de calor, fazendo com que o poder de combustão dele seja em torno de 33.472 kJ/kg (ALVES, 2003; BARBIERI, 2018).

Em todo o território brasileiro o processo de produção de carvão vegetal ocorre por meio da carbonização da madeira, especialmente o eucalipto, em

ambiente fechado, com atmosfera controlada, em carvoarias rústicas, que aglomeradas, atendem a uma variedade de demandas energéticas. Apesar do grande volume de produção do carvão vegetal, existem poucos estudos sobre a recuperação e a tratamentos dos resíduos provenientes da condensação dos voláteis desprendidos, porém, é feito o melhoramento de seus componentes (PAES, 2002; REZENDE, 2010).

### 2.1.2 Carvão Mineral

A denominação Carvão Mineral é dada a uma variedade de rochas de origem sedimentar, que podem ser utilizadas como combustível. Estas rochas são constituídas de restos de vegetais depositados, protegidos do oxigênio, que sofreram decomposição em ação de bactérias sob uma pequenas lâminas d'água. A este processo, soma-se a pressão de confinamento exercida pelo peso do material, exposto ao longo do tempo e a ação do calor, gerando um mineral de aspecto sólido, com coloração escura (ENAUTA, 2019; MCENANEY, 1999).

Para que ocorra a formação deste mineral é necessário que se dê o afundamento da região, onde está o material de interesse, de forma que, ao mesmo tempo, os vegetais em decomposição são depositados e ocorre a proliferação de novas árvores. Este processo não pode ser muito lento, pois favorece o acúmulo de material silicoso, que dá origem a um carvão com alto teor de cinzas e baixa capacidade calorífica (DNPM, 2018; PHILIPPSEN, 2018).

No Brasil, as principais reservas de carvão estão situadas nos Estados de Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e Paraná, em ordem crescente de milhões de toneladas, conforme tabela 1 (DALPONT, 2017; GOMES, 2002).

Tabela 1: Principais reservas de carvão mineiral do Brasil.

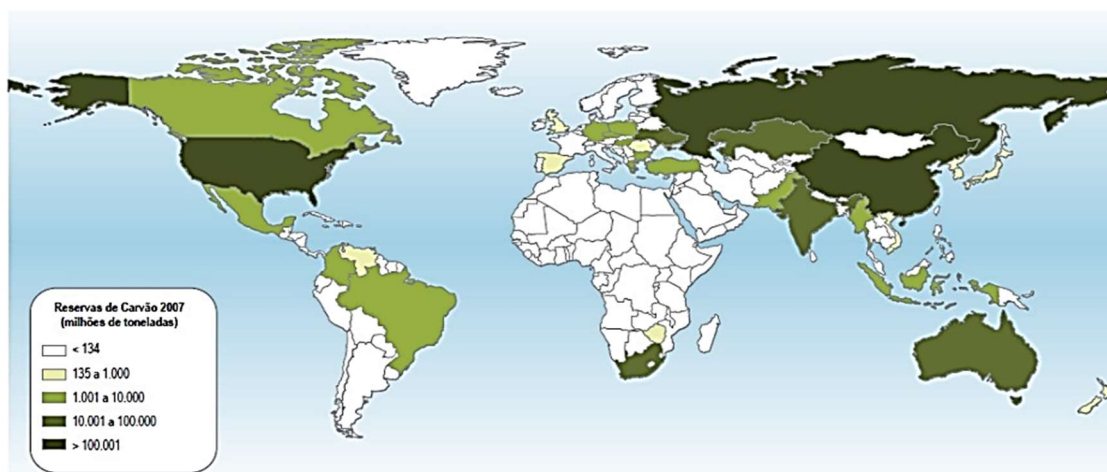
Estados Brasileiros	Reservas de Carvão Mineral (toneladas)
Rio Grande do Sul	20859
Santa Catarina	1941
Paraná	179
São Paulo	10

**Observação:** Valores x 10<sup>6</sup>  
Fonte: Adaptado de GOMES (2002).

## 2.2 Reservas, produção e consumo no mundo do carvão mineral

O carvão de origem mineral, é o combustível fóssil com maior disponibilidade mundialmente. Com reservas em torno de 847,5 bilhões de toneladas, valor suficiente para atender o mercado por 130 anos se forem mantidas as demandas dos últimos anos. Suas reservas estão distribuídas de forma homogênea pelos continentes, especialmente no hemisfério norte, o que pode ser visto na figura 3. Os Estados Unidos, a Rússia e a China são os países que concentram mais de 60% do volume total (PAIXÃO, 2017).

Figura 3: Reservas de carvão a nível mundial, em toneladas.



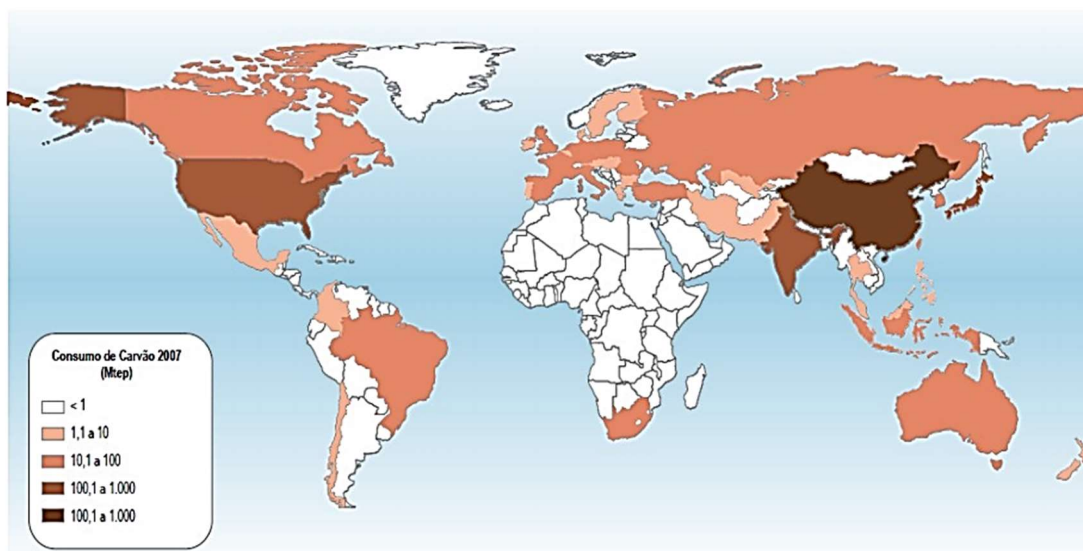
Fonte: ANEEL (2010).

Destaca-se ainda, que o volume de carvão extraído e produzido, não são diretamente proporcionais à disponibilidade dos recursos naturais, dado que muitos países possuem outras fontes primárias em suas regiões, ou apresentam variados níveis de dependência da importação de combustíveis (DAI; WAND; ZHAO, 2018).

O país que mais produz carvão no mundo é a China, que estimulada pelo acentuado ciclo de desenvolvimento econômico, tornou-se, também, a maior consumidora desse minério (PAIXÃO, 2017). Esta potência, em 2010, produziu cerca de 3.240,6 milhões de toneladas de equivalentes de petróleo (Mtep) e consumiu 3.100,0 Mtep conforme demonstrado na figura 4.



Figura 4: Consumo de carvão mineral pelo mundo.



Fonte: ANEEL (2010).

Esta correlação entre o consumo mundial de carvão mineral, que é medido em tonelada equivalente de petróleo (Mtep), dá-se pela equivalência na mensuração do poder calorífico (ANEEL, 2010).

Além da China, outros países como os Estados Unidos (984,6 Mtep), a Índia (535,0 Mtep) e a Austrália (423,9 Mtep), também são considerados grandes produtores de carvão, sendo este último, considerado como um dos maiores exportadores deste minério do mundo, de acordo com a tabela 2.

Tabela 2: *Ranking* dos países maiores produtores de carvão mineral em 2010.

Posição	País	Mtep	%
1º.	China	3240,6	48,3
2º.	Estados Unidos	984,6	18,7
3º.	Índia	535,7	6,9
4º.	Austrália	423,9	5,8
5º.	Rússia	316,9	4,8
6º.	Indonésia	305,9	4,7
7º.	África do Sul	253,8	3,4
8º.	Alemanha	182,3	2,0
9º.	Polónia	182,3	1,6
10º.	Cazaquistão	133,2	1,5
26º.	Brasil	2,2	0,1
Total		7273,3	100,0

Fonte: BRITISH PETROLEUM AS (2010).

A Rússia se apresenta como o segundo maior país em termos de reservas, ocupando o 5º lugar no *ranking* da produção e o 4º lugar em consumo, devido à utilização majoritária neste país, ser o gás natural, conforme apresentado na tabela 3 (ANEEL, 2010; BRITISH PETROLEUM SA, 2010).

Tabela 3: *Ranking* dos países maiores consumidores de carvão mineral em 2010.

Posição	País	Mtep	%
1º.	China	3100,0	41,3
2º.	Estados Unidos	960,0	18,1
3º.	Índia	659,0	6,5
4º.	Rússia	234,0	3,9
5º.	Alemanha	228,0	3,1
6º.	África do Sul	187,0	3,0
7º.	Japão	186,0	2,7
8º.	Polônia	142,0	1,9
9º.	Austrália	132,0	1,8
10º.	Cazaquistão	118,0	1,7
26º.	Brasil	14,0	0,4
	Total	5960,0	100,0

Fonte: BRITISH PETROLEUM SA (2010).

O Brasil ocupa 26º lugar no *ranking* mundial de produção de carvão mineral. Apesar de possuir reservas carboníferas entre 1.000 a 10.000 toneladas, seu carvão é de baixa capacidade calorífica, o que não justifica a extração desse minério mediante ao custo/benefício. Sendo assim, o país segue suprindo parte de suas necessidades com carvão de origem vegetal ou por processos de importação, principalmente da China, Índia e Colômbia (BRITISH PETROLEUM SA, 2010; REZENDE, 2010).

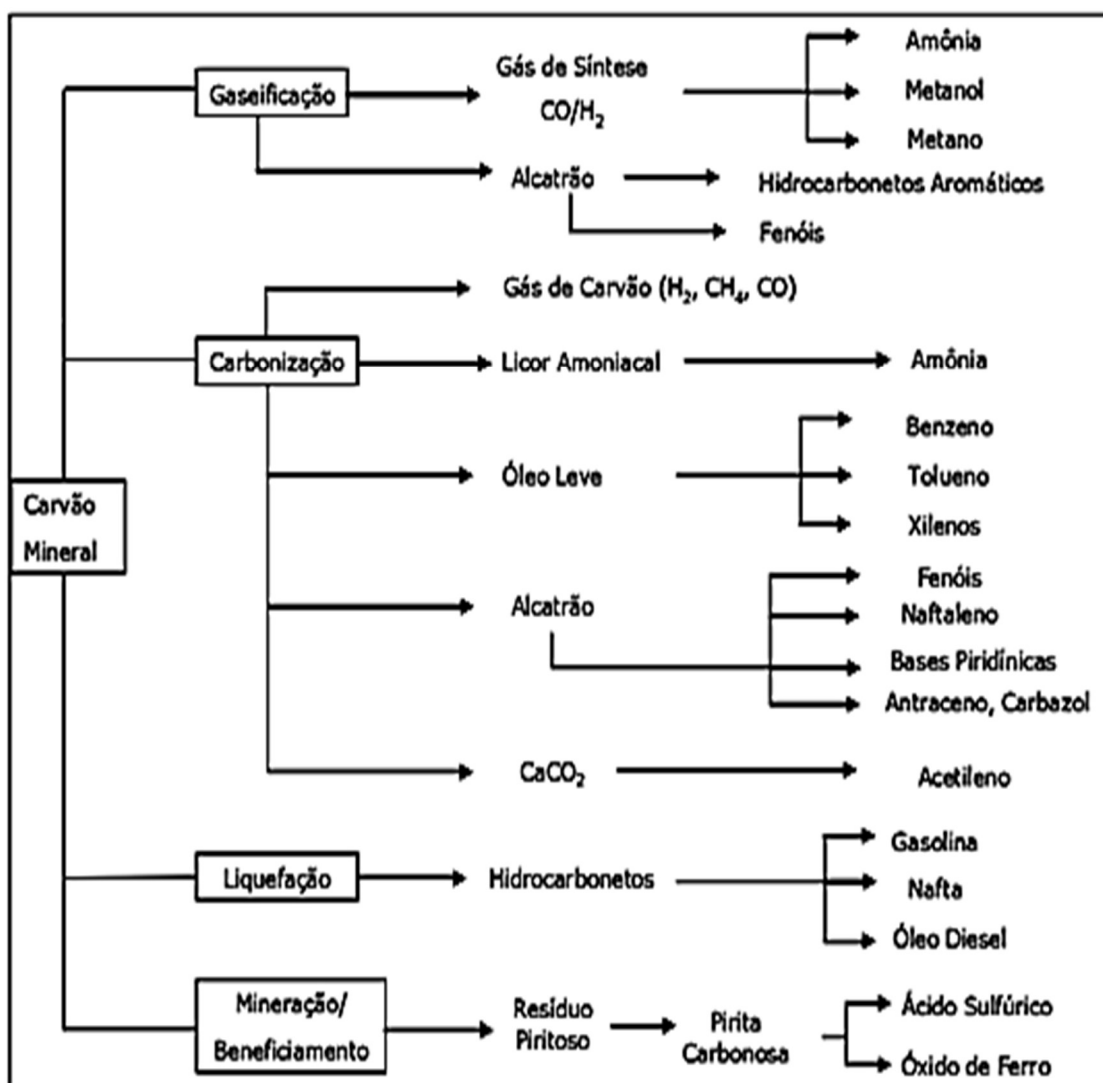
### 2.3 Processo da Indústria Carboquímica em carvão mineral

O setor de carboquímicos utiliza diversos produtos e/ou subprodutos oriundos da mineração e de processamento de carvões que atuam como matéria-prima para produção de insumos químicos tais como: amônia, metanol, aromáticos, dentre outros e como combustíveis, como gasolina, diesel e nafta, através de processos de liquefação, gaseificação ou carbonização (ANDRADE, 2014; SAAVEDRA, 2010).

Inicialmente o carvão mineral passa por um processo de purificação, por meio do qual se obtém subprodutos, como minerais associados ou não a pirita (dissulfeto de ferro —  $\text{FeS}_2$ ). Mediante tais subprodutos, é possível que a indústria carboquímica opte pela produção de adubos minerais sulfatados e fosfatados, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, dentre outros (SILVA, 2008).

Este processo de purificação do carvão mineral se compõe basicamente de aquecimento em temperaturas elevadas, sem oxigênio no interior de um destilador para produção do coque (produto resultante da queima), e o alcatrão, que é o condensado. Este último, pode ser desmembrado em diversas frações por meio de um processo conhecido como destilação fracionada, demonstrado na figura 5 (ANTUNES, 2007).

Figura 5: Processo carboquímico e todas as ramificações.



Fonte: ANTUNES (2007).

### **2.3.1 Gaseificação do carvão**

Este processo de extração, vem sendo praticado desde a primeira metade do século XX no carvão, e tem a função de produzir substância em presença de vapor de água e oxigênio ou ar em quantidades inferiores as estequiométricas para gerar energia e/ou outras substâncias. São amplamente conhecidos e dominam em termos mundiais e no Brasi, vale salientar, que é amplamente utilizado em parques industriais (DALPONT, 2017; GARCIA, 2000).

### **2.3.2 Liquefação do carvão**

Até o início da década de 1960, o carvão era utilizado mundialmente, como fonte primária de energia. Em razão de uma grande disponibilidade e facilidade de se obter novos produtos, foi suplantado pelo petróleo. No entanto, ele se mantém como uma importante fonte energética, visto que por meio de sua conversão é possível produzir uma espécie de combustível sintético na forma líquida, semelhante ao petróleo encontrado na natureza, diferente do alcatrão de hulha (GAO, ZHANG, YU, 2014).

O processo de liquefação do carvão é relativamente novo e tem como finalidade transformar o carvão que se encontra no estado sólido, em combustível líquido, extraíndo gasolina, nafta e diesel, em um ambiente fechado a temperaturas extremamente altas. Inúmeros países, em especial a China e os Estados Unidos, já possuem usinas capazes de liquefazer carvão, porém este processo ainda é muito caro e necessita de tecnologia mais avançada (LU; LING; ZHOU, 2000).

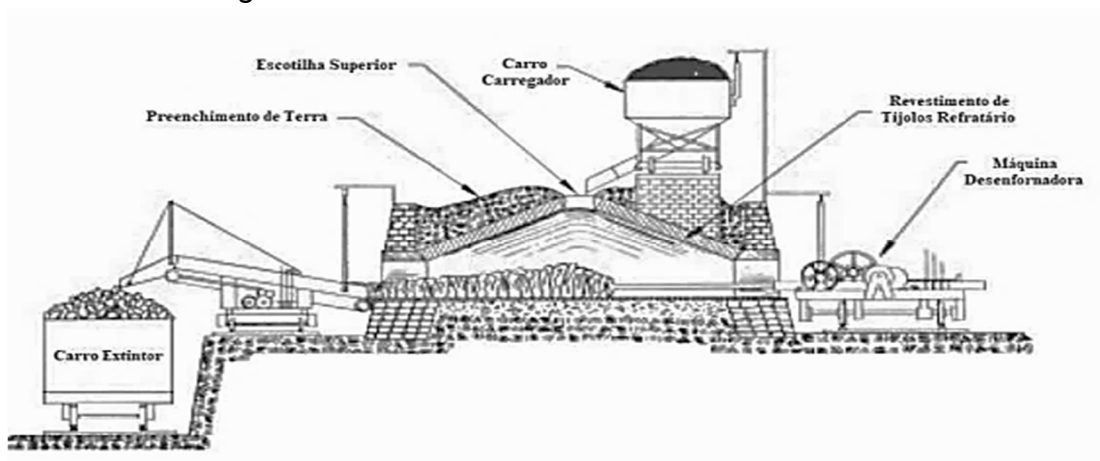
### **2.3.3 Coqueificação**

Duas metodologias distintas são aplicadas para o processo da coqueificação do carvão. Coqueificação em fornos de colmeia e a coqueificação em fornos de recuperação, sendo um processo mais simplório, e o outro mais moderno e eficiente (BRAGA, 2017).

A coqueificação em fornos de colmeia, ocorre em fornos semelhantes a uma colmeia. Apresenta uma câmara de tijolos, que possui uma abertura para inserção da carga no topo e uma outra na parte inferior da parede, para descarga. O carvão colocado pela parte superior é derramado na soleira, sendo que o calor

retido no forno é suficiente para dar início a destilação. Todo o procedimento divide-se em carregamento, coqueificação, descarregamento, apagamento e expedição demonstrado na figura 6 (NETO, 2019).

Figura 6: Vista lateral de uma bateria de forno colmeia.



Fonte: NETO (2019).

Inicialmente o carvão é introduzido na coqueria e imediatamente começa a passar por vários estágios de transformações, que envolvem a quebra das moléculas, sendo, as principais etapas, definidas através das temperaturas que fazem liberar a umidade presente no carvão (entre 100 °C e 120 °C), sem que haja nenhuma alteração física (SILVA, 2008).

Posteriormente, entre as temperaturas de 450 °C e 650 °C ocorre o processo de volatização primária ou primeira etapa da coqueificação, com a liberação de alcatrão e hidrocarbonetos pesados. Entre as temperaturas 680 °C e 720 °C ocorrem dois fenômenos simultâneos, sendo eles: a fluidificação, em virtude do rompimento das ligações de hidrogênio da estrutura química que o tornam fluido, com uma consistência pastosa e o inchamento que ocorre por causa da pressão dos gases que se difundem nos microporos do carvão. A intensidade do inchamento será determinada pela velocidade com que ocorre a liberação dos gases através da massa fluida (GARCIA, 2000; SPEIGHT, 2015).

Entre as temperaturas de 740 °C e 850 °C inicia a solidificação (semicoque). Esta substância não deve apresentar fissuras, garantindo assim, a qualidade do produto, em função de uma elevada resistência mecânica. Já em temperaturas acima de 880 °C, que consistiu a fase final do processo dentro da

coqueria, acontece a volatilização secundária, com desprendimento de hidrogênio e outros gases (ANDRADE, 2014).

Em relação à coqueificação em fornos de recuperação, o forno de coque de recuperação é constituído por uma estrutura de alvenaria que visa suportar as tensões severas e, ao mesmo tempo, manter-se isolado do gás que se expande durante o processo de aquecimento. Seu corpo é manufaturado em tijolos refratários, e, em geral suporta cargas entre 16 e 24 toneladas de carvão por batelada (ANTUNES, 2007; SAAVEDRA, 2010).

Existem alguns modelos destes fornos e estão dispostos em sistemas construídos por baterias formadas por conjuntos de 10 a 100 retortas que operam intermitentemente, ou seja, cada uma delas começa a operar em instantes diferentes de modo a produzir continuamente gás com uma boa composição média (EGASHIRA; SAITO, 2007; RECH, 2018).

De modo geral, trata-se de um processo que pode ser representado mediante o fluxo de material, por meio dos diversos equipamentos em que se realiza as conversões químicas (Cq) ou operações físicas (Op) apropriadas, sendo estas fragmentadas de acordo com as seguintes etapas:

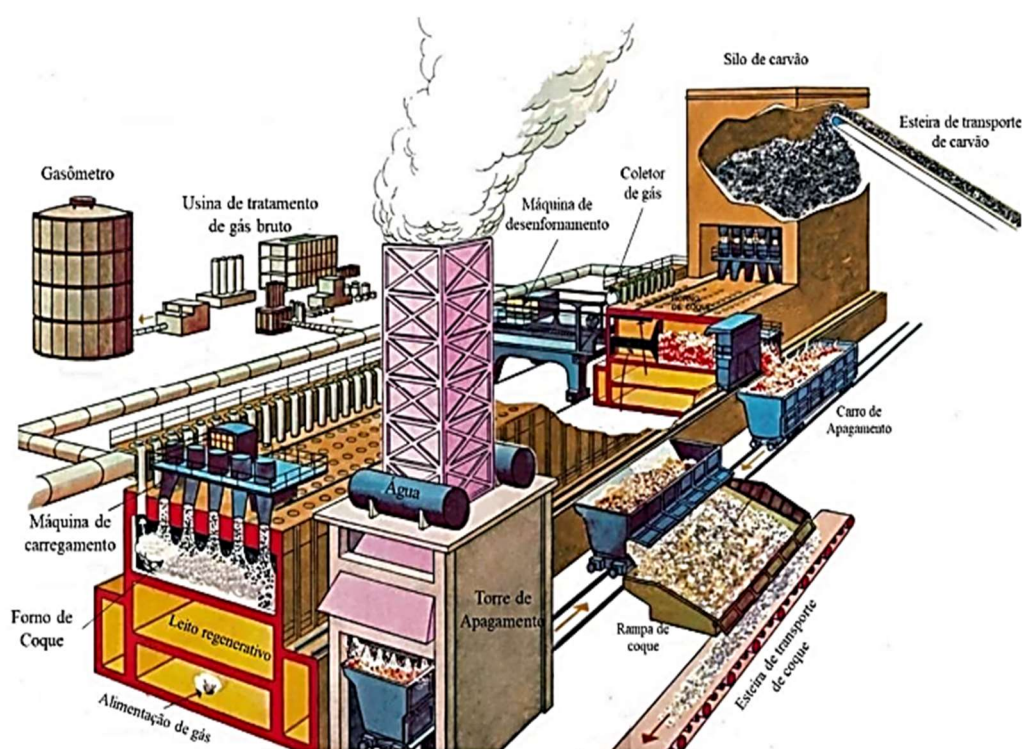
1. Etapa inicial, o carvão que foi transportado, é britado e posteriormente peneirado (Op);
2. Na sequência, o carvão peneirado é enforado em uma retorta que deve estar aquecida (Op);
3. Com o aquecimento, ele se transforma quimicamente em coque e desprende matérias voláteis devido à pirólise (Cq);
4. O coque, então, ao rubro é desenforado, sendo resfriado e posteriormente transportado (Op);
5. Ocorre um processo de liquefação dos produtos gerados durante a destilação que são coletados no principal coletor (Op);
6. O gás impuro é resfriado e o alcatrão é extraído (Op);
7. O gás sofre, então, uma primeira etapa de purificação, com a remoção da amônia gerada que sai na forma de sulfato de amônio (Cq);
8. Posteriormente são separados, do gás resfriado, o benzol e o toluol por absorção em óleo leve (Op);
9. O processo de purificação continua com a remoção do sulfeto de hidrogênio (Cq);

10. Finalmente, o gás purificado é avaliado e transferido aos consumidores (Op).

O alcatrão que foi recolhido no principal coletor descrito na etapa 6 (extrator de alcatrão), é separado do licor amoniacal e tratado em processos futuros (SHEREVE; BRINK, 1980).

A Figura 7, apresenta o processo de produção de coque com fornos de recuperação por bateria *byproduct*.

Figura 7: Usina de produção de coque em forno de recuperação com bateria *byproduct*.



Fonte: NETO (2019).

## 2.4 Processos de Obtenção dos Produtos Carboquímicos

Nos últimos anos, a necessidade crescente de matérias-primas impulsionou o progresso das conversões químicas, para a obtenção de uma imensa variedade de substâncias aromáticas conforme (Tabela 4) (ANDRADE, 2014).

Tabela 4: Estados físicos dos produtos carboquímicos.

<b>Partes</b>	<b>Substâncias</b>
Sólida	carvão / coque
Gasosa	monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio, metano, etileno, sulfeto de hidrogênio, nitrogênio e amônia, com uma denominação dada de gás de coqueria (GCO).
Líquida	alcatrão de hulha, óleos de compostos aromáticos, licores e ácidos amoniacaís.

Fonte: Adaptado de ANDRADE (2014).

A quantidade e qualidade dos produtos adquiridos serão determinadas pela temperatura empregada na técnica de pirólise, assim como o tipo de carvão utilizado, sendo considerado a porcentagem de carbono (CHESHKO, 2014).

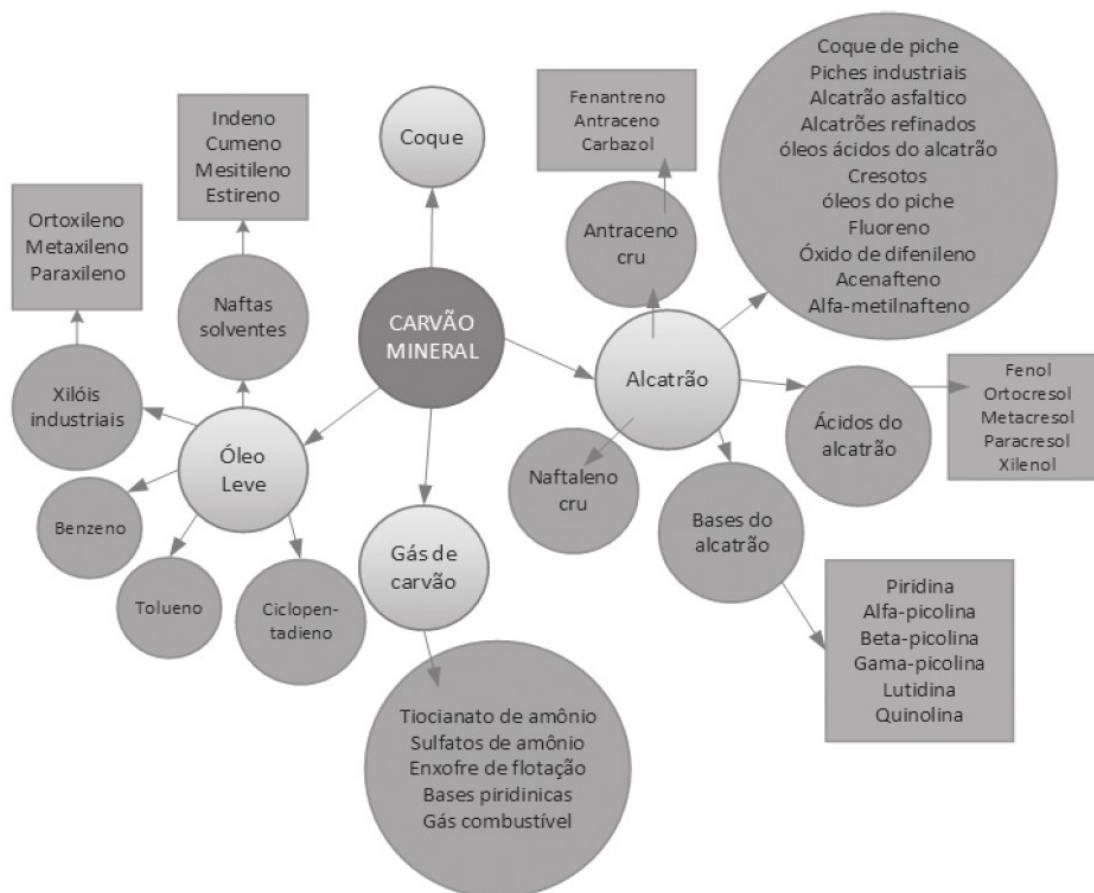
Processos em que o carvão é aquecido por temperaturas entre 450 °C e 670 °C, são denominados carbonização em baixa temperatura. Este tipo de ação gera uma maior quantidade de substâncias líquidas, se comparado as obtidas em forma gasosa. Quando o processo atinge temperaturas acima de 900 °C, a reação recebe o nome de carbonização a alta temperatura, neste caso, a quantidade de produtos gasosos é maior que a dos produtos em estado líquido, demonstrado na figura 8 (FRANÇA, 2016).

De acordo com Fuchs e Sandoff (1942) a pirólise do carvão apresenta as seguintes etapas de decomposição (SHEREVE; BRINK, 1980):

1. Com o aumento da temperatura os laços alifáticos presentes entre os átomos de carbonos se rompem;
2. Com a continuidade do processo a temperatura chega a aproximadamente de 600 °C, ou mais. Nesta fase, as ligações entre o carbono e o hidrogênio se partem;
3. As decomposições que ocorrem durante a carbonização são importantes, pois eliminam os heterocíclicos complexos, elevando a aromatização;
4. À medida que a temperatura de carbonização atua, a massa molecular média dos produtos voláteis intermediários diminui pela saída de água, monóxido de carbono, hidrogênio, metano e outros hidrocarbonetos;
5. As decomposições finais atingem um máximo entre 700 e 850 °C.



Figura 8: Compostos obtidos através da destilação destrutiva do carvão.



Fonte: Adaptado de ANDRADE (2014).

## 2.5 Processo de Destilação e Frações do Alcatrão

O alcatrão é composto por uma mistura de matérias orgânicas, cuja a separação, se dá por destilação fracionada em refinarias. Cada fração apresenta uma determinada substância e os produtos mais comuns, e de maior valor agregado, obtidos através desta divisão são o piche mole, o antraceno ou antrafen, o desinfetante, o creosoto, a nafta e o naftaleno (KERSHAW, 1993).

O fracionamento de um material, com numerosos componentes para se obter um ou mais produtos desejados, baseia-se na diferença de volatilidades destas substâncias. A máxima separação ocorre num dado estágio, quando a fase líquida e de vapor de saída estão em equilíbrio. Portanto, a destilação tem como atuante de funcionalidade, o calor, pois o vapor formado tem composição diferente da mistura original (LOPES, 2008).

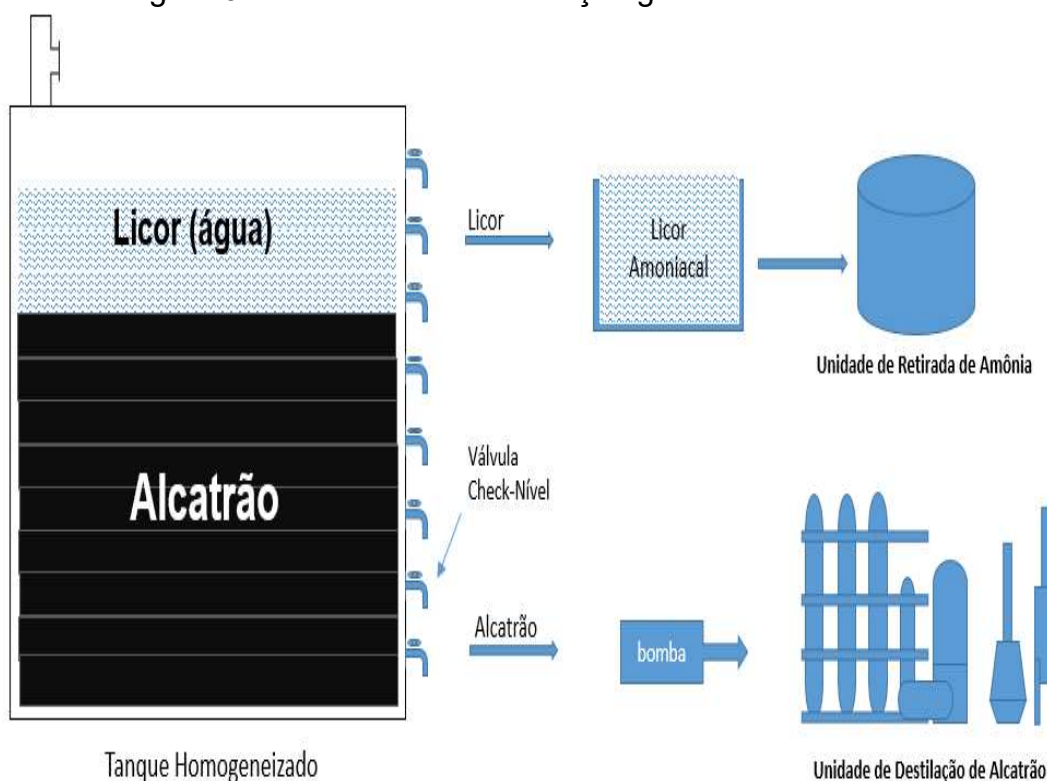
No caso do alcatrão as etapas que são formadas, recebem o nome de frações leves ou pesadas. Dependendo do ponto de ebulição da solução

condensada, ou seja, a fração pesada, é a que possui compostos com maior ponto de ebulição em relação às frações leves, com pontos de ebulição menores (YING, 2012).

Deve-se observar que, embora exista diferenças de cada destilaria de alcatrão, de forma geral, os procedimentos são análogos nos pontos mais importantes. Neste processo o alcatrão deve ser estocado a uma temperatura na qual ainda seja permissível o bombeando, sendo assim, deve estar na fase líquida, por isso os tanques de estoque devem conter aquecimento controlado (DUARTE; SAMPAIO; IBRAHIM; PENIDO, 2016; ROITMAN, 2002).

No tanque de estoque já é possível ver uma separação de parte da água do alcatrão, mas não completamente. Entretanto, a presença de água na destilação, impossibilita a extração dos produtos nas temperaturas ideais, causando problemas no sistema de bombeamento, ou até acidentes devido a sua temperatura de ebulição em aproximados 100 °C. Sendo assim, a primeira etapa do processo é de desidratação do alcatrão de acordo com a figura 9 (DUARTE; SAMPAIO; IBRAHIM; PENIDO, 2016).

Figura 9: Processo de desidratação genérico do alcatrão.

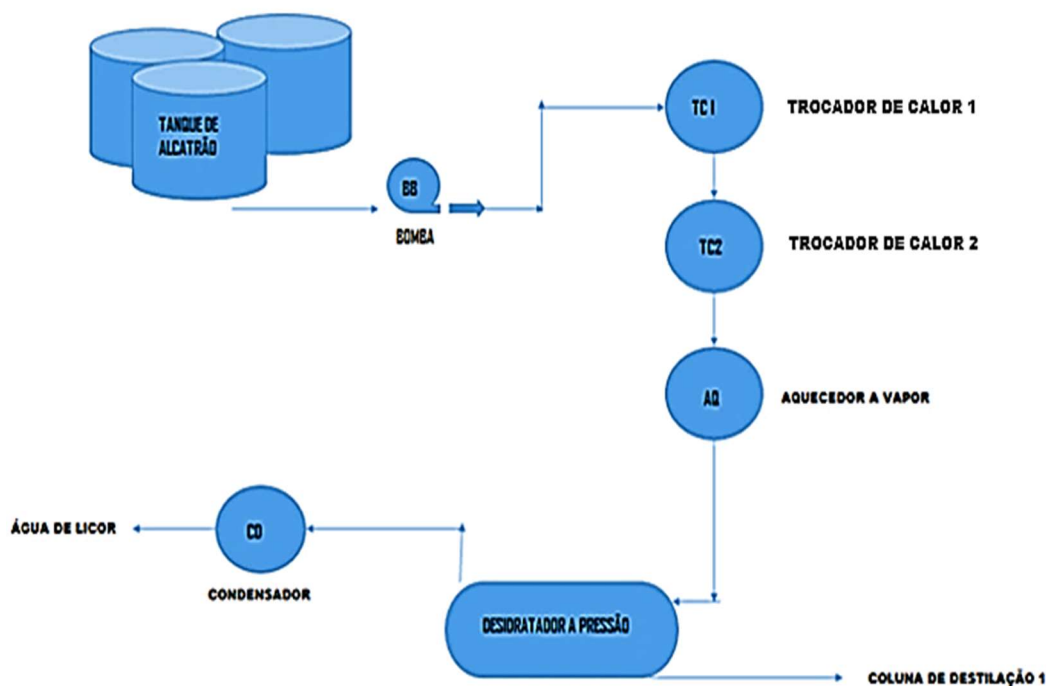


Fonte: Adaptado de DUARTE; SAMPAIO; IBRAHIM; PENIDO (2016).

Nesta fase, o bombeamento é feito de forma a levar a água para permutadores de calor, cuja função é aquecer esta fração à temperatura em torno de 150 °C, de forma a proporcionar a evaporação da água do alcatrão (ROITMAN, 2002).

Posterior a retirada da maior parte da água, o alcatrão, ainda com umidade, entra na primeira etapa que se consistiu na passagem deste material através de uma coluna de pratos (aquecedor) identificados na figura 10). Nesta fase, deve ocorrer a separação das fases do vapor d'água e do alcatrão líquido (FRANÇA, 2016).

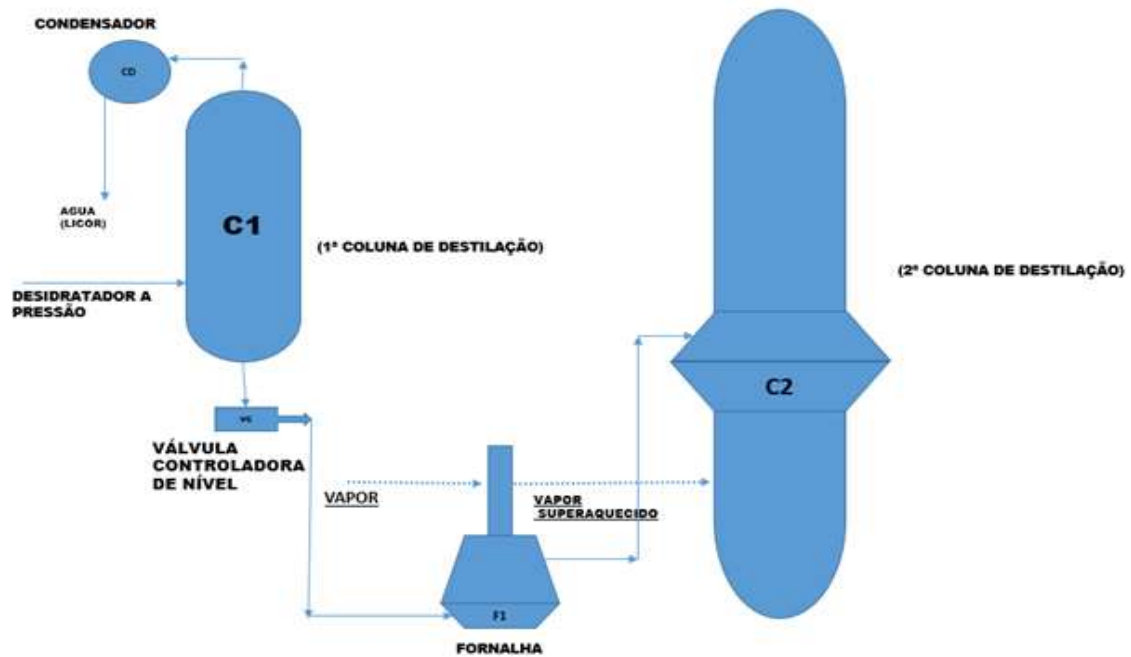
Figura 10: Retirada de umidade do alcatrão pelo desidratador.



Fonte: Adaptado de DUARTE; SAMPAIO; IBRAHIM; PENIDO (2016).

O vapor sai pelo topo da coluna, podendo ser utilizado como fluido em trocadores de calor de circuitos fechados, ou deve ser direcionado para uma estação de tratamento de efluentes, pois há óleos de baixo ponto de ebulição sendo “carregados” juntos do vapor de acordo com a figura 11 (DUARTE; SAMPAIO; IBRAHIM; PENIDO, 2016).

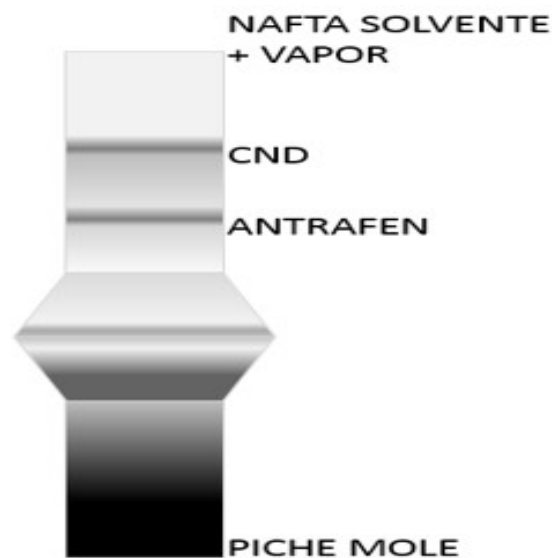
Figura 11: Processo de destilação de alcatrão.



Fonte: Adaptado de DUARTE; SAMPAIO; IBRAHIM; PENIDO (2016).

Após esse processo, o alcatrão é retirado na base e bombeado para a segunda coluna para iniciar a destilação dos subprodutos demonstrado na figura 12.

Figura 12: Produtos extraídos pela destilação destrutiva do alcatrão.

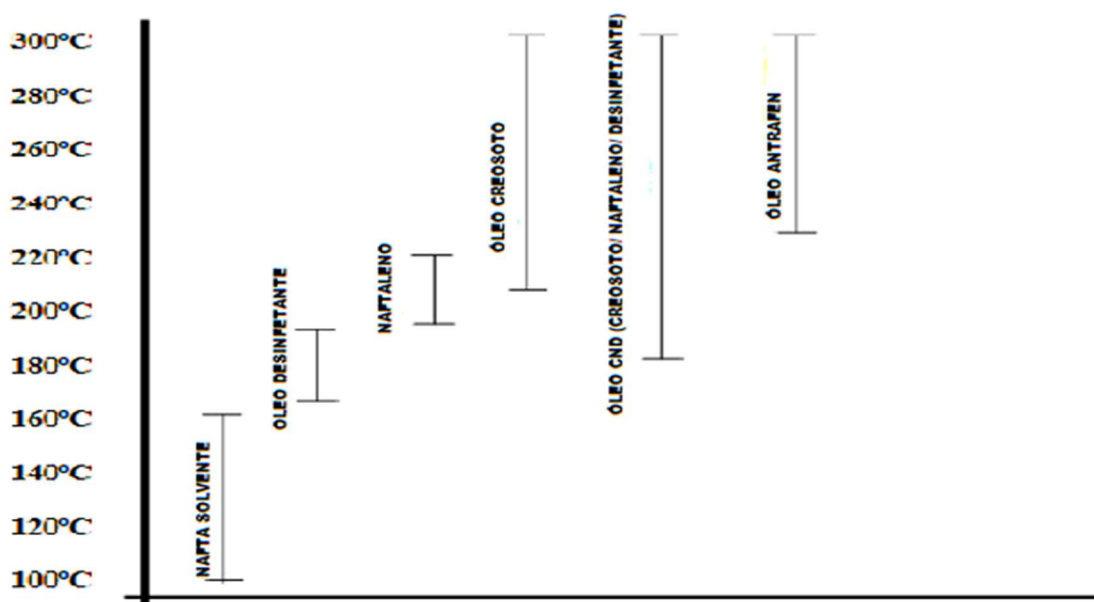


Fonte: Adaptado de DUARTE; SAMPAIO; IBRAHIM; PENIDO (2016).

Na coluna apresentada na figura 12, a temperatura é mais elevada em cerca de 350 °C, fazendo-se necessário a conexão de trocadores de calor e/ou fornalhas para melhor funcionamento (VALENTIM, 2014).

No topo, o primeiro subproduto do alcatrão de hulha extraído recebe o nome de Nafta Solvente. Nos estágios subsequentes serão obtidos os óleos CND (creosoto, naftaleno e desinfetante) e o antraceno ou antrafen até 300 °C, após esta temperatura, na base é retirado o piche mole conforme apresentado na figura 13 (FRANÇA, 2016).

Figura 13: Temperaturas dos subprodutos da destilação do alcatrão.

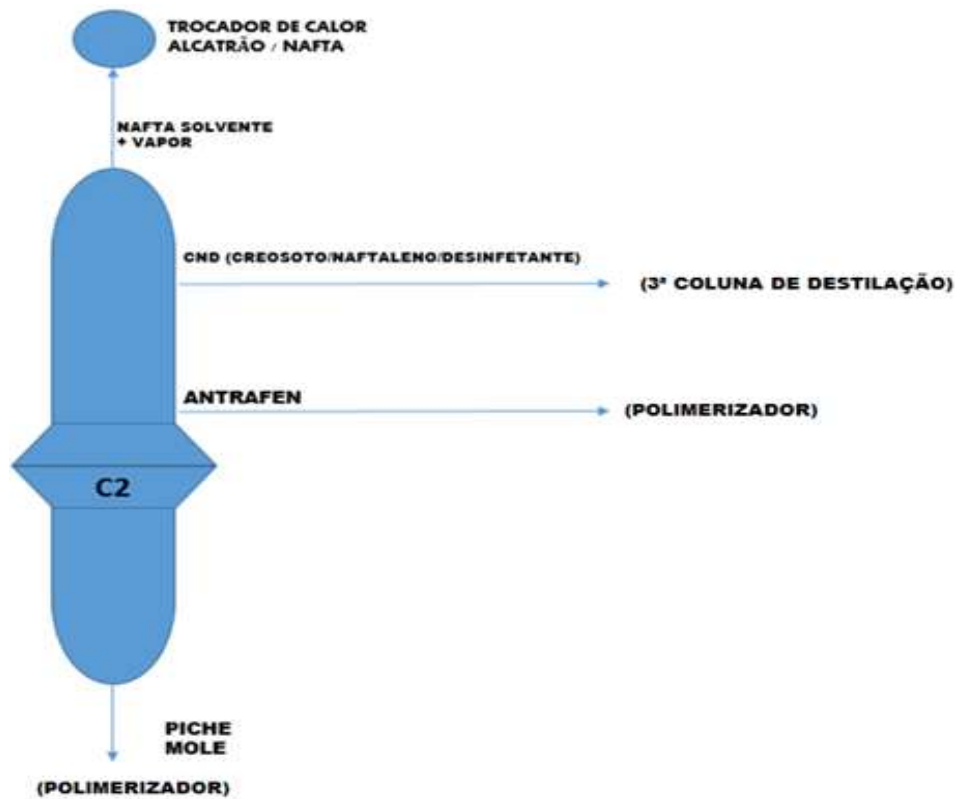


Fonte: Adaptado de DUARTE; SAMPAIO; IBRAHIM; PENIDO (2016).

Na figura 14, observa-se o fluxo de divisão dos subprodutos adquiridos na destilação, onde cada qual terá seu encaminhamento de processo para tratamento de pressão e temperatura.

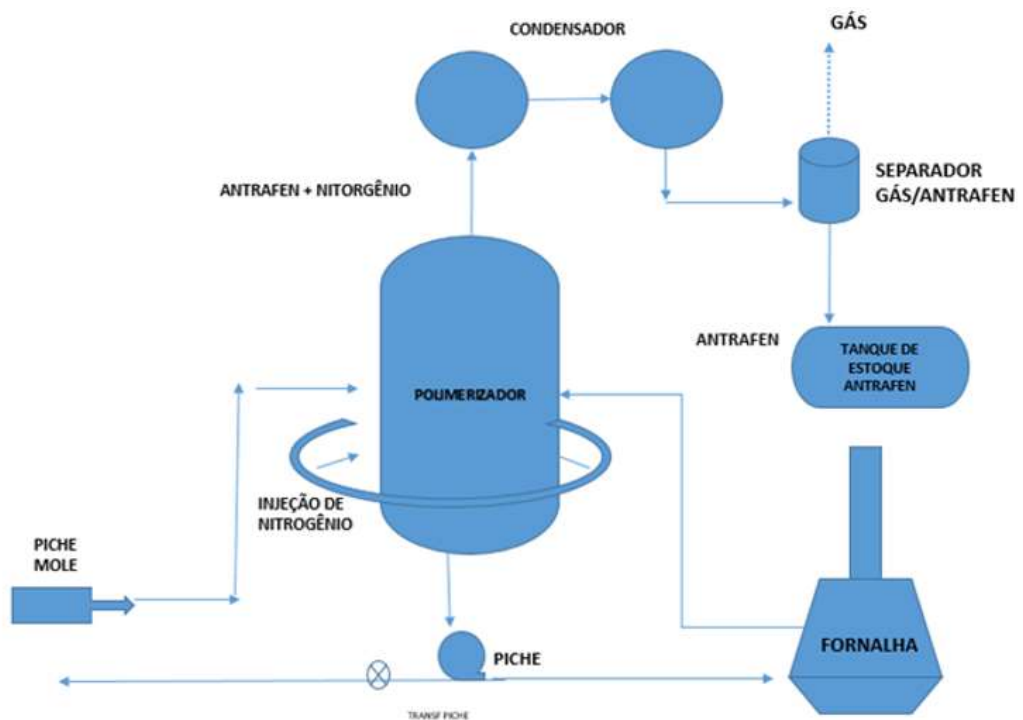
O piche é recirculado e mantido em um agitador no fundo, para homogeneização. Logo após, o mesmo é retirado e direcionado para um polimerizador, este tem como função purificar o piche, extraíndo antrafen e nafta, utilizando gás nitrogênio para auxiliar o arraste de seus vapores conforme figura 15 (VALENTIM, 2014).

Figura 14: Fluxograma de encaminhamentos dos subprodutos derivados do alcatrão.



Fonte: Adaptado de DUARTE; SAMPAIO; IBRAHIM; PENIDO (2016).

Figura 15: Processo de separação de Piche e Antraceno/Antrafen.

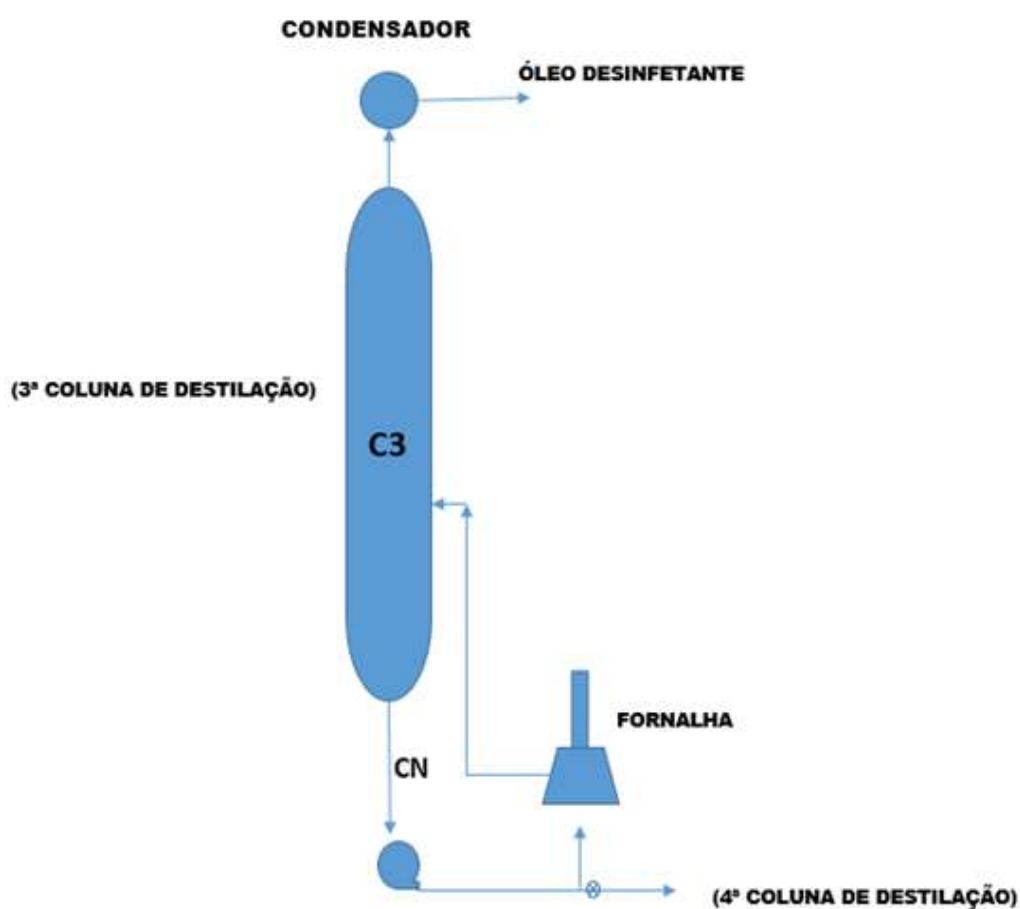


Fonte: Adaptado de DUARTE; SAMPAIO; IBRAHIM; PENIDO (2016).

Nesta etapa, o piche purificado, possui um valor agregado de aproximadamente a US\$ 2.000,00 por tonelada (estimativa em 2018) (ICHPW, 2018). Entre os anos de 2015/2016 foram produzidos 2.015.000,00 m<sup>3</sup> de piche no Brasil, tendo sido vendido no mercado externo cerca de 89,6% deste total e apenas 10,4% no mercado interno (DUARTE; SAMPAIO; IBRAHIM; PENIDO, 2016).

Entretanto, o processo de purificação inicial, continua. O creosoto, o naftaleno e o óleo desinfetante, retirados pela segunda coluna são enviados diretamente para uma terceira coluna de destilação, que deverá estar com uma faixa de temperatura entre 150 à 170 °C. Nesta etapa é extraído o óleo desinfetante no topo e estocado. Na base será retirado o Creosoto e Naftaleno (CN), que é mantido em refluxo, tendo sua temperatura elevada por permutadores de calor ou fornalhas, demonstrado na figura 16 (FRANÇA, 2016).

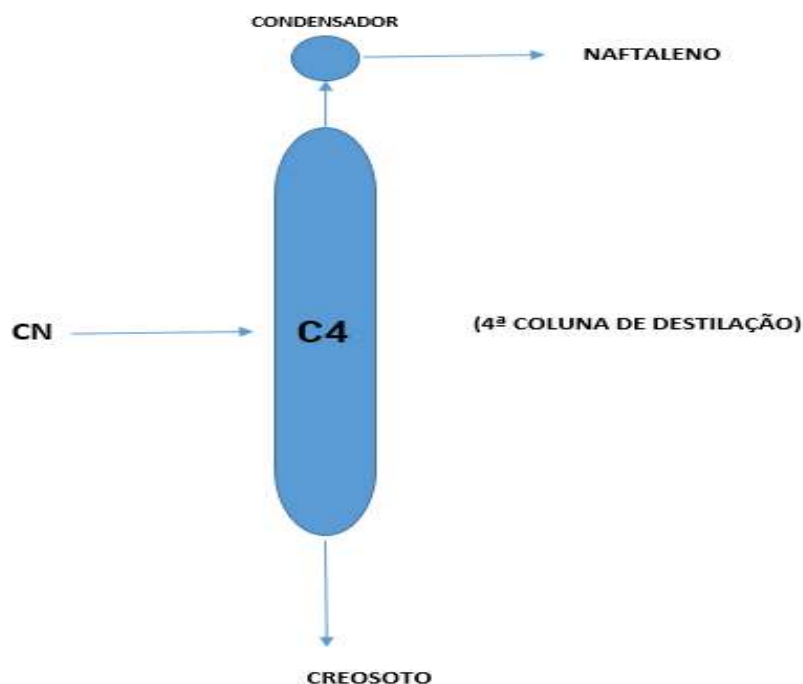
Figura 16: Processo de separação Creosoto/Naftaleno/Desinfetante.



Fonte: Adaptado de DUARTE; SAMPAIO; IBRAHIM; PENIDO (2016).

O excedente do refluxo de base de CN (Creosoto/Naftaleno) é enviado para a quarta coluna, para ser efetuada a última destilação, obtendo assim, os produtos de creosoto na base e naftaleno no topo, conforme figura 17.

Figura 17: Separação do Creosoto/Naftaleno.



Fonte: Adaptado de DUARTE; SAMPAIO; IBRAHIM; PENIDO (2016).

É possível visualizar que neste processo são necessários controles muito detalhados, pois mínimas variações de temperaturas (cerca de 1 a 2 °C) podem retirar o produto de seus índices de qualidade (FRANÇA, 2016).

As temperaturas podem variar entre as diversas destilarias, porque são extremamente ligadas à composição e à qualidade da matéria-prima (carvão/coque), não sendo possível afirmar que o alcatrão e seus subprodutos teriam as mesmas porcentagens entre seus componentes em todo lugar do mundo. Existem muitas modificações em processos, sendo necessários ajustes e constantes medições, pois é inevitável a alteração da matéria-prima (DUARTE; SAMPAIO; IBRAHIM; PENIDO, 2016).



## **2.6 Produtos Carboquímicos**

### **2.6.1 Alcatrão**

Este produto apresenta uma coloração escura e um odor forte, semelhante ao petróleo. Em temperatura ambiente ele se apresenta no estado líquido betuminoso com uma composição química extremamente rica em compostos aromáticos, tais como: hidrocarbonetos policíclicos, fenóis, Benzeno, Tolueno, Etil-benzeno e os Xilenos (BTEX), além de hidrocarbonetos alifáticos e polares (compostos oxigenados, nitrogenados e sulfurados). Grande parte desses compostos são tóxicos, sendo alguns deles cancerígenos ou mutagênicos. O alcatrão apresenta baixa solubilidade em água, sendo considerado um produto recalcitrante, ou seja, de difícil degradação (LI; et al. 2014; SILVA, 2014).

O alcatrão tem sido usado principalmente na queima em caldeiras para geração de energia, vapor, pavimentação, preenchimento de fendas, impermeabilizantes e compostos de medicamentos farmacêuticos. Quando fracionado, destila diversos subprodutos importantes aos mercados de indústrias químicas (ARCELLOR MITTAL, 2018).

### **2.6.2 Nafta Solvente**

Este produto é também conhecido popularmente como aguarrás, é utilizado como solvente na fabricação de tintas, graxas, ceras; é também como componente na formulação da terebintina. Trata-se de uma mistura de hidrocarbonetos, cuja composição química esta descrita na tabela 5 e pode variar de acordo com a produção do alcatrão.

Sua faixa de destilação está compreendida aproximadamente entre 110 °C a 162 °C, possui uma densidade máxima de 0,890 g/cm<sup>3</sup> e um ponto de fulgor de 45 °C. Durante algum tempo, esta substância teve seu uso preterido pela benzina, que é derivada do petróleo, apesar de ser um produto menos oneroso, era mais tóxico (OLIVEIRA, 2014).

Tabela 5: Composição química média da Nafta Solvente.

Composto químico	Fórmula Molecular	% dos compostos
Benzeno	$C_6H_5$	14
Tolueno	$C_5H_5 - CH_3$	18
Xileno	$C_6H_4(CH_3)_2$	23
Etil-Benzeno	$C_6H_5 - C_2H_5$	5
Estireno	$C_6H_5 - C_2H_3$	5
Outros	_____	35

Fonte: Adaptado de U.S.OIL & REFINING CO (2018).

### 2.6.3 Óleo Antraceno ou Antrafen

Consiste em um hidrocarboneto aromático policíclico, possui uma coloração castanha escura em temperatura ambiente e uma composição química variável de acordo como é produzido. Sua densidade específica mínima é de aproximadamente  $1,110 \text{ g/cm}^3$ , com um poder calorífico inferior à  $9.000 \text{ kcal/kg}$  (GONZÁLES *et al.*, 2008).

Sua aplicação é ampla, pode ser utilizado como combustível para queima em caldeiras na geração de energia a vapor para secagem de produtos finais, esterilização de tanques de estoque, além de ser matéria-prima para a fabricação de negro de fumo, protetores anti-corrosivos, antraquinona, carbazol e fenantreno demonstrado na tabela 6 (XU, 2013).

Tabela 6: Composição química média do Antraceno/Antrafen.

Composto químico	Fórmula Molecular	% dos compostos
Fenantreno	$C_{14}H_{10}$	12,5
Antraceno	$C_{14}H_{10}$	6,7
Pireno	$C_{16}H_{10}$	6,1
Fluoreno	$C_{13}H_{10}$	3,5
Carbazol	$C_{12}H_9N$	1,9
Outros	_____	69,3

Fonte: Adaptado de INDUSTRIAL QUÍMICA DEL NALÓN SA (2018).

### 2.6.4 Óleo Creosoto

O creosoto ou creosote, composto por carbonos graxos, é obtido a temperaturas a cerca de 215 a 300 °C. Este produto possui uma coloração castanha escuro, em temperatura ambiente apresenta-se no estado líquido com densidade específica mínima de aproximadamente 1,030 g/cm<sup>3</sup>. Geralmente é utilizado no tratamento de madeira, na separação de minério por densidade, absorção de óleos leves e combustível, sua composição química média se apresenta na tabela 7 (KERSHAW, 1993).

Tabela 7: Composição química média do Creosoto.

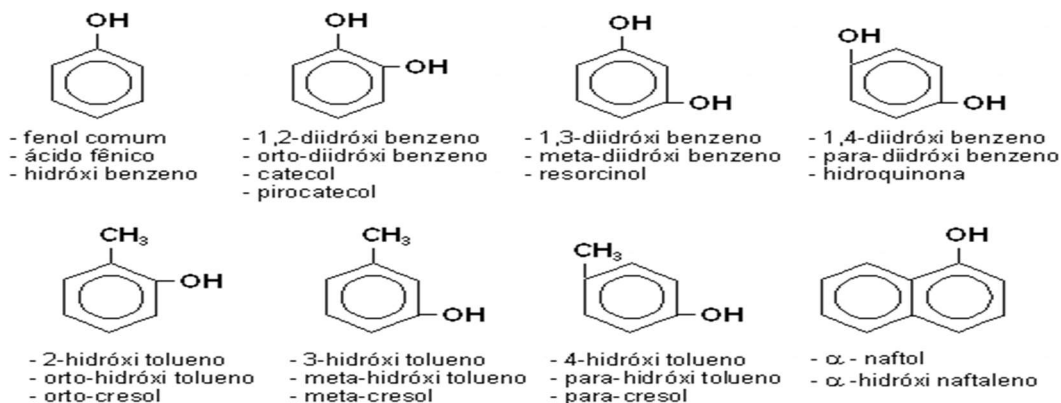
Composto químico	Fórmula Molecular	% dos compostos
Naftaleno	$C_{10}H_8$	12,5
2- Metil - Naftaleno	$C_{11}H_{10}$	6,7
1- Metil - Naftaleno	$C_{11}H_{10}$	6,1
Per-hidrofluoreno	$C_{13}H_{22}$	3,5
Fenol	$C_6H_5OH$	1,9
Outros	_____	69,3

Fonte: Adaptado de KMG CHEMICALS INC (2018).

### 2.6.5 Óleo Desinfetante

O óleo desinfetante é um composto complexo formado por multicresóis. Os cresóis, também chamados de hidroxitoluenos ou metil-fenóis, são um grupo de compostos químicos fenólicos que possuem um grupo metil substituído no anel de fenólico e podem ocorrer naturalmente ou serem manufaturados, conforme figura 18 (FRANÇA, 2016).

Figura 18: Estrutura química dos multicresóis, compostos químicos encontrados no óleo desinfetante.



Fonte: Adaptado de ULLMANN'S ENCYCLOPEDIA (2016).

Na forma pura e em temperaturas acima de 25 °C, são líquidos incolores, possuem odor forte característico, viscosidade entre 4,49 a 7,0 cP a 40 °C, densidade específica máxima de 1,025 g/cm<sup>3</sup> e composições químicas com xileno, cresol, naftaleno, benzeno, entre outros, apresentados na tabela 8.

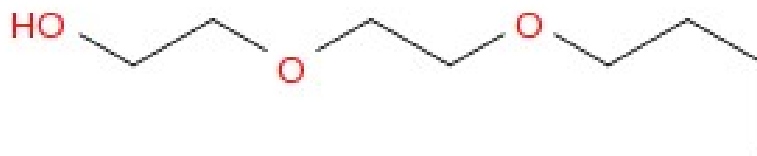
Tabela 8: Composição química média do Óleo Desinfetante.

Composto químico	Fórmula Molecular	% dos compostos
Naftaleno	$C_{10}H_8$	17
Indeno	$C_9H_8$	32
Indano	$C_9H_{10}$	7
Meta-Cresol	$C_7H_8O$	5
Para-Cresol	$C_7H_8O$	9
Orto-Cresol	$C_7H_8O$	4
Fenol	$C_6H_5OH$	5
2-(2-butoxi) etanol	$C_8H_{18}O_3$	3
Benzeno	$C_6H_6$	0,04
Outros	_____	17,96

Fonte: Adaptado de BIORACIONALES DE COLOMBIA SAS (2018).

Uma das principais substâncias químicas encontradas na composição do óleo desinfetante é o “etanol” 2-(2-butoxi) etan-1-ol, muito utilizado para fabricação de Creolina demonstrado na figura 19.

Figura 19: Estrutura química do 2-(2-butoxietoxi) etanol , componente químico encontrado no óleo desinfetante.



Fonte: Adaptado de ULLMANN'S ENCYCLOPEDIA (2016).

São utilizados como matéria-prima para a fabricação de desinfetantes, inseticidas, fenol refinado, cresóis, xilenos, aditivos de polímeros e como óleo para lavagem de tanques e tubulações (CSN, 2018).

### 2.6.6 Piche

Obtém-se o piche pela destilação de alcatrão de carvão de alta temperatura (acima de 300 °C até aproximadamente 355 °C). Esta mistura de hidrocarbonetos aromáticos que possuem três ou mais anéis condensados descritos na tabela 9, apresenta-se como um sólido de coloração negra, com um ponto de amolecimento que varia entre 30 °C a 180 °C. É utilizado para produção de pasta anódica e catódica para indústria de ferro ligas de alumínio e síntese de pavimentação (VALENTIM, 2014).

Tabela 9: Composição química média do Piche.

Composto químico	Fórmula Molecular
Fenantreno	$C_{14}H_{10}$
Antraceno/Antrafen	$C_{14}H_{10}$
Pireno	$C_{16}H_{10}$
Carbazol	$C_{12}H_9N$
Benzopireno	$C_{20}H_{12}$
Outros	—

Fonte: Adaptado de KOOPER CARBON & CHEMICAL CO (2018).

### 2.6.7 Naftaleno

O naftaleno ou naftalina é um hidrocarboneto aromático, sua molécula é formada por dois anéis benzênicos condensados. Possui a fórmula molecular  $C_{10}H_8$ , demonstrada na tabela 10. Em temperatura ambiente é incolor, apresenta ponto de fusão de 80 °C; ponto de ebulição de 218 °C; ponto de inflamabilidade de 80 °C; temperatura de ignição de 540 °C; limites de explosividade de 0,9 a 5,9%; pressão de vapor em 20 °C de 0,08 hPa e densidade à 20 °C de 1,15 g/cm<sup>3</sup>. É utilizado como matéria-prima para a fabricação de anídrico ftálico, corantes, explosivos, produtos farmacêuticos, inseticidas, dentre outros (VIEIRA, 2018).

Tabela 10: Composição química média do Naftaleno.

Composto químico	Fórmula Molecular	% dos compostos
Naftaleno	$C_{10}H_8$	96
Outros	_____	4

Fonte: Adaptado de CONTROL LAB PRODUTOS QUÍMICOS LTDA (2018).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para atender aos objetivos propostos neste estudo foi desenvolvida partindo-se de recursos já existentes para purificar alcatrão de hulha. Nessa perspectiva, foi feito um estudo para analisar e comparar os resultados obtidos com os do produto *in natura*, assim, foi possível identificar o melhor processo que viabilize a comercialização, assim como sua utilização na indústria carboquímica.

#### 3.1 MATERIAIS

##### 3.1.1 Alcatrão de Hulha

As análises comparativas realizadas neste trabalho utilizando o alcatrão, sua origem é do carvão mineral, foi adquirido na empresa MFR Ltda, localizada na cidade de Vargem Grande do Sul/SP. Este produto apresenta características e valores de qualidade para relacionar conformidade do material, listadas na tabela 11.

Tabela 11: Valores de qualidade de comercialização do alcatrão de hulha.

Análises	Valores de qualidade
Teor de Umidade	2,20% (máx.<5%)
Massa Específica	1,170 (g/cm <sup>3</sup> )
IQ - Insolúvel em Quinolina	2,0%
IT - Insolúvel em Tolueno	7,05%(máx.<15%)
Destilação Fracionada até 300 °C	25%
Destilação Fracionada 300C ~ 355 °C	15%
Destilação Fracionada > 355 °C	60%

Fonte: MFR LTDA (2018).

##### 3.1.2 Óleo Desinfetante

O óleo desinfetante utilizado no desenvolvimento deste trabalho, foi adquirido da empresa Quiminvest Indústria e Comércio LTDA, localizada em

Porto Real/RJ, apresenta valores de umidade inferiores a 4,0% e densidade específica em cerca de 1,02 g/cm<sup>3</sup> com especificações de qualidade e conformidade descritas pela tabela 12.

Tabela 12: Valores de qualidade de comercialização do óleo desinfetante.

Análises	Valores de qualidade
Teor de Umidade	4,0% máx.
Densidade Específica	1,025 g/cm <sup>3</sup>

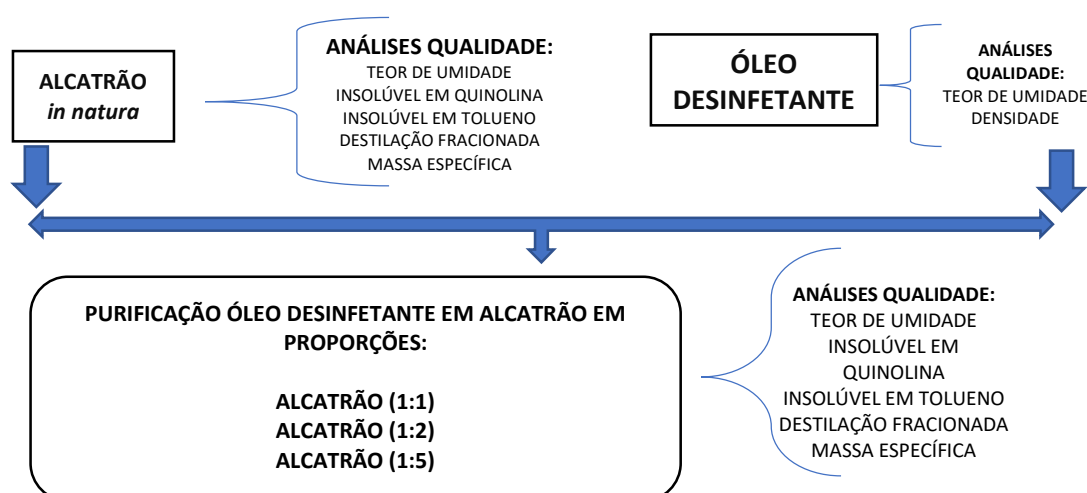
Fonte: QUIMINVEST INDUSTRIA E COMERCIO LTDA (2018).

### 3.2 MÉTODOS

Os métodos e procedimentos adotados visaram atingir os objetivos propostos de forma a eliminar ou mitigar impurezas do alcatrão, identificando suas propriedades físico-químicas e observando as alterações que ocorreram com a adição de óleo desinfetante em várias porcentagens.

O fluxograma ilustrado (Figura 20) descreve um esquema geral simplificado de todas as etapas desenvolvidas neste trabalho.

Figura 20: Fluxograma da metodologia empregada neste trabalho.



Fonte: Autor (2020).



### 3.2.1 Método de purificação

Esse método foi utilizado para separação de líquidos imiscíveis, expondo-os a uma decantação através da mistura mecânica, utilizando um funil de separação ou funil de bromo nas proporções de 50% a 50% (1:1), 66% a 34% (1:2) e 80% a 20% (1:5), do alcatrão e óleo desinfetante, respectivamente.

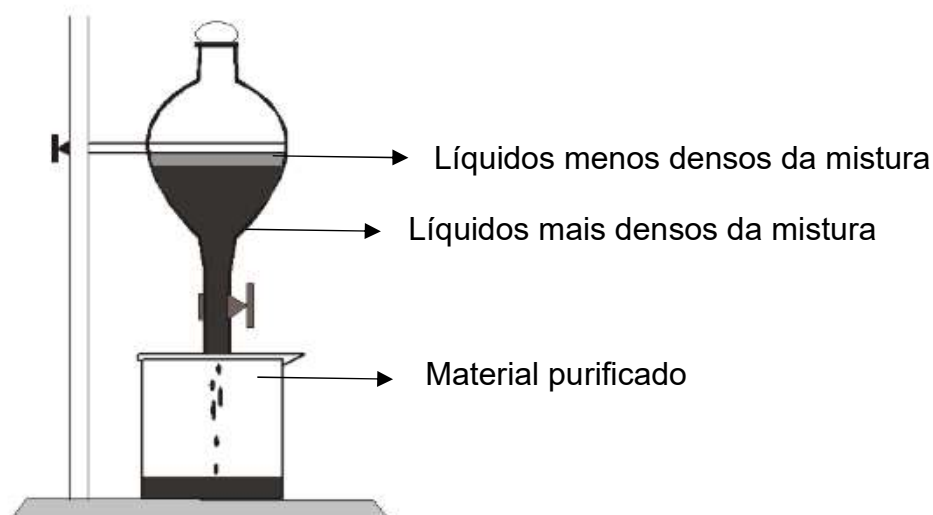
Todo procedimento foi realizado no Laboratório de Caracterização do Centro Universitário de Volta Redonda, UniFOA.

Após a mistura, o funil foi agitado por 20 minutos e deixado em repouso na garra universal, em posição vertical por 60 minutos, para que houvesse separação das fases.

Na sequência, foi vertido os 50 mL iniciais em um béquer que são descartados, visando retirar possíveis contaminações provenientes de materiais sólidos (resíduo de coque, contidos no alcatrão *in natura*).

Das fases restantes, apenas a parte mais densa (que contém o alcatrão) foi aproveitada para análise, da fase menos densa, ficaram retidas frações que não se misturam completamente ao alcatrão demonstrado na Figura 21.

Figura 21: Esquema do processo de decantação realizado neste trabalho.



Fonte: Autor (2020).

### 3.3 Análises de qualidade

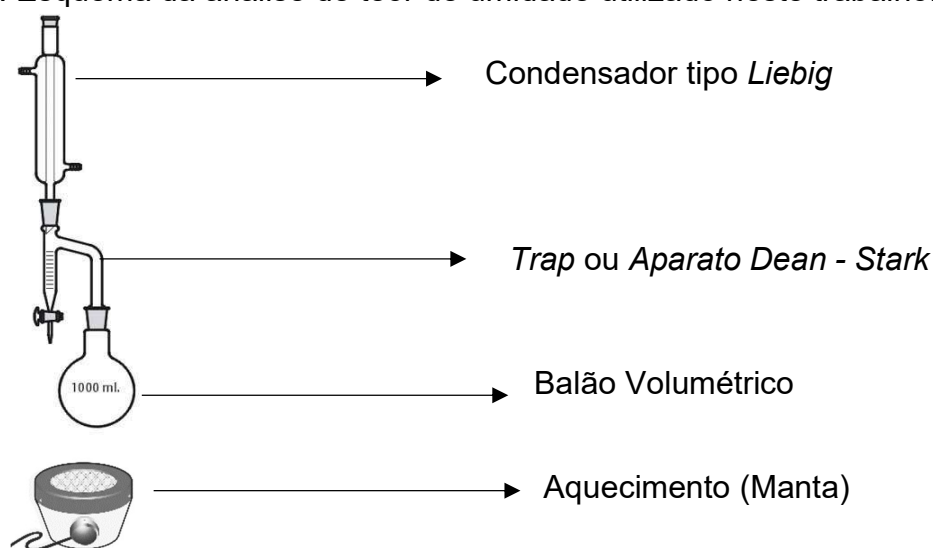
#### 3.3.1 Teor de umidade

Esta análise consistiu em determinar a porcentagem de água (umidade) em produtos betuminosos e seus derivados. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais Carbonosos da Universidade Estadual Paulista (UNESP/FEG), que fica localizada em Guaratinguetá/SP.

As vidrarias utilizadas neste processo consistiram em um balão volumétrico de vidro de fundo redondo de 1000 mL, um receptor *Trap* ou *Aparato Dean – Stark* de destilação graduado, um condensador reto tipo *Liebig* e uma manta aquecedora analógica 220W.

No balão volumétrico foram adicionados 5 mL do material a ser analisado (alcatrão ou óleo desinfetante), com 100 mL de reagente de arraste (toluol), e montado o sistema conforme figura 22.

Figura 22: Esquema da análise de teor de umidade utilizado neste trabalho.



Fonte: Autor (2020).

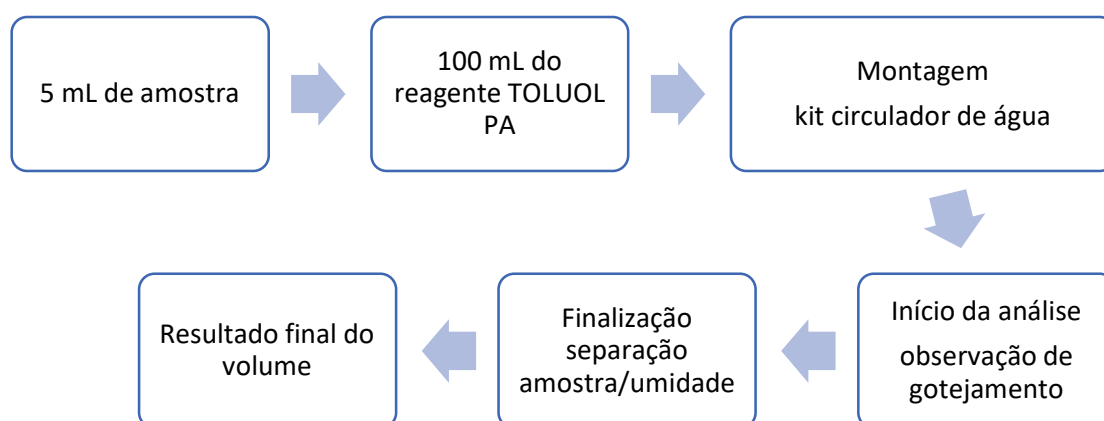
Com o decorrer do processo a água contida no sistema evapora, se condensando na parte fria do sistema, escorrendo, de forma que a mesma fica retida no *trap*. O volume resultante foi então medido e aplicado na equação (1). Todo processo pode ser melhor visualizado na figura 23.

$$\% \text{ umidade} = \frac{V_2}{V_1} \times 100 \quad (1)$$

Onde:  $V_1$  = volume inicial da amostra, expresso em mL

$V_2$  = volume final, expressa em mL

Figura 23: Fluxograma de determinação do teor de umidade.



Fonte: Adaptado da ASTM D95 (2013).

### 3.3.2 Insolúvel em Quinolina

Esta análise teve como objetivo determinar a porcentagem de matéria insolúvel em quinolina (IQ), contabilizando impurezas contidas no alcatrão que consiste em finas partículas de coque, fuligens, fragmentos de refratários e outros materiais particulados, oriundos do processo de coqueificação do carvão.

Esta análise quantitativa, foi baseada nas normas *ASTM D2318/15 Standard Test Method for Quinoline-Insoluble (IQ) Content of Tar and Pitch* e ABNT NBR 13924/97 (Piche — Determinação de insolúvel em quinolina [IQ]) — Método gravimétrico.

No procedimento foi utilizado um banho-maria industrial, uma estufa em 100 °C ambos da marca Quimis, um dessecador e uma balança analítica modelo 210G, ambos da marca Weblabor.

O processo constituiu na pesagem de 3 g da amostra alcatrão (M) em um béquer de 100 mL. A este reagente foi acrescentado 0,5 g de Celite, também conhecida como Terra de Diatomácea ou Diatomito (C1).

A celite é uma sílica cristalina, utilizada em ensaios de filtração analítica, uma vez que suspende as partículas contidas no sistema, facilitando a filtração (ATUI; LAZZARI, 2003; FINQUÍMICA, 2018).

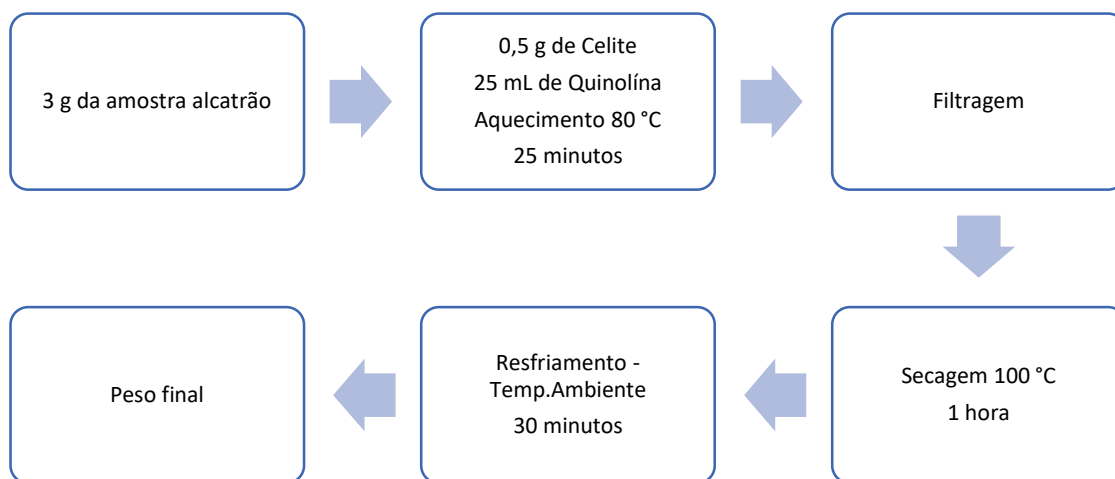
Em seguida, foi adicionado 25 mL de quinolina e agitado com bastão de vidro para homogenizar a mistura, todo sistema foi colocado em aquecimento no banho-maria a 80 °C por 25 minutos.

Posteriormente a amostra foi filtrada em papel de filtro quantitativo, sendo o peso do papel registrado (C2). Na sequência o material foi seco em estufa, com temperatura próxima a 100 °C durante uma hora. Após seca, a amostra foi resfriada em um dessecador durante 30 minutos e pesada (C3).

Os cálculos foram feitos de acordo com a equação 2 e apresentados os passos conforme a figura 24.

Esta análise foi realizada no Laboratório de Materiais Carbonosos da Universidade Estadual Paulista (UNESP FEG), localizada em Guaratinguetá/SP.

Figura 24: Fluxograma de determinação de insolúvel em quinolina .



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 13924 (1997).

$$\%teor\ de\ quinolina = \frac{(C3 - C2 - C1)}{M} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- M – massa de alcatrão (g)
- C1 – massa de reagente celite (g)
- C2 – massa papel de filtro antes da filtração(g)
- C3 – massa final (g)

### 3.3.3 Insolúvel em Toluol

Neste ensaio foi apresentado a porcentagem de matéria insolúvel em toluol, pelo método de análise baseado na norma ABNT NBR 13925/97 — Determinação de insolúvel em tolueno (IT), que quantifica as impurezas no alcatrão e no piche, sendo um parâmetro necessário para verificação da quantidade de resina beta.

A resina beta é um fator importante para identificar o poder aglomerante do alcatrão e posteriormente do piche, subproduto utilizado para fabricação de pasta anódica na produção do alumínio, sendo calculada pela diferença entre o IT (Insolúvel em toluol) e o IQ (Insolúvel em quinolina) (equação 3) (LEVY NETO; PARDINI, 2016).

Esta análise foi realizada no Laboratório de Materiais Carbonosos da Universidade Estadual Paulista (UNESP FEG), localizada em Garatinguetá/SP.

$$\text{resina beta (\%)} = IQ(\%) - IT(\%) \quad (3)$$

Onde: IQ – Insolúvel em quinolina (%)  
IT – Insolúvel em toluol (%)

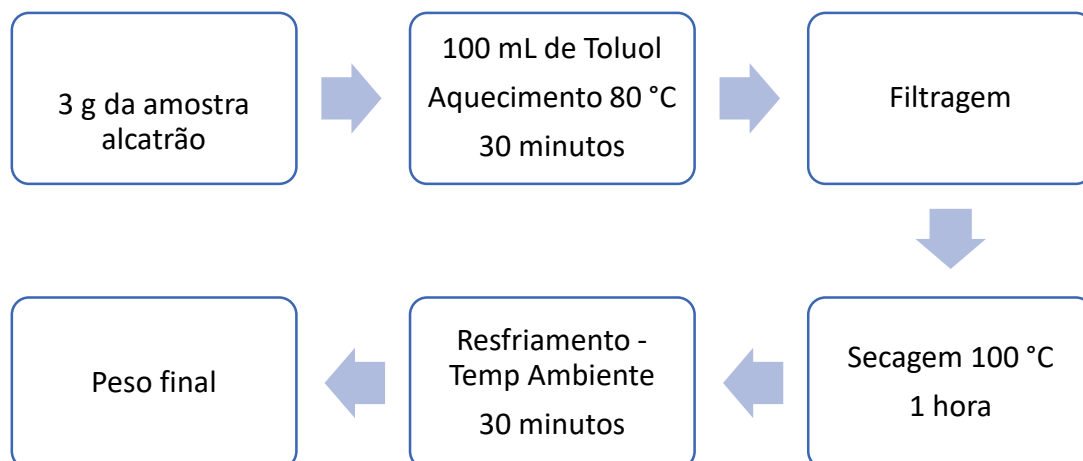
O equipamento utilizado foi o banho-maria industrial, uma estufa de secagem, ambos da marca Quimis, dessecador e uma balança analítica modelo 210G, ambos da marca Weblabor.

O processo consistiu na pesagem de 3 g da amostra alcatrão (M) em um Erlenmeyer de 100 mL. A este volume foi adicionado 100 mL de toluol e o conjunto foi aquecido em uma manta térmica acoplada ao condensador recirculador de água por 30 minutos.

A amostra quente foi filtrada por papel de filtro (C1), após processo de filtração, o papel com amostra foi deixado na estufa em uma temperatura de 100 °C durante uma hora.

Em seguida a amostra retirada da estufa foi resfriada em um dessecador, durante 30 minutos e realizado a pesagem final (C2). Os cálculos foram feitos de acordo com a equação 4 e apresentados os passos em figura 25.

Figura 25: Fluxograma de determinação de insolúvel em toluol.



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 13925 (1997).

$$\% \text{teor de toluol} = \frac{(C2-C1)}{M} \times 100 \quad (4)$$

Onde: M – massa de alcatrão (g)

C1 – massa papel de filtro antes da filtração (g)

C2 – massa final (g)

### 3.3.4 Destilação Fracionada

Trata-se de uma análise laboratorial, realizada em líquidos que possuem mistura homogênea.

A amostra é aquecida em um balão de destilação e o material com menor ponto de ebulição passa para o estado gasoso, sendo carregado para o condensador, onde retornado para estado líquido, sendo separado da mistura original.

Estes ensaios foram baseados na norma ASTM D246/04a – *Standard Test Method for Distillation of Creosote and Creosote-Coal Tar Solutions*, ASTM E1405/98 — *Standard Specification for Laboratory Glass Distillation Flasks* e ASTM E438/92 — *Standard Specification for Glasses in Laboratory Apparatus*.

As temperaturas de aquecimento foram determinadas de acordo com as frações estabelecidas, sendo de 0 à 300 °C, e de 300 °C à 355 °C, depois da

última faixa de temperatura (355 °C), o que restou no balão volumétrico, ou seja, o que não foi destilado, foi considerado como rejeitos ou borra de alcatrão.

Esta análise foi realizada no Laboratório de Materiais Carbonosos da Universidade Estadual Paulista (UNESP/FEG), localizada em Guaratinguetá/SP.

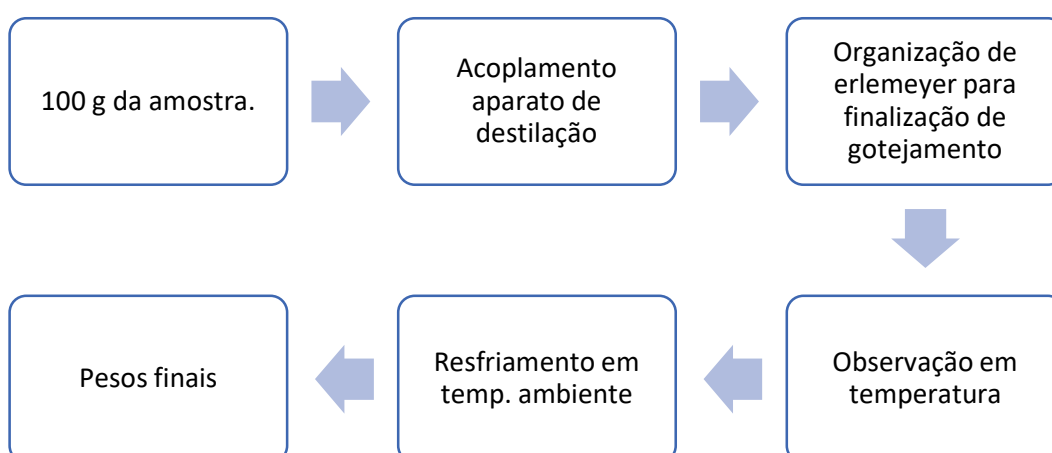
Para proceder a destilação em um balão volumétrico de 1000 mL, foi pesado 100 g da amostra (M). Posteriormente, o conjunto balão/amostra, foi acoplado a uma coluna fracionada que possui, no topo do bulbo, um termômetro. Este sistema foi então conectado a um condensador reto com alonga para receber o destilado.

Para quantificar o condensado, dois Erlenmeyers de 100 mL foram pesados (A2), para cada uma das frações (0 °C a 300 °C e 300 °C a 355 °C) respectivamente.

O balão volumétrico foi aquecido, até chegar nas temperaturas estabelecidas e foi retirado o destilado em cada um dos receptores. Após a finalização da análise todas as amostras foram resfriadas em temperatura ambiente e o conjunto erlemeyer/amostra foram pesados (A1).

A análise foi realizada de acordo com os passos destacados no fluxograma da figura 26.

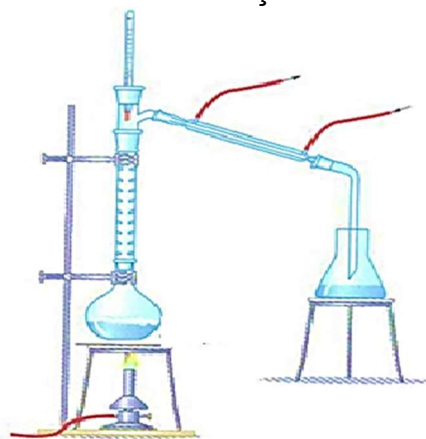
Figura 26: Fluxograma de determinação da destilação fracionada.



Fonte: Adaptado da ASTM D246 (2004).

Todo resultado foi calculado de acordo com a equação 5 e o esquema utilizado para esta análise pode ser observado na figura 27.

Figura 27: Esquema da análise de destilação fracionada utilizado neste trabalho.



Fonte: PAVIA, LAMPMAN, KRIZ, ENGEL (2015).

$$\%(destilação) = A1 - A2 \times 100 \quad (5)$$

Onde: A1 é massa de fração destilada (Erlenmeyer pesado após análise em g)

A2 é massa de fração destilada (Erlenmeyer pesado vazio em g)

### 3.3.5 Massa Específica por picnômetro

Massa específica ( $\mu$ ) é uma propriedade física que resulta da divisão da massa compacta de uma substância, pelo volume que ela ocupa. Esta análise foi realizada baseada a norma ABNT NBR 7148:2013 Versão Corrigida: 2014 - Petróleo e derivados de petróleo — Determinação da massa específica/densidade relativa e °API (American Petroleum Institute). Todo o procedimento foi realizado no Laboratório de Materiais Carbonosos da Universidade Estadual Paulista (UNESP/FEG), localizado em Guaratinguetá/SP.

Ao iniciar o processo foi necessário limpar, secar e pesar o picnômetro (A), que é preenchido com água destilada ou deionizada, fechado e pesado novamente (B).

Posteriormente a amostra de alcatrão foi aquecida até ficar suficientemente fluída para escoar. Neste ponto, cerca de 1g deste material foi

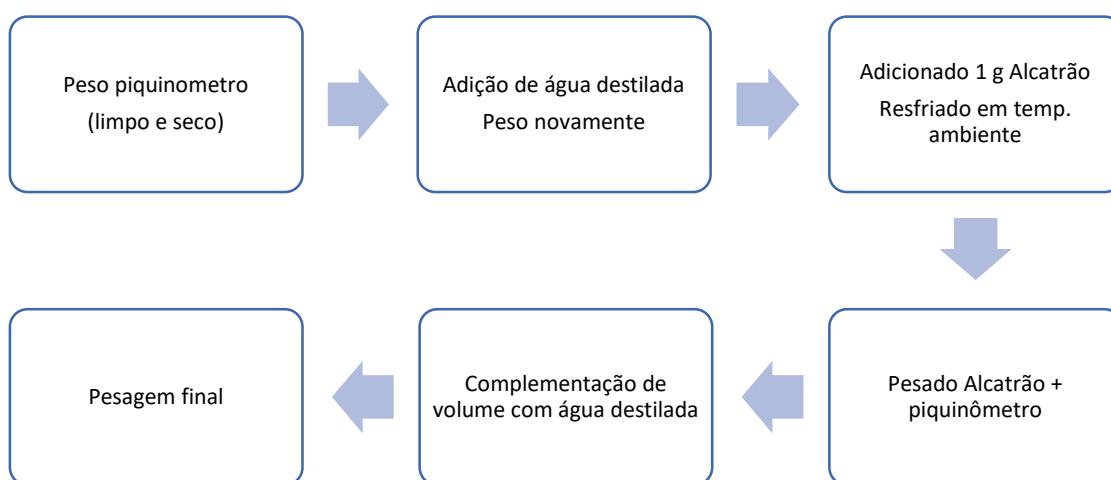


inserido no picnômetro limpo e seco, com descanso de aproximadamente 40 minutos, o conjunto foi pesado (C).

Após pesagem, completou-se o volume do picnômetro com água destilada, tampando o conjunto e pesando novamente (D).

Para análise de alcatrão foi realizado conforme o fluxograma apresentado na figura 28 a uma temperatura ambiente próximos de 20 °C.

Figura 28: Fluxograma de determinação de massa específica para alcatrão.



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7148 (2014).

O cálculo desta análise foi determinado pela seguinte fórmula, apresentada na equação 6:

$$\text{Massa Específica } (\mu) = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (6)$$

Onde: A = massa do picnômetro vazio com tampa, expresso em g

B = massa do picnômetro cheio com água, expressa em g

C = massa do picnômetro parcialmente cheio com amostra, expressa em g

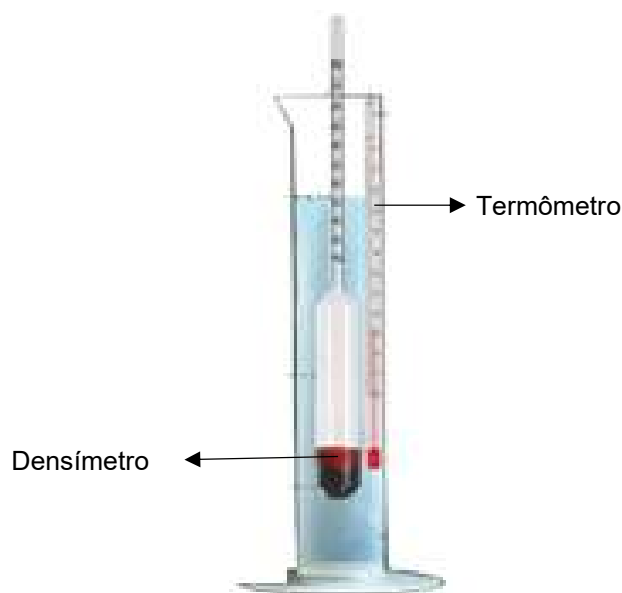
D = massa do picnômetro com amostra e água, expresso em g

### 3.3.6 Densidade específica

A análise do óleo desinfetante foi realizado baseado na norma ASTM D368: 89 — *Standard Test Method for Specific Gravity of Creosote and Oil-Type Preservatives*. Todo processo foi realizado no Laboratório de Caracterização do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA.

Utilizando uma proveta de 1.000 mL foi adicionado óleo desinfetante até um nível que permita a flutuação do densímetro conforme figura 29.

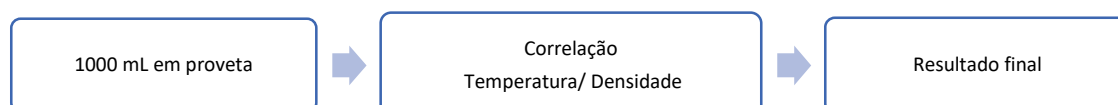
Figura 29: Esquema da análise de densidade no óleo desinfetante utilizado neste trabalho.



Fonte: Adaptado da ASTM D368 (1989).

A temperatura e a densidade foram anotadas simultaneamente e ambos valores foram submetidos a um fator de correção normativo tabelado (anexo 10) para obter os dados finais apresentado na figura 30.

Figura 30: Fluxograma de determinação de densidade para óleo desinfetante.



Fonte: Adaptado da ASTM D368 (1989).

Todos os ensaios quantitativos foram realizados sob as mesmas condições de operação, climatização e as mesmas categorias de instrumentação.

Para apresentar a dispersão dos resultados, todas as amostras foram analisadas em triplicata, foi calculada a média entre as amostras, o desvio padrão entre elas e o coeficiente de variação. A realização de experimentos em triplicata é recomendada para ensaios analíticos, sendo um cálculo aceitável entre a precisão e o trabalho. O valor médio da triplicata (Equação 7) é a melhor estimativa do teor do analito na amostra, enquanto o desvio padrão é a estimativa do erro experimental em uma determinação.

$$\mu = \frac{\Sigma x}{3} \quad (7)$$

Onde:  $\mu$  = Média aritmética

$\Sigma x$  = Somatório das amostras

3 = Triplicata

Com um conjunto de dados, foi realizado o cálculo da variância sendo esta uma medida de dispersão que mostra o quão distante cada valor desse conjunto está do valor central (médio), sendo considerado todos os elementos da população e não apenas de uma amostra (Equação 8).

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \mu)^2}{N} \quad (8)$$

Onde:  $\sigma^2$  = Variância populacional

$\Sigma x_i$  = Somatório de todos os elementos

N = Número de elementos da população

$\mu$  = Média populacional

Com os valores de variância, foi calculado o desvio padrão, sendo este capaz de identificar o “erro” em um conjunto de dados, podendo ser apresentado o quão “confiável” é o valor da média aritmética, sendo apresentado pela equação 9.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (\pm) \quad (9)$$

Onde:  $\sigma$  = Desvio padrão

$\sigma^2$  = Variância populacional

Para expressar a precisão e a repetitividade das análises, foi calculado o coeficiente de variação, expresso em porcentagem, sendo definido como a razão do desvio padrão ( $\sigma$ ) e pela média aritmética ( $\mu$ ) (Equação 10).

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100 (\%) \quad (10)$$

Onde: CV = Coeficiente de variação expresso em porcentagem (%)

$\sigma$  = Desvio padrão relacionado a cada análise

$\mu$  = Média aritmética

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizadas as seguintes análises de qualidade do alcatrão *in natura* e suas frações acondicionadas com óleo desinfetante: umidade, massa específica por picnometria, insolúvel em quinolina, insolúvel em toluol e destilação fracionada.

Em seguida os resultados foram comparados para verificar a influência de melhoria após o processo de purificação com a finalidade de estimar de forma melhora a qualidade do produto, aumentando assim o valor comercial.

### 4.1 Resultados de qualidade

#### 4.1.1 Resultados do Alcatrão de Hulha *In Natura*

A tabela 13, apresenta os valores do alcatrão *in natura* em seu estado inicial de fabricação o qual foi utilizado neste estudo.

Tabela 13: Estudo estatístico do alcatrão de hulha *in natura*.

Análises	Média Obtida	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
Teor de Umidade (%)	4,8	0,152 (±)	3,205 (%)
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	1,150	0,002 (±)	0,181 (%)
IQ - Insolúvel em Quinolina (%)	8,6	0,152 (±)	1,783 (%)
IT - Insolúvel em Tolueno (%)	13,5	0,208 (±)	1,546 (%)
Destilação 300 °C (%)	31,7	0,116 (±)	0,365 (%)
Destilação 300 °C ~ 355 °C (%)	10,9	0,058 (±)	0,531 (%)
Destilação > 355 °C (%)	57,4	0,200 (±)	0,348 (%)

Fonte: Autor (2020).

De acordo com a tabela 13, o estudo estatístico apontou que não houve variação relevante entre as amostras analisadas em triplicata. Assim, pode-se estimar que as amostras permaneceram estáveis.

A tabela 14 apresenta o comparativo entre os valores de qualidade de comercialização do alcatrão de hulha e as médias obtidas neste estudo.

Tabela 14: Valores de qualidade do alcatrão de hulha *in natura*/valores obtidos.

Análises	Valores de Qualidade	Valores Obtidos
Teor de Umidade (%)	2,20 (máx. <5%)	4,8
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	1,170	1,150
IQ - Insolúvel em Quinolina (%)	2,0	8,6
IT - Insolúvel em Tolueno (%)	7,05(máx. 15%)	13,5
Destilação 300 °C (%)	25	31,7
Destilação 300 °C ~ 355 °C (%)	15	10,9
Destilação > 355 °C (%)	60	57,4

Fonte: Autor (2020).

No alcatrão *in natura* as análises de teor de umidade apresentaram valores muito próximos ao limite da especificação máxima exigida (5%). As análises de massa específica apresentaram resultados dentro do limite especificado.

A determinação de insolúvel em toluol com 13,5%, está próximo ao limite permitido em especificações de qualidade (máx. 15%).

O insolúvel em quinolina foi identificado um teor de 8,6%, sendo este um valor extremamente alto, comparando com seu limite máximo de exigência (2,0%).

As frações de destilação apresentaram homogenização entre os ensaios laboratoriais, sendo o coeficiente de variação entre (0,3 a 0,5%), *vide* tabela 13. A primeira destilação, indicando a porcentagem de subprodutos de fração leve (nafta e óleos betuminosos) estavam acima do limite de qualidade estabelecido para comercialização (25%), apresentando em análise (31,7%).

A segunda fração, que indica a porcentagem de piche, encontrou-se abaixo da sua especificação, devendo ser obtido até 15%, sendo em análise, encontrado 10,9%.

Na terceira faixa de destilação, consiste na quantidade de alcatrão que não foi destilado, sendo este denominado de borra de alcatrão, em seu critério de qualidade é considerado aceitável o limite máximo de 60,0%, sendo em análise identificado 57,4%.

De forma geral, o material utilizado nesse estudo não estava dentro das especificações de qualidade exigida para a comercialização, com valores altos comparados aos especificados em literatura.

#### 4.1.2 Resultados do Óleo Desinfetante

Os valores referentes ao óleo desinfetante utilizado para realizar o processo de purificação neste estudo, estão representados na tabela 15.

Tabela 15: Valores das análises do óleo desinfetante.

Análises	Média Obtida	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
Teor de Umidade (%)	2,0	0,173 (±)	0,866
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,992	0,001 (±)	0,101

Fonte: Autor (2020).

A análise de umidade apresentou uma média de 2,0%, com um coeficiente variando em aproximados 0,866% entre as amostras obtidas. A densidade mostrou-se homogênea, com um resultado de 0,992 g/cm<sup>3</sup> e um coeficiente de variação em aproximados 0,1%.

A tabela 16, identifica a conformidade do produto em seus parâmetros de especificação de qualidade, ditados pela literatura de comercialização e apto para ser utilizado no desenvolvimento de purificação do alcatrão de hulha.

Tabela 16: Valores de qualidade do óleo desinfetante/valores obtidos.

Análises	Valores de Qualidade	Valores Obtidos
Teor de Umidade (%)	4,0 (máx.)	2,0
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,025	0,992

Fonte: Autor (2020).

### 4.1.3 Resultados do alcatrão purificado em suas proporções

#### 4.1.3.1 Análise de umidade

A tabela 17, apresenta os resultados referentes à análise de teor de umidade do alcatrão purificado em todas as frações de purificação (1:1), (1:2) e (1:5), comparando com os valores referentes ao alcatrão *in natura*.

Tabela 17: Comparativo teor de umidade do alcatrão purificado e *in natura*.

Análise	Proporção	Média Obtida	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
Teor de Umidade	<i>In natura</i>	4,8 (%)	0,152 (±)	3,205 (%)
	1:1	2,0 (%)	0,058 (±)	2,839 (%)
	1:2	2,2 (%)	0,047 (±)	2,110 (%)
	1:5	2,4 (%)	0,058 (±)	2,440 (%)

Fonte: Autor (2020).

Diante do comparativo referente à média obtida de teor de umidade, o alcatrão purificado na proporção (1:1), apresentou 2,0% e o alcatrão *in natura* 4,8%. Assim, foi possível observar uma redução de 2,8% ao realizar o processo de purificação.

Quanto ao desvio padrão, que serve como um indicativo de estimativa de erro entre os resultados, o alcatrão purificado (1:1) apresentou  $\pm 0,058\%$  e o alcatrão *in natura*  $\pm 0,152\%$ . Observa-se, portanto uma variação a cerca de 0,1%.

Já o coeficiente de variação do alcatrão purificado (1:1), identificou-se em 2,839% enquanto o alcatrão *in natura* 3,205% indicando uma similar precisão das análises em torno de 3%.

Comparando a média obtida de teor de umidade das amostras, o alcatrão purificado na proporção (1:2), apresentou 2,2% e o alcatrão *in natura* 4,8%. Observa-se portanto uma diminuição de 2,6% após a purificação.

Em referência do desvio padrão, o alcatrão purificado (1:2) apresentou  $\pm 0,047\%$ . Observa-se, portanto uma margem de erro aproximadamente de  $\pm 0,1\%$ .

O coeficiente de variação do alcatrão purificado (1:2), identificou-se em 2,110%, já o alcatrão *in natura* apresentou com 3,205%.



O alcatrão purificado na proporção (1:5), apresentou 2,4% e o alcatrão *in natura* 4,8% de teor de umidade, verificou-se que após purificação nestas condições, uma perda de 2,4% na fração de água.

No que diz respeito ao desvio padrão, o alcatrão purificado (1:5) resultou em  $\pm 0,058\%$ , dessa forma, obteve-se uma variação de erro em torno de  $\pm 0,1\%$  semelhante às demais proporções, indicando estabilidade nas análises e nos cálculos.

De modo geral, pode-se afirmar que em todas as proporções de purificação realizadas, observou-se que de acordo com o aumento das concentrações de óleo desinfetante em alcatrão, ocorreu uma redução em torno de 0,2% na média obtida do teor de umidade, aproximando dos valores de qualidade, aumentando o nível de excelência do material.

Em relação ao desvio padrão e o coeficiente de variação, identificou-se um comportamento similar em todas as amostras, tendo em vista que os valores encontrados nos cálculos permaneceram aproximados.

Com os processos realizados nesse estudo, levou a resultados que demonstraram uma diminuição acima de 2,0% em cada uma das frações purificadas.

Vale destacar, que o melhor resultado que foi identificado na concentração (1:1), onde a umidade apresentou uma média de 2,0%, deixando o material em excelente faixa de rendimento produtivo, visto que a faixa ideal é de 2,0% de teor de umidade, sendo aceitável até 5,0%, conforme literatura.

#### **4.1.3.2 ANÁLISE DE INSOLÚVEL EM QUINOLINA (IQ)**

A análise de Insolúvel em Quinolina (IQ) serve como um demonstrativo, para indicar a quantidade de impurezas dos resquícios de coque e carvão, contidas nas amostras de alcatrão.

Ao analisar a proporção de purificação do alcatrão 1:1 apresentou como resultado 3,2% de IQ na média obtida, já o alcatrão *in natura* o resultado foi de 8,6%, havendo uma queda de 5,4% na concentração de IQ.

Em reação ao desvio padrão, o alcatrão purificado (1:1) apresentou  $\pm 0,058\%$  como resultado, o alcatrão *in natura*,  $\pm 0,152\%$ . O coeficiente de variação do alcatrão purificado 1:1 foi 1,823% enquanto o alcatrão *in natura*, foi de 1,783%.

Tabela 18: Comparativo IQ - alcatrão purificado e *in natura*.

Análise	Proporção	Média Obtida	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
IQ	<i>In natura</i>	8,6 (%)	0,152 (±)	1,783 (%)
	1:1	3,2 (%)	0,058 (±)	1,823 (%)
	1:2	3,8 (%)	0,100 (±)	2,709 (%)
	1:5	4,8 (%)	0,115 (±)	2,422 (%)

Fonte: Autor (2020).

Constata-se pela proporção de purificação do alcatrão (1:2) como resultado 3,8% de IQ na média obtida, quanto ao alcatrão *in natura* o resultado foi de 8,6%, observa-se que também houve uma queda de 4,8% nos resíduos.

O desvio padrão do alcatrão purificado (1:2) foi de  $\pm 0,100\%$  e o alcatrão *in natura* apresentou um resultado de  $\pm 0,152\%$ .

O coeficiente de variação do alcatrão purificado (1:2) foi de 2,709%, apresentada em média das amostras analisadas.

Verifica-se que a proporção de purificação do alcatrão (1:5) apresentou o resultado de 4,8% de IQ na média obtida, o alcatrão *in natura* o resultado foi de 8,6%, houve uma queda de 3,8% no IQ.

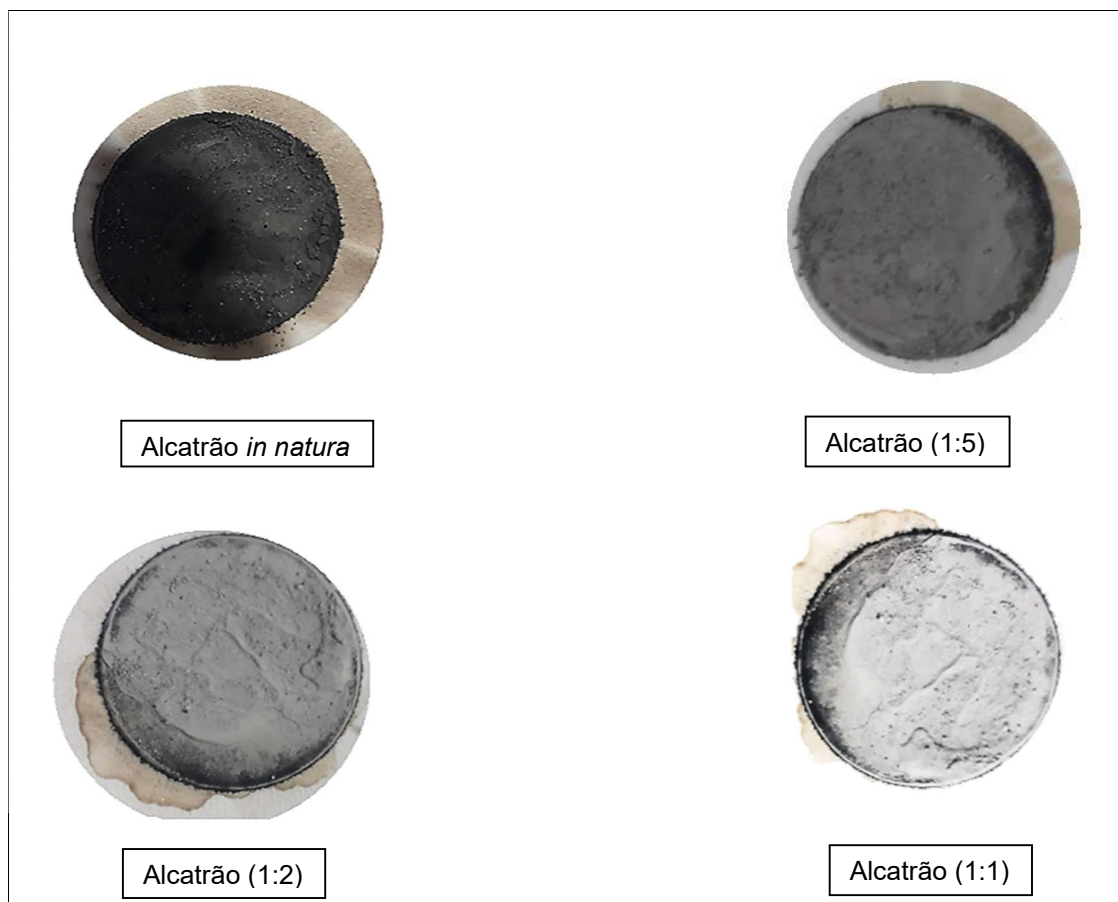
Sendo o desvio padrão do alcatrão purificado em (1:5) de  $\pm 0,115\%$  e o coeficiente de variação de 2,422%.

A figura 31, retrata o aspecto das amostras após finalização da análise de Insolúvel em Quinolina (IQ).

O alcatrão em seu estado *in natura*, apresentava um aspecto mais escuro, identificando um alto percentual de contaminação. Com o processo de purificação após análise, identificou nas amostras um aspecto mais alvo, o que indica uma diminuição da contaminação.

Ao comparar as imagens, constatou-se que a aparência do alcatrão purificado em proporção (1:1), esteve mais límpido em relação às demais proporções, o que indica uma menor quantidade de resíduos, justificando os valores apresentados nas análises realizadas.

Figura 31: Aspecto das amostras após análise de IQ.



Fonte: Autor (2020).

#### 4.1.3.3 ANÁLISE DE INSOLÚVEL EM TOLUOL (IT)

O Insolúvel em Tolueno (IT) é uma análise necessária para quantificar a ação aglomerante do alcatrão e de seu principal subproduto (piche).

Analisando a Tabela 19, observa-se que a proporção de purificação do alcatrão (1:1) apresentou o resultado de 11,2% de IT na média obtida, o alcatrão *in natura* o resultado foi de 13,5%, para tanto houve uma queda de 2,3% no IT.

No que se refere ao desvio padrão, o alcatrão purificado (1:1) teve-se como resultado  $\pm 0,100\%$  e o alcatrão *in natura*,  $\pm 0,208\%$ .

Quanto ao coeficiente de variação do alcatrão purificado (1:1) foi de 0,893% e o alcatrão *in natura*, foi de 1,546%.

Tabela 19: Comparativo IT - alcatrão purificado e *in natura*.

Análise	Proporção	Média Obtida	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
IT	<i>In natura</i>	13,5 (%)	0,208 (±)	1,546 (%)
	1:1	10,8 (%)	0,153 (±)	1,419 (%)
	1:2	11,2 (%)	0,100 (±)	0,893 (%)
	1:5	12,7 (%)	0,251 (±)	1,987 (%)

Fonte: Autor (2020).

A proporção de purificação do alcatrão (1:2), cujo resultado de 12,7% de IT na média obtida, em relação ao alcatrão *in natura* o resultado foi de 13,5%, sendo assim, houve uma queda de 0,8% no IT.

No que diz respeito ao desvio padrão, o alcatrão purificado (1:2) o resultado foi de  $\pm 0,251\%$  enquanto o alcatrão *in natura* apresentou  $\pm 0,208\%$ .

O coeficiente de variação do alcatrão purificado (1:2) foi 1,987%.

A proporção de purificação do alcatrão (1:5), em que o resultado foi de 10,8% de IT na média obtida e o alcatrão *in natura* obteve-se como resultado 13,5%, portanto, houve uma queda de 2,7% no IT.

Acerca do desvio padrão, o alcatrão purificado (1:5), teve-se como resultado  $\pm 0,153\%$ .

Em relação ao coeficiente de variação do alcatrão purificado (1:5) foi 1,419%.

Observa-se a relação de resultados do alcatrão purificado em todas as suas proporções com o valor do alcatrão *in natura*.

Diante de todos os resultados obtidos após realização das análises apresentadas anteriormente, o processo de purificação do alcatrão na proporção (1:1), foi o que tornou possível reduzir a concentração de contaminantes, consequentemente, obteve-se a melhor desempenho de resultados, *vide* Tabela 19.

Em referência ao coeficiente de variação, entre as concentrações, se manteve em 1,4%.

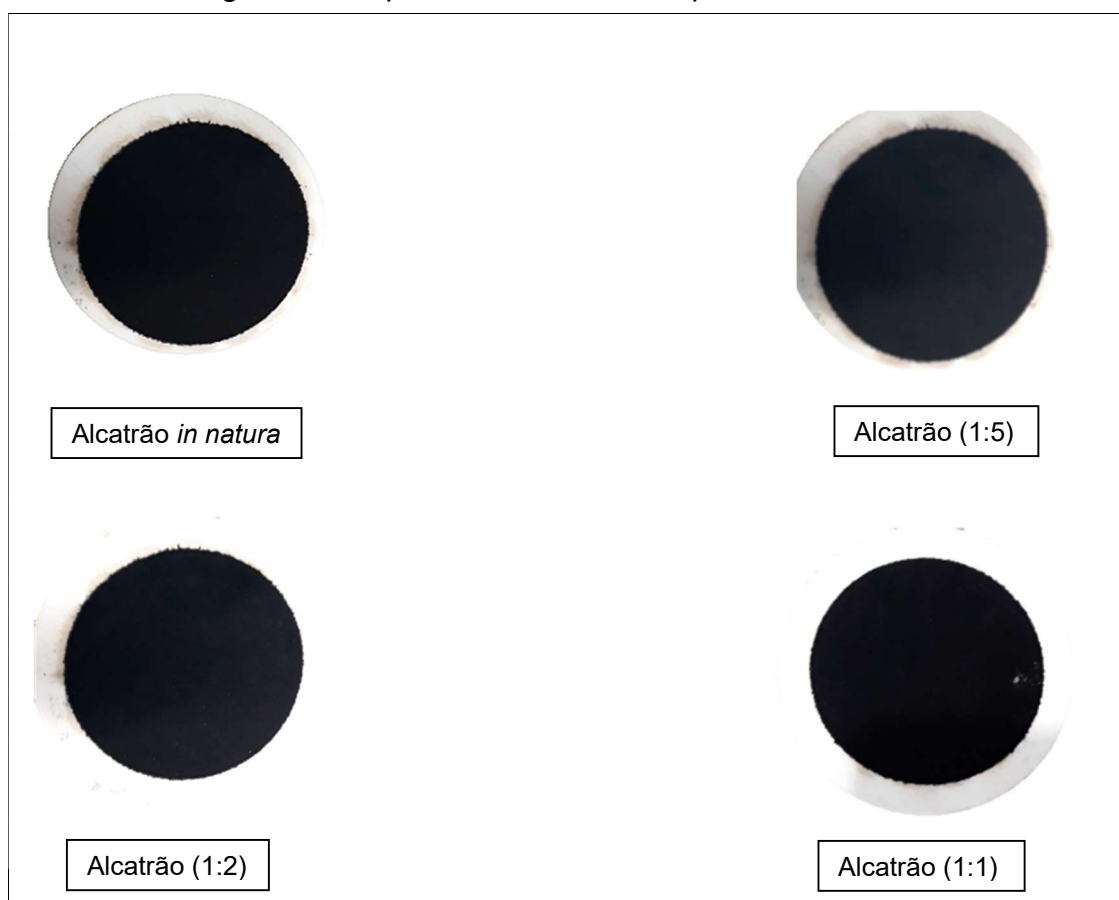
Na tabela 19 é possível observar todos os resultados, onde a fração (1:1) obtem o melhor rendimento com uma média menor de 10,8% em relação às demais proporções de contaminações do insolúvel em toluol.

As análises em Insolúvel em Toluol (IT), apresentaram quedas de 2,7% ao confrontar o alcatrão *in natura*, com o alcatrão purificado em (1:1).

Apresentou queda de 2,3% ao confrontar o alcatrão *in natura* na proporção (1:2) e ao confrontar o alcatrão *in natura* na proporção de (1:5) teve a queda de 0,8%.

A figura 32 apresenta o aspecto das amostras após finalização da análise de IT.

Figura 32: Aspecto das amostras após análise de IT.



Fonte: Autor (2020).

É possível observar a aparência entre as proporções das amostras utilizadas, visualmente não apresentaram diferença. Os aspectos ficaram semelhantes, com coloração densa e escura, característica desta análise.

#### 4.1.3.4 ANÁLISE DE MASSA ESPECÍFICA – ALCATRÃO

A massa específica, determina a razão entre a massa de uma porção compacta da substância e o volume que a mesma ocupa.

A tabela 20 demonstra o comparativo da análise entre o alcatrão purificado na proporção (1:1) e o alcatrão *in natura*.

Tabela 20: Comparativo Massa Específica - alcatrão purificado e *in natura*.

Análise	Proporção	Média Obtida	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
IT	<i>In natura</i>	13,5 (%)	0,208 (±)	1,546 (%)
	1:1	10,8 (%)	0,153 (±)	1,419 (%)
	1:2	11,2 (%)	0,100 (±)	0,893 (%)
	1:5	12,7 (%)	0,251 (±)	1,987 (%)

Fonte: Autor (2020).

O alcatrão purificado na proporção (1:1), apontou uma média de 1,146 g/cm<sup>3</sup>, entre as amostras enquanto o alcatrão *in natura* obteve uma média de 1,150 g/cm<sup>3</sup>.

Pelos valores de desvio padrão e coeficiente de variação, muito próximos entre as análises, foi possível constatar pelos cálculos, que as amostras apresentaram semelhança nesta concentração.

A média obtida entre as amostras de alcatrão purificado na proporção (1:5), apresentaram o resultado de 1,149 g/cm<sup>3</sup>, enquanto as amostras de alcatrão *in natura* o valor de 1,150 g/cm<sup>3</sup>.

A baixa mudança entre os valores de desvio padrão e coeficiente de variação, identificou a coerência e a linearidade entre as amostras.

Além de todas as frações apresentarem valores de qualidade aceitáveis para o produto (1,170 g/cm<sup>3</sup>).

#### 4.1.3.5 ANÁLISE DE DESTILAÇÃO FRACIONADA

A destilação fracionada é um processo de separação, por coluna de fracionamento, na qual é possível realizar a divisão dos principais componentes encontrados no alcatrão de hulha.

As análises de destilação fracionada do alcatrão purificado em todas suas proporções são apresentadas na tabela 21.

Tabela 21: Comparativo destilação fracionada alcatrão purificado e *in natura*.

Análise	Proporção	Média Obtida	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
<b>Destilação 0 a 300 °C</b>	1:1	54,0 (%)	0,230 (±)	0,427 (%)
	1:2	53,0 (%)	0,264 (±)	0,499 (%)
	1:5	51,2 (%)	0,208 (±)	0,406 (%)
<b>Destilação 300 ~ 355 °C</b>	1:1	7,4 (%)	0,057 (±)	0,777 (%)
	1:2	7,9 (%)	0,058 (±)	0,734 (%)
	1:5	8,2 (%)	0,058 (±)	0,707 (%)
<b>Destilação &gt; 355 °C</b>	1:1	38,6 (%)	0,152 (±)	0,395 (%)
	1:2	39,1 (%)	0,115 (±)	0,295 (%)
	1:5	40,6 (%)	0,100 (±)	0,246 (%)

Fonte: Autor (2020).

Ao analisar a Tabela 21, a faixa de temperatura de 0 a 300 °C, fração responsável pela extração de óleos leves e médios (Nafta, CND e Antrafen), a proporção de purificação (1:1) obteve média de 54,0%, a proporção (1:2) de 53,0% e (1:5) de 51,2%.

Estes dados identificaram que a proporção (1:1) obteve a maior concentração de extração de óleos, comparado as demais proporções, isto ocorreu, por ser a faixa de amostra com maior grau de mistura, contendo 50% de alcatrão e 50% de óleo desinfetante.

Na faixa de temperatura de 300 a 355 °C obtem-se o subproduto conhecido como piche mole, a proporção de purificação (1:1) obteve uma média de 7,4%, a proporção (1:2) de 7,9% e (1:5) de 8,2%.

Sendo este, o subproduto de maior valor comercial do alcatrão de hulha, a proporção de purificação (1:5), identificou a melhor comportamento.

Em temperatura acima de 355 °C, são determinados a borra de alcatrão, como chamado industrialmente, a proporção de purificação (1:1) obteve uma média de 38,6%, a proporção (1:2) de 39,1% e (1:5) de 40,6%.

Com o crescimento do teor de óleo desinfetante, a proporção de borra de alcatrão diminui de forma significativa, e aumenta o rendimento de obtenção de óleos, sendo identificado na proporção (1:1), o melhor desempenho.

Ao realizar a destilação, a extração de óleo em comparação com o alcatrão *in natura*, passou a se apresentar em quantidade maior.

Com metade de adição ao óleo desinfetante (1:1), houve um acréscimo de 21,3% ; (1:2), o aumento foi de 21,1% e (1:5) de 17,1%.

Nas temperaturas de 300 a 355 °C ocorreu uma redução de 4,1% em (1:1), de 3,5% em (1:2), e de 3,0% em (1:5), quando comparado as frações com o alcatrão não purificado.

Observa-se, que os resultados demonstraram um menor volume de produção de piche mole, sendo este subproduto que possui maior valor comercial entre todos os destilados do alcatrão de hulha.

Em 355 °C, a quantidade de borras de alcatrão diminui em todas as proporções. Em geral, o rendimento do alcatrão primário foi aprimorado, contribuindo para um maior aproveitamento da destilação no rendimento das frações de óleos. Este rejeito, borra de alcatrão, pode ser comercializado com valor menor, ou ser reaproveitado em outros processos.

#### **4.1.3.6 VISIBILIDADE GERAL DAS ANÁLISES E COMPARAÇÕES ENTRE AS FRAÇÕES**

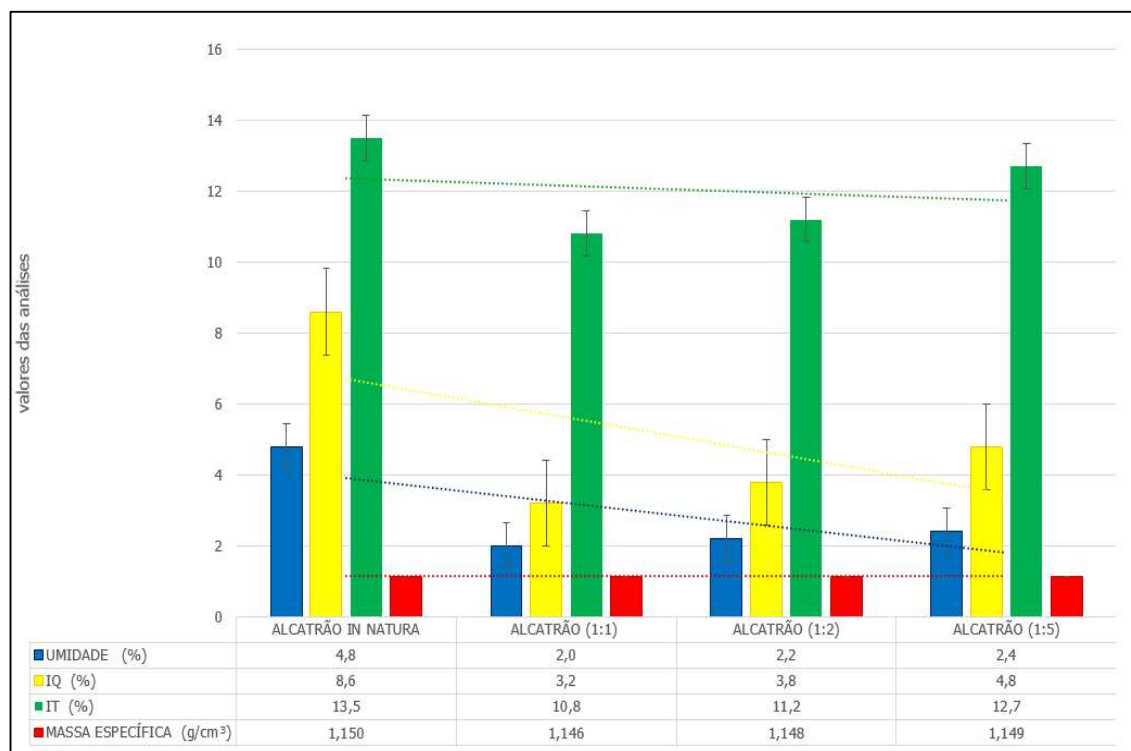
A partir do estudo realizado, observou-se que a purificação do alcatrão de hulha é fundamental, pois os subprodutos gerados são de grande relevância para a indústria carboquímica. Sendo assim, é necessário aprimorar metodologias já existentes visando atender às demandas de mercado, considerando-se que o alcatrão purificado dispõe de um valor agregado para indústria química.

A figura 33 apresenta um resumo gráfico de todos os ensaios realizados e seus respectivos valores.

Assim sendo, o presente estudo teve como fundamento melhorar os recursos já existente no processo de purificação do alcatrão de hulha, utilizando-se de lavagem com óleo desinfetante, com a finalidade de diminuir os custos de manufatura, além de não modificar suas características. O alcatrão e o óleo desinfetante, que foram utilizados, possuem baixa polaridade e apresentam diferentes densidades sendo possível a visualização das fases.



Figura 33: Dados gráficos dos ensaios realizados.



Fonte: Autor (2020).

Para tanto, foi feito um estudo analítico com o propósito de comparar os resultados obtidos nas análises realizadas, para identificar o melhor processo e sua comercialização, além de melhorar sua utilização na indústria carboquímica.

Tal estudo foi realizado com o auxílio de pesquisas bibliográficas, descritivas, utilizando-se ainda de materiais e métodos. Os materiais utilizados foram o alcatrão de hulha que é obtido pela queima do carvão e submetido a destilação fracionada produzindo óleos aromáticos e piche.

O alcatrão *in natura* recém condensado pela limpeza do gás de coqueria, em sua composição apresenta elevado teor de umidade, devido as altas temperaturas de vapor utilizadas em todo processo, além de licor amoníaco dissolvido e resquícios de coque, principalmente em matérias primas de baixa qualidade. Devido a esta realidade, a pureza do alcatrão se faz necessária, sendo um fator determinante para seu valor agregado.

Os métodos utilizados visaram eliminar as impurezas do alcatrão, assim, foi possível identificar as propriedades e observar as alterações que ocorreram. Na metodologia empregada, analisou a qualidade do alcatrão *in natura* o teor de umidade, insolúvel em quinolina, insolúvel em toluol, destilação fracionada e

massa específica, adicionando óleo desinfetante nas proporções (1:1), (1:2) e (1:5).

Através do método de purificação, realizado no Laboratório de Caracterização da UniFOA, em Volta Redonda, RJ, os líquidos imiscíveis foram separados, fazendo uma decantação por meio de uma mistura mecânica em três diferentes proporções de alcatrão e óleo desinfetante. No processo de decantação foi descartado a fração menos densa da mistura, tendo como resultado o material purificado.

Foi feita análise de qualidade em relação ao teor de umidade, insolúvel em quinolina, insolúvel em toluol, destilação fracionada e massa específica por picnômetro.

Vale destacar que para todos os ensaios, o procedimento de purificação se mostrou eficaz em diminuição das concentrações de umidade que chegaram a metade do valor inicial. As análises de insolúveis, que identificaram o percentual de contaminação do alcatrão, reduziram significativamente e a massa específica (alcatrão)/densidade (óleo desinfetante) se mantiveram praticamente constantes, conforme indica o gráfico.

Porém, de modo geral, a concentração que apresentou melhores resultados foi a (1:1), sendo a mistura de 50% de alcatrão e 50% de óleo desinfetante, a maior em nível de adição do produto, com todos seus valores se mostraram constantes e sem alterações das principais propriedades.

## 5 CONCLUSÕES

A proposta de purificação por meio da metodologia utilizada, mostrou-se eficaz na retenção de impurezas e na separação de parte da água presente na mistura. De modo geral, a adição de óleo desinfetante melhora as características residuais do alcatrão de hulha. Isso ocorre em razão dos contaminantes aparentemente terem maior afinidade química pela fase do óleo desinfetante, que acaba por carrear as impurezas durante a decantação, purificando o alcatrão.

Assim sendo, o alcatrão limpo contém menor porcentagens de quinolina e toluol (partículas insolúveis, sólidas, de resquícios de coque), em aspectos visualmente mais claros e com menor teor de umidade, o que contribuiu para aumentar os valores de qualidade para comercialização.

A massa específica do alcatrão demonstrou valores muito próximos, em comparação à todas as proporções de purificação e o alcatrão *in natura* identificando que não houve grandes alterações relevantes na densidade.

Para o processo de fracionamento após a purificação, houve alterações na quantidade dos subprodutos, com aumento nas frações de óleos, porém diminuição das frações de piche. Entre todas as frações de purificação, a proporção (1:1) foi a que obteve melhores resultados, enquadrando quase em todas as especificações de qualidade e nas comparações com os demais proporções.

Enfim, foi muito relevante desenvolver este estudo, porque através dos ensaios realizados foi possível comparar as médias obtidas em todas as concentrações no alcatrão *in natura*, e identificar aquela que apresentou resultados melhores para que possa ser utilizada pelas empresas interessadas na comercialização de alcatrão *in natura*. Nesse entendimento, após esta experiência, outros pesquisadores podem dar continuidade nesse estudo visando aprimorar ainda mais essa metodologia utilizada.

## 6 TRABALHOS FUTUROS

- Realizar os mesmos procedimentos utilizando óleos de origem vegetais,
- Realizar análise de cinzas de alcatrão,
- Misturar proporções de alcatrão de origem vegetal e mineral e caracterizar, suas propriedades fisico-químicas,
- Aplicação de um planejamento de experimentos “DOE” para avaliar os efeitos das variáveis que foram estudados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13924/97 (Piche – Determinação de insolúvel em quinolina - IQ) – Método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13925/97 – Determinação de insolúvel em tolueno (IT)**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7148:2013 Versão Corrigida:2014 - Petróleo e derivados de petróleo — Determinação da massa específica, densidade relativa e °API**. Rio de Janeiro, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D95 - 13 Standard Test Method for Water in Petroleum Products and Bituminous Materials by Distillation**. United States, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D2318/15 Standard Test Method for Quinoline-Insoluble (QI) Content of Tar and Pitch**. United States, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D246/04a – Standard Test Method for Distillation of Creosote and Creosote-Coal Tar Solutions**. United States, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM E1405/98 – Standard Specification for Laboratory Glass Distillation Flasks**, United States, 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM E438/92 – Standard Specification for Glasses in Laboratory Apparatus**, United States, 1992.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D368-89 Standard Test Method for Specific Gravity of Creosote and Oil-Type Preservatives(Withdrawn 2006)**, United States, 2006.

ALVES, C.R -. **Utilização de frações de alcatrão vegetal na síntese de resinas fenólicas para substituição parcial de fenol e formaldeído – TCC** Especialização em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2003.

ANDRADE, Í. F. – **Carboquímica** - Dissertação de Especialização em Química Indústria I - Universidade De Santa Cruz Do Sul, Santa Cruz do Sul, 2014.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica do Brasil. **Parte III – Fontes Não Renováveis: Carvão mineral.** Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas\\_capa\\_sumario.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_capa_sumario.pdf)> Acesso em: 10.nov.2018.

ANTUNES, A. **Setores da indústria química orgânica.** Editora E-Papers Ltda, Rio de Janeiro, 2007.

ARCELLOR MITTAL SA - Disponível em: <<https://brasil.arcelormittal.com/produtosolucoes/coprodutos/coprodutos/alcatra-o-hulha>> Todos direitos reservados – ArcelorMittal SA - Acesso em: 13.out.2018.

AZPÍROZ, G.; BLANCO, C.; BANCIELLA, C. **The use of solvents for purifying industrial naphthalene from coal tar distilled oils** - Fuel Processing Technology - Volume 89, Issue 2, Pages 111-117, February, 2008.

ATUI, M. B., LAZZARI, F. A., E LAZZARI, S. M.N. **"Avaliação de metodologia para detecção de resíduos de terra diatomácea em grãos de trigo e farinha"**. Revista Instituto Adolfo Lutz. SP. OCLC 71172964, Vol. 62, no. 1 (2003) p.11-16, 2003.

BARBIERI, C. C. T. **Avaliação da Combustibilidade de Carvão Brasileiro Para Injeção Em Altos-Fornos em Simulador de PCI e em Termobalança.**2018. 174 f. Tese de Doutorado em Engenharia De Minas, Metalúrgica e de Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2018.

BIORACIONALES DE COLOMBIA S.A.S. **Material Safety Data Sheet (MSDS).** Disponível em: < <http://www.bioracionales.com/infotec/Creolina.pdf>> Todos direitos reservados – Bioracionales de Colombia S.A.S - Acesso em: 10.nov.2018.

BP - British Petroleum SA – **Consumo mundial de Carvão Mineral – Estatística de 2010.** Disponível em: <<https://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?categoryId=9023785&contentId=7044481>> Todos direitos reservados – BP SA - Acesso em: 12.maio.2018

BRAGA, E. M. H. **Efeitos do Catalisador Thermact na Síntese do Coque Metalúrgico.** 2017. 137 f. – Dissertação de Mestrado em Engenharia De Materiais - Universidade Federal De Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

CHESHKO, F. F., et al. **Properties of coal tar characterized by slight pyrolysis.** *Journal Coal Chemical Industry.* Volume 57, Issue 6, pp 255–259, China, 2014.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL (CSN). Disponível em: <[http://www.csn.com.br/conteudo\\_pti.asp?idioma=0&conta=45&tipo=61021&prSv=1](http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&conta=45&tipo=61021&prSv=1)> Acesso em: 13.out.2018.

CONTROL LAB PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. – **FISPQs (FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS)**. Disponível em: <[http://controllabpr.com.br/files/fispq/15105792337FISPQ\\_NAFTALENO.pdf](http://controllabpr.com.br/files/fispq/15105792337FISPQ_NAFTALENO.pdf)> Acesso em: 10.nov.2018.

DAI, S; WAND, X.; ZHAO. L. **Mineral Matter and Trace Elements in Coal**, Ed. MDPI; China, 2018.

DALPONT, G. **Avaliação Tecnológica Da Viabilidade De Gaseificação De Carvões Brasileiros**. 2017. 119 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal De Santa Catarina, Santa Catarina, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). Disponível em: < <http://www.dnpm.gov.br/> >. Acesso em: 12.ago.2018.

DUARTE, J. P. de F.; SAMPAIO, L. C. V. dos R.; IBRAHIM, L. O.; PENIDO, T. A. **Estudo Econômico Para Produção De Creosoto, Naftaleno E Óleo Desinfetante A Partir Do Alcatrão De Hulha: Análise da necessidade de implementação e retorno do projeto**. 2016. TCC de Graduação do Curso de Engenharia Mecânica – Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2016.

EGASHIRA, R.; SAITO, J. **Absorption Oil with Continuous Countercurrent Spray Column**. Journal of the Japan Petroleum Institute, Vol.50, 218 f. Japan, 2007.

ENAUTA – **Noções de Geologia e Geofísica Petróleo** – Disponível em <<https://www.enauta.com.br>> Acesso em: 15.dez.2019.

FINQUÍMICA INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS LTDA – **REAGENTE CELITE**. Disponível em: <<https://finquimica.com.br/produtos/sucroalcooleiro/celite-reagente-para-analise/>> Todos direitos reservados – FinQuímica Ind. Com. Produtos Químicos LTDA - Acesso em: 10.nov.2018.

FLOTTWEG SEPARATION TECHNOLOGY – **PURIFICAÇÃO DE ALCATRÃO/PICHE**. Disponível em: <[www.flottweg.com/pt/aplicacoes/residuos-industria-is-e-oleos-minerais/purificacao-de-piche/](http://www.flottweg.com/pt/aplicacoes/residuos-industria-is-e-oleos-minerais/purificacao-de-piche/)> Todos direitos reservados – Flottweg SE - Acesso em: 10.nov.2018.

FUCHS, W.; SANDHOFF, A. G. Theory of coal pyrolysis. **Industrial & Engineering Chemistry**, 34 (5), 567-571, 1942.

FRANÇA, L. P. **Recirculação de óleo CND na usina de alcatrão**. TCC de Graduação do Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal Fluminense. Volta Redonda, 2016.

GAO, J. S. ; ZHANG, D. X. ; YU, J. **Processing Technology of Coal Tar**, Journal Coal Chemical Industry, Vol.6, 4f. China, 2004.

GARCIA, S. D. S. **Identificação De Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAHS) Do Alcatrão De Carvão Proveniente Da Gaseificação**. 2000.64 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia De Minas, Metalúrgica E De Materiais. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, 2000.

GOMES, A. J. P. **Carvão do Brasil Turfa Agrícola**. Editora EST Edições, 164 p. Porto Alegre, 2002.

GONZÁLEZ M. D.; et al. **The Use of Solvents for Purifying Indústria Naphthalene from Coal Tar Distilled Oils**, Journal Energy Fuels, Vol.89, 111 f, United States, 2008.

INDÚSTRIA L QUÍMICA DEL NALÓN SA - **Material Safety Data Sheet (MSDS)**. Disponível em: <[http://www.nalonchem.com/recursos/doc/English/Business\\_activity/Carbochemical/1493706441\\_2642010174432.pdf](http://www.nalonchem.com/recursos/doc/English/Business_activity/Carbochemical/1493706441_2642010174432.pdf)> Todos direitos reservados – Indústria Química del Nalón SA. Acesso em: 08.nov.2018.

INFOPLASE "Perkin, Sir William Henry, January 2005". Disponível em: <<https://www.infoplease.com/encyclopedia/people/science-and-technology/chemistry-biographies/perkin-sir-william-henry>> Acesso em: 16. set.2018.

ICHPW – Institute for Chemical Processing of Coal. Disponível em: <<http://www.ichpw.pl/wp-content/uploads/2018/10/Stompel-Global-coal-tar-market-a.d.-2018-business-as-usual.pdf>> Acesso em: 15.dez.2018.

KERSHAW, J. R. **The Chemical Composition of a Coal-Tar Pitch**, Journal of Polycyclic Aromatic Compounds, Vol. 3, 185-197f. United States, 1993.

KOOPER CARBON & CHEMICAL CO. LTD. **Material Safety Data Sheet (MSDS)**. Disponível em: <[https://www.chemadvisor.com/koppers/database/koppers\\_na/msds/00228/00228311000220003.pdf](https://www.chemadvisor.com/koppers/database/koppers_na/msds/00228/00228311000220003.pdf)> Todos direitos reservados – Kooper C&C Co Ltda - Acesso em:18.nov.2018.

KMG Chemicals Inc. **Material Safety Data Sheet (MSDS)**. Disponível em: < [https://kmgchemicals.com/wp-content/uploads/P1\\_Creosote\\_Oil\\_MSDS.pdf](https://kmgchemicals.com/wp-content/uploads/P1_Creosote_Oil_MSDS.pdf)> Todos direitos reservados – KMG Chemicals Inc - Acesso em: 10.out.2018.

LEWANDOWSK, M.; et al. **Modern Technology Of Dry Ditillation Of Wood – Institute of Chemical Organic Technology**. Journal of Faculty Chemical Technology and Engineering West Pomeranian University of Technology. Szczecin, 2011.

LI, Y.; et al. **Progresses in the separation and purification of coal tar**. Journal Shiyu Huagong/Petrochemical Technology. Vol. 43. 848-855p.China, 2014.



LOPES, M. M. **Estudo comparativo da destilação em batelada operando com refluxo constante e com composição do destilado constante**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química., 155. São Paulo. 2008.

LÜ, C. X.; LING, L. C.; ZHOU, Z. F. **Purification Comparison Between Coal Tar and Coal Tar Pith**, *Jornal of Carbon*, Vol. 3, 10 f. China, 2000.

MACHADO, F. S. **Comparação Entre Os Finos De Carvão Vegetal E De Carvão Mineral Para Injeção Nas Ventaneiras De Um Alto-Forno Siderúrgico**. 2002. 63 f. Tese de Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro, Seropédica, 2002.

MACHADO, J. M. G. M. S. **Estudo de Reatividade e Combustão de Carvões Minerais, Carvão Vegetal e Misturas**. 2009. 212 f. Tese de Doutorado em Engenharia De Minas, Metalúrgica E De Materiais, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Rio Grande do Sul, 2009.

MCENANEY, B. **Carbon Materials for advanced technologies**. 1ªed. Editors BURCHELL, T. D. Ltda. Pergamon, p.1-33. United States, 1999.

MFR (Mercado Físico Rural Químicos Agronegócios LTDA) – Alcatrão – Disponível em:  
<<https://www.mfrural.com.br/busca.aspx?palavras=alcatrao>>. Acesso em: 06.mai.2018.

NETO, L. F; PARDINI, L. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. São Paulo: Blücher, 2ª ed. 2016.

NETO, G. W.F. **Modelagem e Simulação do Processo de Produção de Coque Metalúrgico**. 2019. 51 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2019.

OLIVEIRA, A.C; et al. **Avaliação de diferentes níveis de desbaste nas propriedades da madeira e do carvão vegetal de Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla**. *Revista Floresta*, v.42, n.1, p.59-68, Universidade Federal do Paraná, 2012.

OLIVEIRA, L.B.M. **Caracterização Da Nafta Petroquímica Para a Produção De Aromáticos**. 2014. 124 f. Tese de Mestrado Profissional em Tecnologia De Processos Químicos E Bioquímicos. Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Rio De Janeiro, 2014.

OLIVEIRA, R. S. **Produção de coque metalúrgico através da utilização parcial de briquetes de carvão mineral**. 2017. 102 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

PAES, J.B; et al. **Corrosividade Causada Por Soluções Produzidas Com Creosoto Vegetal**, *Rev. Árvore*, vol.26, no.5, Viçosa, 2002.

PAIXÃO, M. A. S. D. **O crescimento econômico da China e o consumo de carvão para geração de energia**. 2017. 75 f. Tese de Doutorado em Ciências (Economia Aplicada), Universidade de São Paulo - Escola Superior De Agricultura Luiz De Queiroz. Piracicaba, 2017.

PAVIA, D.L, LAMPMAN, G.M, KRIZ, G.S, ENGEL, R.G. **Introduction to Organic Laboratory Techniques: A Small Scale Approach**. 4<sup>a</sup> edition – Cengage Learning Laboratory Series For Organic Chemistry – 1011 p., 2015.

PERUZZO F. M., CANTO E. L. - **Química na abordagem do cotidiano - Petróleo e Combustíveis**, Vol.3, Editora Saraiva, São Paulo, 2015.

PHILIPPSEN, C. G. **Modelagem E Simulação Fluidodinâmica Aplicada À Análise Do Desempenho Da Planta Piloto Semi-Indústria I De Leito Fluidizado Em Processos De Combustão De Carvão Mineral Com Alto Teor De Cinzas**. 2018. 214 f. Tese de Doutorado Em Engenharia De Minas, Metalúrgica E De Materiais, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Rio Grande do Sul, 2018.

QUIMINVEST INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA – **Produtos Divisão Química**  
Disponível em:  
<<http://www.quinvest.com/page/produtos/id/1/title/Divis%C3%A3o-Qu%C3%ADmica>>. Todos direitos reservados – Quinvest Ind.Com.LTDA - Acesso em 08.mai.2018.

RECH, R. L. **Desenvolvimento De Equipamento Para Estudos De Injeção De Carvão Pulverizado Em Altos-Fornos Siderúrgicos**. 2018. 137 f. Tese de Doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Rio Grande do Sul, 2018.

REZENDE, J.B.; SANTOS, A.C. **A cadeia produtiva do carvão vegetal em Minas Gerais: pontos críticos e potencialidades**. Boletim Técnico. EPAMIGZM (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais), 80 p, Viçosa, 2010.

ROITMAN, V. **Petrobrás - Curso de Formação de Operadores de Refinaria: Operações Unitárias** Curitiba: 2002. Disponível em:  
< <https://www.coursehero.com/file/29341566/Apostila-de-Formacao-Operacoes-Unitariaspdf/>> - Todos direitos reservados – Petrobrás (Petróleo Brasileiro S.A) - Acesso em: 08.jun.2018.

SALIM, C. ; EGASHIRA, R. **Separation of Coal Tar Distillate by Solvent Extraction-Separation of Extract Phase Using Distillation**. Journal of the Japan Petroleum Institute. Vol. 49. 326f. Japan, 2006.

SANTOS, V. E.S. **Gás natural e carvão na geração termelétrica: reflexões sobre a competição/complementação das fontes na região sul do Brasil**. Dissertação de Mestrado em Energia - Universidade de São Paulo, (USP). 2017.

SAAVEDRA, A. A – **“CARBOQUIMICA”**. **Generalidades sobre la importancia del carbón y sus diferentes usos**. – TCC Bachiler en Ingeniería Química, Universidad del Zulia - Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, 2010.

SHEREVE, R.N.; BRINK Jr, J.A. - **Indústrias de Processos Químicos** - 4ª ed. Editora Guanabara Koogan S.A. Rio de Janeiro, 1980.

SILVA, J.M. **Determinação de Compostos Nitrogenados Aromáticos em Alcatrão de Carvão Através da Cromatografia Gasosa Bidimensional Abrangente Acoplada à Espectrometria de Massa**. 2014. 157 f. Tese de Doutorado em Química – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

SILVA, O.J. **Caracterização Tecnológica de Carvões para Coqueria**. 2008. 90 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Ouro Preto - Escola de Minas - Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, 2008.

SUN, M. ; MA. X. X. ; YAO, Q. X. **GC-MS and TG-FTIR Study of Petroleum Ether Extract and Residue from Low Temperature Coal Tar**. Journal Energy Fuels, Vol 25, 1140f. China, 2011.

SUN, P. S. ; WANG Z, J. ; WANG, D. F. ; CHAO Q. **Reduction of Ash and Quinoline Insolubles in Coal Tar**. Journal Coal Chemical Industry. Vol.3. 30f.China, 2011.

SPEIGHT, J. G. – **Handbook of Coal Analysis** – Wiley Editor – United States, 2015.

SREE, V.D. **Impact of Dispersion of gases from combustion of Coal tar**. Bachelor thesis in Chemical Technology. Department of Chemical Engineering National Institute of Technology Rourkela, Odisha, India, 2017.

THOMSON, E. J. **The Scot Who Lit The World – The story of William Murdoch, Inventor of Gas Lighting**. 140 p. Editorial Janet Thomson. United States, 2003.

ULLMANN, F. **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**. v. 40, 17ª Edition, VCH Editors – Germany, 2016.

U.S. Oil & Refining Co.- **Material Safety Data Sheet (MSDS)**. Disponível em: <<http://www.usor.com/files/pdf/4/MSDS%20Isom%20Naphtha%20962.pdf>>  
Todos direitos reservados – U.S. Oil & Refining Co. - Acesso em: 10 nov.2018

VALENTIM, L. T. **Procedimento operacional para produção do piche eletrolítico, utilizado no setor siderúrgico**. 2014. 81p. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2014.

VIEIRA, D. T. F. **Otimização do Processo de Extração do Naftaleno Contido do Óleo Creosoto Oriundo do Processo de Limpeza do Gás de Coqueria.** 2018. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química - Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, 2018.

WU, L; et. al. **Separation Technology of Coal Tar.** Journal International of Oil Gas and Coal Technology, Vol.24, 17f. China, 2001.

THOMSON, J. **The Scot Who Lit The World – The story of William Murdoch, Inventor of Gas Lighting.**140 p. Editor Gardner's Books; United States, 2003.

XIE, F. LIU, X. F. FEI, Q. **Characterization of Coal Tar and Component Identification by Raman Spectroscopy.** Jornal Fuel Chemical Technologies. Vol. 43. 530f. China, 2015.

XU. C. X. **Characteristics and Processing Utilization of Coal Tar.** Journal Coal Chemical Industry., Vol.19, 63f. China, 2013.

YING, Z.X. **Simulation of Coal Tar Separation Process.** 2012. 144 p. Dissertation of Master's thesis in Chemical Engineering - East China University of Science and Technology, China, 2012.

## ANEXO

**TABELA DE CONVERSÃO TEMPERATURA/DENSIDADE PARA DENSIDADE ESPECÍFICA - ASTM D368-89 *Standard Test Method for Specific Gravity of Creosote and Oil-Type Preservatives (Withdrawn 2006)*.**

Temperatura (°F)	Fator	Temperatura (°F)	Fator	Temperatura (°F)	Fator
60	-0,0158	107	0,0028	154	0,0218
61	-0,0154	108	0,0032	155	0,0222
62	-0,0150	109	0,0036	156	0,0226
63	-0,0146	110	0,0040	157	0,0230
64	-0,0142	111	0,0044	158	0,0234
65	-0,0138	112	0,0048	159	0,0239
66	-0,0134	113	0,0052	160	0,0244
67	-0,0130	114	0,0056	161	0,0248
68	-0,0126	115	0,0060	162	0,0252
69	-0,0122	116	0,0064	163	0,0258
70	-0,0118	117	0,0068	164	0,0260
71	-0,0115	118	0,0072	165	0,0264
72	-0,0111	119	0,0076	166	0,0268
73	-0,0107	120	0,0080	167	0,0272
74	-0,0103	121	0,0084	168	0,0276
75	-0,0099	122	0,0089	169	0,0280
76	-0,0095	123	0,0093	170	0,0284
77	-0,0091	124	0,0097	171	0,0289
78	-0,0087	125	0,0101	172	0,0293
79	-0,0083	126	0,0105	173	0,0297
80	-0,0079	127	0,0109	174	0,0301
81	-0,0075	128	0,0113	175	0,0305
82	-0,0071	129	0,0117	176	0,0309
83	-0,0067	130	0,0121	177	0,0314
84	-0,0063	131	0,0125	178	0,0318
85	-0,0059	132	0,0129	179	0,0322
86	-0,0055	133	0,0133	180	0,0326
87	-0,0051	134	0,0137	181	0,0330
88	-0,0047	135	0,0141	182	0,0334
89	-0,0043	136	0,0145	183	0,0339
90	-0,0040	137	0,0149	184	0,0343
91	-0,0036	138	0,0153	185	0,0347
92	-0,0032	139	0,0157	186	0,0351
93	-0,0028	140	0,0161	187	0,0355
94	-0,0024	141	0,0165	188	0,0359
95	-0,0020	142	0,0169	189	0,0363
96	-0,0016	143	0,0173	190	0,0367
97	-0,0012	144	0,0177	191	0,0371
98	-0,0008	145	0,0182	192	0,0375
99	-0,0004	146	0,0186	193	0,0380
100	0,0000	147	0,0189	194	0,0384
101	0,0004	148	0,0194	195	0,0388
102	0,0008	149	0,0198	196	0,0392
103	0,0012	150	0,0202	197	0,0397
104	0,0016	151	0,0206	198	0,0401
105	0,0020	152	0,0210	199	0,0405