

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

**Desenvolvimento de Um Método Alternativo de  
Dessalgação e Desidratação de Petróleos Pesados e  
Extrapesados.**

**Development of an Alternative Method of Desalting and Dehydration of Heavy  
and Extra - Heavy Oils.**

**Cristina Maria dos Santos Sad**

**Tese de Doutorado em Química**

**Vitória  
2019**

**Cristina Maria dos Santos Sad**

# **Desenvolvimento de Um Método Alternativo de Dessalgação e Desidratação de Petróleos Pesados e Extrapesados**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Química.

**Área de Concentração:** Química.

**Linha de Pesquisa:** Química do Petróleo e Biocombustíveis.

Orientador: Prof. Dr. Eustáquio Vinícius Ribeiro de Castro.

Co-orientador: Paulo Roberto Filgueiras.

**Vitória  
2019**

# **Desenvolvimento de Um Método Alternativo de Dessalgação e Desidratação de Petróleos Pesados e Extrapesados**

Cristina Maria dos Santos Sad

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Química do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor em Química.

Aprovada em 15/02/2019 por:

---

**Prof. Dr. Eustáquio Vinicius Ribeiro de Castro**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador

---

**Prof. Dr. Valdemar Lacerda Júnior**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador Interno

---

**Prof. Dr. Alvaro Cunha Neto**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador Interno

---

**Prof. Dr. Hosiberto de Sant 'Ana**  
Universidade Federal do Ceará  
Examinador Externo

---

**Prof.Dr. Adilson Ribeiro do Prado**  
Instituto Federal do Espírito Santo  
Examinador Externo

**Universidade Federal do Espírito Santo**  
Vitória, 15 de fevereiro de 2019.

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

S124d Sad, Cristina Maria dos Santos Sad, 1967-  
Desenvolvimento de Um Método Alternativo de Dessalgação e Desidratação de Petróleos Pesados e Extrapesados. : Dessalgação e Desidratação de Petróleos Pesados e Extrapesados / Cristina Maria dos Santos Sad Sad. - 2019.  
186 f. : il.

Orientador: Eustáquio Vinícius Ribeiro de Castro Castro.  
Coorientador: Paulo Roberto Filgueiras Filgueiras.  
Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas.

1. petróleo pesado. 2. tratamento. 3. dessalgação. 4. desidratação. 5. caracterização. 6. processamento primário. I. Castro, Eustáquio Vinícius Ribeiro de Castro. II. Filgueiras, Paulo Roberto Filgueiras. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Exatas. IV. Título.

CDU: 54

---



*“Dedico este trabalho a todos que buscam o conhecimento como forma de realização pessoal e profissional”.*

*Cristina Sad*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus ancestrais pela transmissão da essência que compõem o meu ser nesta realidade vivencial.

A família pela construção dos valores importantes para minha formação e pelo apoio incondicional.

A Marcos Aurélio Bertuce pelo incentivo, companheirismo, compreensão e toda dedicação dos últimos anos.

A meu orientador professor Dr. Eustáquio Vinícius Ribeiro de Castro pelo incentivo e oportunidade pela orientação e amizade construída nos últimos anos de convívio.

Ao Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Química Prof. Dr. Valdemar Lacerda Júnior por toda ajuda recebida durante o doutorado.

A todos os professores do Curso de Química UFES (Graduação e Pós) que contribuíram para minha formação acadêmica, em especial Prof. Dr. Paulo Roberto Filgueiras pela amizade, incentivo e parceria.

A equipe do Laboratório de Caracterização: Mayara Silva, Francine Santos, Rayane Corona, Láine Pereira, Dorval Neto, Luana Oliveira, Juliete Silva e Lívia Carvalho pela amizade e companheirismo.

A toda equipe LabPetro que participaram diretamente e indiretamente na elaboração desse trabalho, em especial a Suzy Soares e também ao Carlos Fraga, pela amizade, apoio e logística.

A todos os funcionários, companheiros de jornada, em especial a Dirce Fraga e Alex pelo apoio diário na secretária do PPGQUI.

Agradeço a Petrobras pelo fornecimento das amostras e ao Laboratório de Caracterização e Processamento Primário de petróleos - LabPetro- UFES pela estrutura que permitiu a execução dos ensaios.

Não menos importante agradeço aos meus filhos *Cats* (gatos) pelo carinho e companheirismo nas longas noites de estudo.



*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”  
(Arthur Schopenhauer)*

## SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS.....	13
LISTA DE SÍMBOLOS.....	15
LISTA DE TABELAS.....	16
LISTA DE TABELAS SUPLEMENTARES.....	17
LISTA DE EQUAÇÕES.....	18
LISTA DE FIGURAS.....	19
RESUMO.....	22
ABSTRAT.....	23
RESUMÉ.....	24
CAPÍTULO 1.....	22
1 Introdução.....	26
1.1 Petróleo.....	26
1.1.1 Petróleo pesado e extrapesado.....	28
1.1.2 Água de formação.....	32
1.1.2.1 Problemas associados à presença de água no petróleo.....	33
1.1.3 Emulsões de petróleos.....	35
1.1.3.1 Fatores que afetam a estabilidade das emulsões.....	41
1.1.3.2 Mecanismos de desestabilização de emulsões.....	42
1.1.3.2.1 Flocculação.....	43
1.1.3.2.2 Sedimentação.....	43
1.1.3.2.3 Coalescência.....	45
1.1.4 Processamento primário de petróleos.....	46
1.1.5 Propriedades que influem na separação A/O de petróleos pesados e extrapesados.....	48
1.1.6 Métodos utilizados para dessalgação e desidratação de petróleos.....	53
1.1.7 Patentes.....	64
1.1.8 Validação de método analítico.....	68
1.2 Objetivo geral.....	71
1.2.1 Objetivos específicos.....	71
1.3 Estrutura da tese.....	72
CAPÍTULO 2.....	73

Aplicação 1: Artigo científico nova metodologia de dessalgação de óleo pesado e extrapesados.....	73
Resumo.....	74
2.1 Introdução.....	75
2.1.1 Processos utilizados para separação de emulsão água A/O.....	76
2.1.2 Objetivos.....	78
2.2 Metodologia.....	78
2.2.1 Equipamentos.....	78
2.2.2 Reagentes.....	80
2.2.3 Amostras.....	80
2.2.4 Pré-tratamento das amostras.....	81
2.2.5 Procedimento de desidratação e dessalgação dos óleos pelo método convencional por centrifugação.....	81
2.2.6 Teste de recuperação para avaliar o desempenho do sistema de dessalgação desenvolvido.....	83
2.2.7 Teste de homogeneidade das emulsões A/O.....	84
2.2.8 Caracterização dos óleos.....	84
2.2.8.1 Teor de água.....	84
2.2.8.2 Índice de salinidade total (IST).....	85
2.2.8.3 Densidade e °API.....	85
2.2.8.4 Numero de acidez total (NAT).....	85
2.2.8.5 Enxofre total.....	86
2.2.8.6 Viscosidade dinâmica.....	86
2.2.8.7 Determinação do tamanho das gotas (DTG).....	86
2.2.9 Dessalgadora (protótipo).....	87
2.2.9.1 Reagentes e preparação da curva de calibração condutimétrica.....	88
2.2.9.2 Processo de dessalgação.....	89
2.3 Resultados e discussões.....	91
2.3.1 Teste de recuperação do sistema de dessalgação para avaliar a exatidão do método.....	91
2.3.2 Estabilidade das emulsões A/O dos óleos.....	94
2.3.3 Condições ótimas para a dessalgação de óleos pesados.....	95
2.3.4 Avaliação da eficiência do processo de dessalgação.....	96

2.3.5 Eficiência do sistema de dessalgação dos óleos através do monitoramento dos parâmetros físicas e químicas.....	98
2.4 Conclusão.....	99
CAPÍTULO 3.....	100
Aplicação 2: Patente de inovação tecnológica depositada no instituto nacional de propriedade industrial (INPI).....	100
Processo alternativo para tratamento de petróleos pesados e extrapesados para remoção de sais e água.....	100
RESUMO.....	101
3.1 Introdução.....	102
3.1.1 Desafios no tratamento de óleos não convencionais em escala laboratorial.....	103
3.1.2 Objetivos.....	106
3.1.2.1 Objetivos específicos.....	106
3.2 Metodologia.....	106
3.2.1 Equipamentos.....	106
3.2.2 Sistema de dessalgação e desidratação.....	108
3.2.3 Reagentes.....	110
3.2.4 Amostras.....	111
3.2.5 Pré-tratamento das amostras.....	111
3.2.6 Procedimento de desidratação dos óleos por centrifugação.....	113
3.2.7 Processo de dessalgação e desidratação dos óleos pelo processo alternativo.....	114
3.2.7.1 Processo de dessalgação.....	114
3.2.7.2 Configuração do rotaevaporador.....	115
3.2.7.3 Desidratação dos óleos dessalgados.....	116
3.2.7.4 Teste de recuperação para avaliar o desempenho do método alternativo.....	117
3.3 Resultados e discussões.....	118
3.3.1 Caracterização dos óleos dessalgados e desidratados por centrifugação e processo alternativo.....	118
3.3.2 Estabilidade das emulsões A/O dos óleos por DTG.....	120

3.3.3 Determinação dos melhores parâmetros de desidratação do rotaevaporador.....	121
3.3.4 Teste de recuperação do processo alternativo.....	122
3.3.5 Avaliação do desempenho do processo alternativo de dessalgação e desidratação.....	126
3.3.5.1 Dessalgação e desidratação dos óleos modelos (A, B, C, D e E).....	126
3.3.6 Validação do método alternativo de dessalgação e desidratação de petróleos.....	131
3.3.6.1 Dessalgação e desidratação dos óleos de validação.....	131
3.3.7 Avaliação do perfil dos óleos dessalgados e desidratados em termos de densidade e °API.....	132
3.4 Conclusões.....	135
CAPITULO 4.....	136
Aplicação 3: Artigo científico. Análise multivariada de dados aplicada na avaliação de misturas de petróleo bruto.....	136
RESUMO.....	137
4.1 Introdução.....	138
4.2 Metodologia.....	139
4.2.1 Preparação da amostra.....	139
4.2.2 Caracterização dos óleos dessalgados e desidratados.....	140
4.2.3 Quimiometria dos dados.....	142
4.3 Resultados e discussões.....	143
4.3.1 Análise de cada período de produção.....	143
4.3.2 Amostras de outliers.....	151
4.4 Conclusão.....	153
5 Conclusões gerais.....	154
6 Referencias bibliográficas.....	155
7 Material suplementar.....	170

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANOVA – Análise de variância (do inglês: *analysis of variance*)

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

A/O – Emulsão do tipo água em óleo

A/O/A – Emulsão água em óleo em água

As/Ar – Asfaltenos/Aromáticos

As/R – Asfaltenos/Resinas

ASTM – Sociedade Americana para Testes e Materiais (do inglês: *American Society for Testing and Materials*)

ATE – Alto teor de enxofre

BSW – Água e sedimentos (do inglês: *Basic Sediments and Water*)

BTE – Baixo teor de enxofre

CA – Corrente Alternada

CCE – Centro de Ciências Exatas

DTG – Distribuição do tamanho de gotas

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IUPAC – União Internacional de Química Pura e Aplicada

KF – Karl Fischer

LOD – Limite de detecção (do inglês: *limit of detection*)

LOQ – Limite de quantificação (do inglês: *limit of quantification*)

MIC – Combustão iniciada por microondas (do inglês: *microwave induced combustion*)

NAT – Número de acidez total (do inglês: *Total Acid Number*)

NCQP – Núcleo de Competências em Química do Petróleo

NIST – do inglês: *National Institute of Standards and Technology*

O/A – Emulsão do tipo óleo em água

PEO-PPO – Óxido de Polietileno e Óxido de Polipropileno (do inglês: *Polyethylene Oxide and Polypropylene Oxide*)

PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S. A.

PTFE – Politetrafluoretileno, teflon®

SAP – Saturados, Aromáticos e Polares

SARA – Saturados, Aromáticos, Asfaltenos e Resinas

UOP – do inglês: *Universal Oil Products*

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

XRF – Fluorescência de raios-X (do inglês *X-ray fluorescence*)

## LISTA DE SÍMBOLOS

°API – Grau API (do inglês: *American Petroleum Institute*)

μS – Microsiemens

μm – Micrometros

mS – Milisiemens

mbar – Milibar

cP – Centipoise

kV·cm<sup>-1</sup> – Kilovolt

mV – Milivolt

cm – Centímetro

MΩ – Megaohm

Hz – Hertz

σ – Desvio Padrão

P<sub>máx</sub> – Pressão máxima

T<sub>máx</sub> – Temperatura máxima

Pa·s – Pascal · segundo

°C – Graus Celsius

Rpm – Rotações por minuto

L – Litro

M – metro

T – Temperatura



## LISTA DE TABELAS