



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

CINTHYA RAQUEL DA COSTA SILVA

**PRODUÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DO SAL DA SALINA CIMSAL –
COMÉRCIO E INDÚSTRIA DE MOAGEM E REFINAÇÃO SANTA CECÍLIA
LTDA**

MOSSORÓ - RN

2018

CINTHYA RAQUEL DA COSTA SILVA

**PRODUÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DO SAL DA SALINA CIMSAL –
COMÉRCIO E INDÚSTRIA DE MOAGEM E REFINAÇÃO SANTA CECÍLIA
LTDA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Universidade Federal Rural
do Semi-Árido – UFERSA, Campus
Mossoró para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof. Dra. Kalyanne Keyly
Pereira Gomes.

MOSSORÓ-RN

2018

CINTHYA RAQUEL DA COSTA SILVA

**PRODUÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DO SAL DA SALINA CIMSAL –
COMÉRCIO E INDÚSTRIA DE MOAGEM E REFINAÇÃO SANTA CECÍLIA
LTDA**

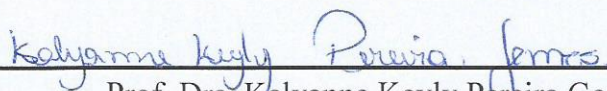
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Universidade Federal
Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Mossoró para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia
Química.

Orientadora: Prof. Dra. Kalyanne Keyly
Pereira Gomes.

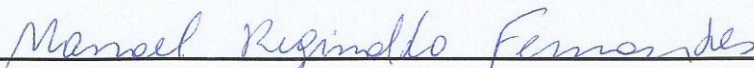
Supervisor de estágio: Ismael Lima
Verde Neto.

Defendido em: 17/09/2018.

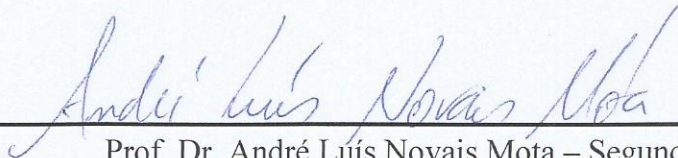
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Kalyanne Keyly Pereira Gomes – Orientadora.



Prof. Dr. Manoel Reginaldo Fernandes – Primeiro Membro.



Prof. Dr. André Luís Novais Mota – Segundo Membro.

MOSSORÓ-RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586p Silva, Cinthya Raquel da Costa.
PRODUÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DO SAL DA
SALINA CIMSAL: COMÉRCIO E INDÚSTRIA DE MOAGEM E
REFINAÇÃO SANTA CECÍLIA LTDA / Cinthya Raquel da
Costa Silva. - 2018.
32 f. : il.

Orientadora: Kalyanne Keyly Pereira Gomes.
Relatório (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Química, 2018.

1. Cloreto de sódio. 2. Evaporação solar . 3.
Produção. 4. Análises físico-químicas. I. Gomes,
Kalyanne Keyly Pereira , orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que sempre foi o centro da minha vida, pelo seu incondicional amor e misericórdia, que, por sua infinita bondade permitiu a realização de mais esta etapa da minha vida. Glória, pois, a Ele eternamente.

Aos meus pais, que fizeram do meu sonho o sonho deles, nunca deixando me faltar incentivos e que acreditaram em mim quando nem eu mesma acreditei. O amor de vocês me leva além, e tudo que eu conquistar terá muito vocês no meio.

A minha irmã, que dividiu comigo, além do mesmo teto durante toda a graduação, as alegrias, medos e dificuldades enfrentadas. Por toda sua paciência e bondade sou grata.

A todos os professores. Destaco a professora e orientadora Kalyanne Gomes, por todo conhecimento transmitido, disposição, paciência e compromisso com a profissão a qual exerce lindamente.

A todos os amigos e colegas que fiz na faculdade, o apoio acadêmico e emocional de vocês me fez seguir em frente todas as vezes que me senti incapaz.

A CIMSAL, por me receber tão bem. A todos os setores da empresa, e de modo especial aos amigos da qualidade, Genecleide, Mattheaus, Klebinho, Ademário e Francisco, sempre dispostos a sanar minhas dúvidas e me fazerem sorrir. Vocês fizeram parte do meu crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

Principal veículo de iodo para consumo humano, o cloreto de sódio, também conhecido como sal de cozinha, é um mineral constituído pelos íons de cloro e sódio, extremamente abundantes na água do mar, sendo esta a principal matéria prima do sal marinho. O presente trabalho tem por objetivo descrever a produção, beneficiamento e dá enfoque nas análises físico-químicas necessárias para averiguar se o produto atende as especificações das legislações vigentes realizadas pela empresa salineira CIMSAL: Comércio e Indústria de Moagem Santa Cecília Ltda. O processo de produção do sal marinho da empresa é baseado em duas etapas: a primeira diz respeito a obtenção do sal *in natura*, obtido a partir da captação da água do mar, submetido a evaporação solar, e, após cristalizado, lavado; a segunda refere-se ao beneficiamento do sal, onde é moído, refinado e envazado, etapa também responsável pela adição de iodato de potássio e o antiemectante ferrocianeto de sódio.

Palavras-chaves: Cloreto de sódio, produção, evaporação solar, análises físico-químicas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Egípcios salgando pássaros para conserva (a) e pescadores holandeses da idade média salgando peixe para conserva (b).	3
Figura 2 – Fluxograma de produção de sal.....	6
Figura 3 – Área de captação da Salina Pedrinhas.....	6
Figura 4 – Área de evaporação e cristalização da Salina Pedrinhas.....	8
Figura 5 – Cristalizadores da Salina Pedrinhas.	9
Figura 6 – Régua medindo laje de sal.	9
Figura 7 – Sal sendo colhido.	10
Figura 8 – kibrás despejando sal bruto para lavagem.....	10
Figura 9 – Lavador de sal.	11
Figura 10 – Sprays de lavagem.	11
Figura 11 – Esteiras carregando sal para estocagem.	12
Figura 12 – Formação da pilha de sal.....	12
Figura 13 – Amostras para determinação de cálcio e magnésio antes (rosa) e depois de titulados (azul).	17
Figura 14 - Amostra para determinação de iodo antes (azul escuro) e depois de titulados (incolor).	19
Figura 15 – Amostra para determinação de cloretos antes (amarela) e depois de titulado (marrom-avermelhado).....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição salina da água do mar.	4
Tabela 2 – Tipos de embalagem de acordo com a linha de consumo.	13
Tabela 3 - Limites máximos da umidade, Cálcio, Magnésio e Sulfato segundo a NBR 10.888 (Unidades em %).	14
Tabela 4 – Características granulométricas do sal destinado a consumo humano.	21

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
2.1	História do sal	2
2.2	Matéria prima: água do mar	3
2.3	O sal	4
2.4	A empresa	4
2.5	Produção de sal na CIMSAL	5
2.5.1	Evaporadores	6
2.5.2	Concentradores	7
2.5.3	Cristalizadores	8
2.5.4	Colheita e lavagem do sal.....	9
2.5.5	Beneficiamento	13
3	METODOLOGIA.....	14
3.1	Análises físico-químicas	14
3.1.1	Determinação de densidade	15
3.1.2	Determinação de dureza	15
3.1.2.1	Cálcio	16
3.1.2.2	Magnésio	16
3.1.3	Determinação do iodo.....	18
3.1.4	Determinação de cloreto	19
3.1.1	Determinação do pH.....	20
3.1.1	Determinação da umidade	21
3.1.2	Análise granulométrica.....	21
4	SUGESTÕES	23
4.1	Instrumentação para sistema de iodação.....	23
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
6	REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

O cloreto de sódio, conhecido popularmente como sal de cozinha, é um mineral amplamente utilizado nos vários setores da indústria, tais como: alimentícia, química e têxtil. Formado pela junção dos elementos químicos cloro e sódio, sua fórmula química é dada por NaCl.

As altas concentrações de sal nos alimentos conseguem inibir a proliferação de microrganismos, conservando-os em boas condições de consumo por um maior tempo, então, o sal passou a ser indispensável em qualquer sociedade que pretendesse ter uma reserva alimentícia. O uso do sal por parte dos humanos data desde os tempos antigos, onde o sal era considerado um objeto valioso digno de transações comerciais. A tal ponto chegava sua importância, que passou a ser usado como forma de pagamento no período romano, sendo esta a origem da palavra “salário”.

O cloreto de sódio é um mineral importante e de necessidade vital para o corpo humano, desde que administrado de forma correta e em quantidades ponderadas. Sem o sódio, o organismo seria incapaz de transportar nutrientes ou oxigênio, transmitir impulsos nervosos ou mover músculos, e está envolvido na regulação da quantidade de água do organismo. Uma das mais importantes funções do cloreto de sódio é servir como veículo para o consumo de iodo pelos seres humanos. A iodação tornou-se obrigatória no Brasil desde 1953 pela Lei nº 1.944, hoje, essa prática deve obedecer aos limites e providências da última resolução (RDC/ANVISA Nº 23 de 24 de abril de 2013). A escolha dessa prática está ligada ao fato do sal está presente diariamente e em quantidades suficientes na alimentação humana, além deste ser comercializado a um preço bastante acessível a todas classes sociais.

A CIMSAL – Comércio e Indústria de Moagem e Refinação Santa Cecília Ltda, fundada em 1.974, conta com uma área de produção de aproximadamente 3.000 hectares, e está entre as cinco maiores produtoras de sal marinho, alcançando uma produção de mais de 600 mil toneladas de sal por ano.

Este trabalho possui como objetivo descrever os processos de separação do cloreto de sódio da água do mar e detalhar os ensaios físico-químicos realizados para determinação da qualidade do sal dentro dos parâmetros estabelecidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

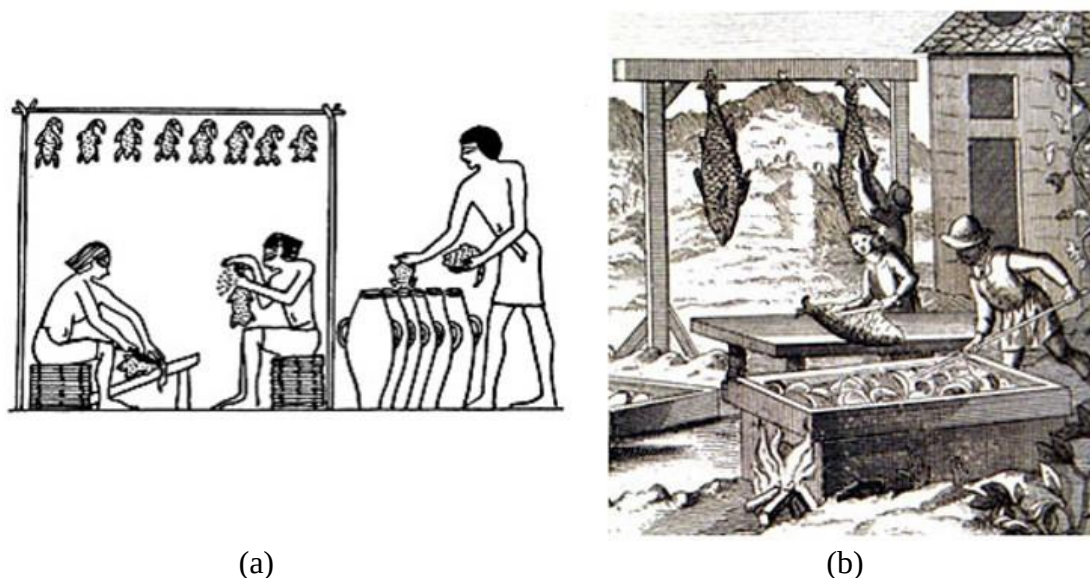
2.1 História do sal

Os registros do uso do sal datam de 5 mil anos. Já era usado na Babilônia, no Egito, na China e em civilizações pré-colombianas. Nas civilizações mais antigas, contudo, apenas as populações costeiras tinham acesso (INSUMOS, 2018).

O sal estaria diretamente ligado a origem da palavra salário, que deriva do latim *salarium argentum*, que significa “pagamento em sal”. Escasso e precioso, o sal era vendido a peso de ouro. Entre os exemplos históricos é conhecido o costume romano de pagar em sal parte da remuneração dos soldados. Além disso, esta substância servia como um importante conservante alimentar. A existência da defumação (procedimento tradicional de conservação dos alimentos feito em fogão a lenha) como método de conserva, não era suficientemente eficaz e porventura, a salga oferecia uma novidade: alterava o pH e inviabilizando o crescimento de microrganismos nos alimentos. A Figura 1 mostra o exercício dessa prática (MENDES et al, 2012; NORSAL, 2018).

Por ser tão valioso, o sal foi alvo de muitas disputas. Roma e Cartago entraram em guerra em 250 a.C. pelo domínio da produção e da distribuição do sal no Mar Adriático e no Mediterrâneo. O monopólio e o peso dos impostos sobre o sal foram estopim de grandes rebeliões. Na França, a elevação de uma taxa criada em 1340, onde o povo era obrigado a comprar sal diretamente dos armazéns do rei, que estipulava o preço de maneira arbitrária, chamada Gabelle, ajudou a precipitar a Revolução Francesa, em 1789. Séculos depois, na Índia, as taxas abusivas cobradas pelos ingleses encorajaram o movimento da desobediência civil, liderado por Ghandi, na década de 1930. Até o início do século XX a Etiópia usava discos de sal como moedas e em algumas regiões da África central, era possível comprar uma noiva com um bom carregamento de sal. (CISNE, 2018; INSUMOS, 2018).

Figura 1 – Egípcios salgando pássaros para conserva (a) e pescadores holandeses da idade média salgando peixe para conserva (b).



Fonte: NORSAL (2018).

2.2 Matéria prima: água do mar

Nos oceanos e mares acumularam-se sais, produto de bilhões de anos de ação erosiva das águas sobre os solos e rochas. Estes sais, juntamente com compostos orgânicos e gases estão dissolvidos no meio líquido, num percentual de 3,5%, isso significa que a água do mar é constituída por 96,5% de água pura e 3,5% de sais (a maior parte é cloreto de sódio, NaCl). Os sais correspondem à maioria dos elementos em dissolução no meio marinho e estão relacionados com a propriedade da água denominada salinidade - quantidade total, em gramas, de sais inorgânicos contidos em um quilograma de água do mar (UFRGS, 2018).

Em países tropicais, como o Brasil, a água do mar é a principal matéria prima para a obtenção de sal. Aproximadamente 40 milhões de toneladas de cloreto de sódio são removidos do mar a cada ano, tanto para o consumo humano como para a produção de produtos químicos (USP, 2018).

A composição salina da água do mar é mostrada na Tabela 1:

Tabela 1 – Composição salina da água do mar.

Elemento	Íon	Quantidade presente (g por 1000g de água do mar)
Cloro	Cl ⁻	18,9500
Sódio	Na ⁺	10,4800
Cálcio	Ca ²⁺	0,4080
Magnésio	Mg ²⁺	1,2650
Sulfato	SO ₄ ²⁻	2,6430
Potássio	K ⁺	0,3800
Bromo	Br ⁻	0,0650
Carbonato	CO ₃ ²⁻	0,0161
Outros	-	0,9443
Total		35,1514

Fonte: Adaptada de Geertman (2000).

2.3 O sal

O sal comum, ou cloreto de sódio (NaCl), é um composto químico constituído por dois elementos químicos, o sódio e o cloro, onde cerca de 40% da composição total é sódio (Na) e 60% de cloro (Cl). Apresenta-se sob a forma de cristais brancos, inodoro e com sabor salino próprio. É um mineral importante para o corpo humano, desde que administrado de forma correta e em quantidade ponderada, de modo a manter a pressão sanguínea e o volume de sangue no organismo, entre outras funções principais (MENDES et al, 2012).

A pureza do sal varia segundo sua origem. O sal de mina, por exemplo, contém entre 95% e 99% de cloreto de sódio. Já o sal evaporado mecanicamente e o sal produzido por evaporação solar apresentam em geral pureza acima de 99%. O sal evaporado feito com salmoura purificada atinge o mais alto grau de pureza - em alguns casos, mais de 99,99% NaCl (NORSAL, 2018).

2.4 A empresa

A CIMSAL – Comércio e Indústria de Moagem e Refinação Santa Cecília Ltda., é uma indústria do ramo salineiro que atua no mercado a 44 anos, e está entre as cinco maiores empresas produtoras de sal por evaporação solar do Brasil. Fundada em 1974,

hoje conta com uma área de produção de aproximadamente 3000 hectares, alcançando uma produção de mais de 600 mil toneladas de sal por ano (CIMSAL, 2018).

A empresa possui Matriz em Areia Branca/RN, e Filiais em Mossoró/RN, Fortaleza/CE e São Bernardo do Campo/SP, e tem como objetivo, no contrato social, a produção, extração, moagem e refino do sal marinho.

O parque industrial é formado pelas Salinas Pedrinhas, onde o foco do processo é produzir sal para consumo humano e Uirapuru, responsável pela produção de sal para indústria química e consumo animal. E além da atividade de produção e extração de sal marinho por evaporação solar, está estruturado com os processos de refino e moagem do produto, para atender a diversos segmentos de mercado consumidor, em especial: alimentação humana, animal e indústria química.

2.5 Produção de sal na CIMSAL

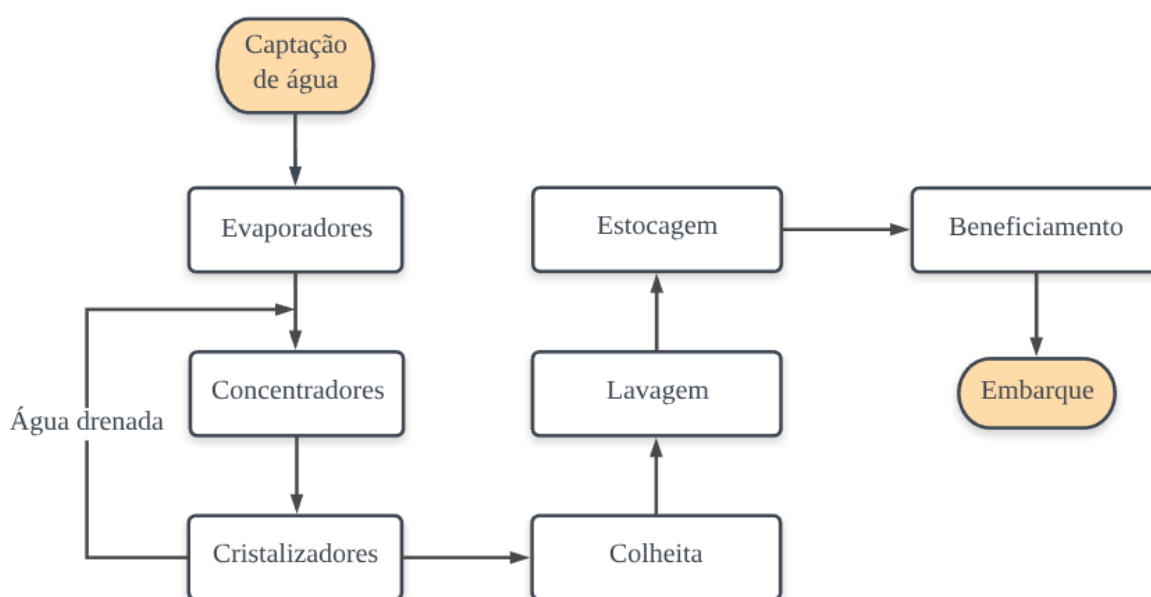
A CIMSAL é produtora de sal marinho, por isso utiliza a água do mar como matéria-prima. A água do mar é captada do Rio Mossoró e bombeada para dentro de uma sequência de evaporadores e concentradores, onde a evaporação solar aumenta gradativamente a concentração de sais, até o ponto em que a salmoura está saturada de cloreto de sódio. Neste momento é transferida para os cristalizadores onde a precipitação do sal ocorre antes de haver a cristalização dos sais que possam contaminar o produto. Este sal cristalizado é posteriormente colhido, lavado para retirada de impurezas e estocado em pilhas, ficando pronto para ser beneficiado.

Os equipamentos utilizados no beneficiamento do sal são totalmente construídos em aço inoxidável, instalados em duas refinarias com capacidade de produção de 30 ton/hora (CIMSAL, 2018).

O sal produzido pela empresa é distribuído ao mercado brasileiro através de marcas, que atendem ao consumo humano, à pecuária e a indústria química, como por exemplo: Sosal, Dunas, Caiçara, Colorado, dentre outros.

O processo produtivo da Salina Pedrinhas, onde foi realizado o estágio, pode ser melhor entendido a partir do fluxograma de processo abaixo (Figura 2), seguido da explanação de algumas partes fundamentais do processo.

Figura 2 – Fluxograma de produção de sal.



Fonte: Autoria própria (2018).

2.5.1 Evaporadores

A água que chega aos evaporadores é oriunda da captação do Rio Apodi-Mossoró que ocorre diariamente através de 3 bombas flutuantes, esta água é captada com cerca de 5 graus Baumé. Nesse momento, já se inicia a precipitação de sais. A Figura 3 mostra o início processo.

Figura 3 – Área de captação da Salina Pedrinhas.



Fonte: Autoria própria (2018).

Os evaporadores têm por objetivo fazer com que a água adquira a concentração de cloreto de sódio necessária para entrar nos concentradores. Na CIMSAL, os evaporadores são interligados, de forma que a água é transferida por ação gravitacional para o evaporador seguinte em forma de um extenso circuito. O longo caminho percorrido por essas salmouras tem o propósito de expô-las por mais tempo ao sol e os ventos.

Quando a água do mar é concentrada gradualmente, óxido de ferro (Fe_2O_3 e carbonato de cálcio (CaCO_3) começam a cristalizar (no entanto a quantidade de óxido de ferro produzido é insignificante), e se depositam nos evaporadores, não contaminando os cristais de cloreto de sódio que ainda serão formados. (GEERTMAN, 2000).

Os evaporadores da empresa estão localizados no setor Santo Antônio.

2.5.2 Concentradores

A CIMSAL possui 5 concentradores, situados na sub-região Antônio Vieira, e são alimentados por bombas do Santo Antônio com a salmoura do último evaporador.

O carbonato de cálcio continua se precipitando até a salmoura atingir próximo de 18 graus Baumé, porém numa proporção bem menor que os outros sais, assim, a retirada é inviável (custo benefício), e é deixado nos concentradores para promover a calagem – correção de acidez dos solos –, auxiliando a “proteção” das salmouras e evitando a perda destas (GEERTMAN, 2000). Em seguida, o Sulfato de Cálcio (CaSO_4) começa a precipitar.

Ainda segundo Geertman (2000) aproximadamente 90% da água deve ser evaporada antes de o sal começar a cristalizar, assim apenas 10% da água de captação é enviada aos cristalizadores (junto aos sais).

Os concentradores da salina possuem canais que se interligam tanto aos cristalizadores da Salina Pedrinhas, quanto aos cristalizadores da Salina Iracema. A área de evaporação e concentração da primeira salina é apresentada na Figura 4:

Figura 4 – Área de evaporação e cristalização da Salina Pedrinhas.



Fonte: Arquivo digital da empresa (2018).

2.5.3 Cristalizadores

Os cristalizadores têm a função de receber a salmoura saturada – conhecida nas salinas como água-mãe – que continua exposta a evaporação solar até que todo o sal se aglutine na forma de cristais, formando as lâminas de sal.

Devido a tensão superficial da água os pequenos cristais de sal começam a se formar na superfície dos cristalizadores (flor de sal), e com o aumento dos cristais, estes se tornam mais pesados e se depositam no fundo dos cristalizadores.

Depois de cristalizar cerca de 75% do cloreto de sódio disponível (estágio em que 97% da água foi evaporada), o Brometo de Sódio (NaBr) vai começar a cristalizar como uma solução sólida; Sais de magnésio, potássio, sulfato e cloreto, tais como Sulfato de Magnésio (MgSO_4) e Cloreto de Magnésio (MgCl_2) também cristalizam (GEETMAN, 2000). A precipitação desses sais indesejáveis comprometem a qualidade e pureza do sal e ocorrem quando água-mãe atinge 28 graus Baumé, então, antes desse grau ser atingido faz-se necessária a drenagem dessa salmoura para comportas laterais, que retornam aos primeiros concentradores.

A CIMSAL conta com 22 cristalizadores na Salina Pedrinhas (Figura 5), e 12 na Salina Iracema. Quando a laje de sal depositada no fundo dos cristalizadores atinge aproximadamente 30 cm (Figura 6), é iniciado o processo de colheita.

Figura 5 – Cristalizadores da Salina Pedrinhas.



Fonte: Arquivo digital da empresa (2018).

Figura 6 – Régua medindo laje de sal.



Fonte: Arquivo digital da empresa (2018).

2.5.4 Colheita e lavagem do sal

O processo de colheita se inicia com a escarificação das lâminas de sal dos cristalizadores feita por escavadeiras.

Após a coleta desse sal escarificado – sal bruto –, este é encaminhado ao lavador por meio de carretas com uma série de caçambas (Figura 7), conhecidas na empresa

como “kibráz” (Figura 8). O sal bruto é descarregado no funil de alimentação do sistema de lavagem.

Figura 7 – Sal sendo colhido.



Fonte: Arquivo digital da empresa (2018).

Figura 8 – kibrás despejando sal bruto para lavagem.



Fonte: Autoria própria (2018).

O processo de lavagem do sal é necessário para que ocorra a remoção de insolúveis, tais como areia e resto de vegetais. No processo usual, há uso de água advinda de dois locais: as próprias salmouras e água captada do braço de mar – água fria. Isso é feito para que haja uma menor perda do sal (SOUZA et al, 2013), no entanto, a CIMSAL não utiliza a água oriunda dos concentradores, em vez disso, o processo é

iniciado apenas com a água fria, que fica recirculando até adquirir o grau necessário a partir da dissolução do sal bruto nesta água de reciclo. Quando essa “nova” salmoura atinge densidade maior que 26 graus Baumé, é usada água do mar para diluição.

O sal bruto é homogeneizado com o fluxo dessa salmoura em transporte hidráulico (Figura 9), processo muito eficiente, uma vez que, promove uma grande turbulência no fluxo de sal e salmoura, garantindo uma maior eficácia da lavagem. O sal lavado é colocado sobre esteiras e passa por uma segunda lavagem realizada por sprays com água do mar, mostrado abaixo na Figura 10.

Figura 9 – Lavador de sal.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 10 – Sprays de lavagem.



Fonte: Autoria própria (2018).

O sal continua seguindo por uma sequência de esteiras de aço (Figura 8) com intuito de reduzir a umidade do sal, levando o mesmo para empilhamento (Figura 9) e estocagem. Neste ponto, é feita a secagem natural, processo também é conhecido por cura do sal, de forma que a condição físico-química do sal irá depender do tempo de cura o qual o mesmo foi submetido (ALBUQUERQUE JUNIOR, 2018 apud SILVA, 2007).

Figura 11 – Esteiras carregando sal para estocagem.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 12 – Formação da pilha de sal.



Fonte: Autoria própria (2018).

2.5.5 Beneficiamento

Após a cura, o sal da pilha está pronto para o beneficiamento. O sal *in natura* é descarregado num funil de alimentação, onde sobe por um elevador de canecas para o moinho de martelos. Durante o processo de moagem são acrescentados os aditivos ou não, conforme a finalidade de uso, e, em seguida, o sal é transportado por roscas (transportadoras helicoidais) para o secador de leito fluidizado. Após a secagem, o sal passa por peneiras vibratórias que selecionam o produto na granulometria específica. Todos esses processos: secagem, peneiramento e embalagem a vácuo são feitos sem contato externo ao sal, possibilitando uma maior garantia da qualidade do sal.

Os aditivos consistem de iodato de potássio (KIO_3) e o antiumectante ferrocianeto de sódio ($\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$), que são adicionados ao produto por microaspersão de vazão controlada manualmente pelos laboratoristas, e, é alterada quando as quantidades de aditivos no sal analisado estão fora das especificações.

O envase do sal na CIMSAL é totalmente automatizado, sem nenhum contato manual, e é embalado de acordo com a linha do produto. O tamanho e os tipos de embalagens adequadas para cada linha produzida são observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Tipos de embalagem de acordo com a linha de consumo.

Linha	Tipo	Embalagem
Food-service	Refinado.	Sachet 1g
Consumo Humano	Refinado, Moído e Grosso para Churrasco.	10x1 kg - 30x1 kg
Consumo Industrial	Grosso, Moído, Triturado, Peneirado, Granulado e micronizado.	25 kg - 50 kg - Big-bag

Fonte: CIMSAL (2018).

3 METODOLOGIA

As atividades de estagio foram realizadas em dois laboratórios: um principal, onde são feitas todas as análises necessárias da água do mar, salmoura e do produto final – o sal embalado –, e um laboratório de apoio, localizado dentro da refinaria, onde são analisados teores de sódio e granulometria parcial a cada 30 minutos após o início da produção.

3.1 Análises físico-químicas

Saber a quantidade de sais, nutrientes e características do sal que consumimos faz parte do comportamento do consumidor atual.

Analisar o sal distribuído ao comércio é uma parte obrigatória no controle de qualidade e sanitário nas salinas. As análises físico-químicas servem para delimitar as informações nutricionais, verificar a presença de elementos que possam apresentar riscos à saúde humana ou animal, dados que obrigatoriamente devem constar nos rótulos de produtos alimentícios.

A legislação que aprova os padrões de qualidade e identidade do sal estabelece alguns ensaios destinados a comprovar o atendimento a critérios mínimos de qualidade. Além da verificação do teor de umidade, são realizados outros ensaios para determinar a concentração de impurezas no sal. Essas impurezas cristalizam com o sal durante o processo de fabricação, mas existem limites máximos (Tabela 3) para cada uma na legislação, cujos valores dependem do tipo do sal (INMETRO, 2018).

Tabela 3 - Limites máximos da umidade, Cálcio, Magnésio e Sulfato segundo a NBR 10.888 (Unidades em %).

Ensaio	Sal Comum (Moído, Grosso, Triturado ou Peneirado)		Sal Refinado
	Tipo 1	Tipo 2	Refinado
Umidade (máx)	2,500	3,000	0,200
Cálcio (máx)	0,070	0,140	0,070
Magnésio (máx)	0,050	0,080	0,070
Sulfato (máx)	0,210	0,420	0,280

Fonte: Adaptado de INMETRO (2018).

Além do sal produzido, a água de captação dos rios e salmouras dos cristalizadores também passam por análises.

São analisados para a salmoura e água do mar: densidade, dureza (teores de cálcio e magnésio), sulfato, cloretos e pH. Já o sal passa por análise granulométrica, dureza, teor de iodo, pH e quantificação de umidade.

3.1.1 Determinação de densidade

A verificação da densidade da salmoura é feita a partir da leitura em um areômetro de Baumé. Faz-se necessária a realização desta análise uma vez que deve existir um controle do grau que cada água apresenta, pois, este é um parâmetro de concentração fundamental para entrada das novas águas nos evaporadores, determinar a sequências para os concentradores, cristalizadores e, por conseguinte o descarte da salmoura para colheita do sal (ALBUQUERQUE JUNIOR, 2018).

A salmoura para análise é despejada em uma proveta até preenche-la totalmente, em seguida mergulha-se o areômetro lentamente, evitando que este entre em contato com o fundo/paredes da proveta, e é feita a leitura do grau.

3.1.2 Determinação de dureza

Dureza está associada à presença de cátions metálicos, especificamente os íons de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}). Estes cátions estão presentes no sal porque a água do mar, além de conter muito cloreto de sódio, também possui compostos de cálcio e magnésio, que precisam ser retirados do produto, pois a presença excessiva desses íons pode conferir ao sal uma coloração cinzenta e gosto amargo (SUPER INTERESSANTE, 2018).

A concentração de íons cálcio, magnésio e sulfatos é indicativo da qualidade do sal; quanto menor seus teores, mais puro será o sal. O cloreto de sódio puro não é higroscópico, o que torna o sal úmido é a presença do cloreto de magnésio, cloreto de cálcio e sulfatos de magnésio e cálcio (ZENEBON; PASCUET; TIGLEA, 2008).

A análise de ambos os íons para a água do mar e salmoura se inicia a partir da retirada de 10mL da amostra, em seguida transferido para um balão volumétrico (200 mL) de fundo chato, aferindo-se até o menisco com água destilada. Já para os sais de

granulometria baixa, são pesados, com auxílio de um béquer, em uma balança analítica, precisamente – até a segunda casa decimal – 20 g da amostra, e dissolvido manualmente em um balão de mesmo volume. Para sal de granulometria maior, a dissolução é feita no balão com auxílio de agitador magnético.

3.1.2.1 Cálcio

São transferidos 10 mL da amostra preparada em balão para um erlenmeyer de 250 mL, acrescido de 25 mL de água destilada, 5 mL de hidróxido de sódio 20% e uma pequena quantidade do indicador calcon (ácido calconcarboxílico), suficiente para a mistura apresentar coloração rosada. A solução é então titulada lentamente com EDTA (etilenodiaminotetracético) 0,01M até a viragem de cor para o azul (Figura 11).

Com base na quantidade de EDTA 0,01M gasto para titulação é calculado o percentual de cálcio no sal, a partir da equação abaixo:

$$\%Ca = V_{EDTA} * FC_{EDTA} * 0,04008$$

Onde:

- V_{EDTA} corresponde ao volume gasto de EDTA 0,01M até a viragem de cor;
- FC_{EDTA} corresponde ao fator de correção do EDTA 0,01M;
- 0,04008 corresponde ao miliequivalente grama do cálcio.

E o percentual de cálcio na salmoura por:

$$\%Ca = V_{EDTA} * FC_{EDTA} * 0,802$$

Onde:

- V_{EDTA} corresponde ao volume gasto de EDTA 0,01M até a viragem de cor;
- FC_{EDTA} corresponde ao fator de correção do EDTA 0,01M.

3.1.2.2 Magnésio

Após serem transferidos 10 mL da amostra preparada em balão para um erlenmeyer de 250 mL, são acrescidos 25 mL de água destilada, 10 mL de solução tampão (pH 10) de cloreto de amônio com hidróxido de amônio e uma pequena quantidade do indicador negro de eriocromo T, conferindo a mistura uma coloração rosada. Titula-se com EDTA 0,01M até a viragem da cor para o azul (Figura 11).

Com base na quantidade de EDTA 0,01M gasta para titulação é calculado o percentual de magnésio no sal, a partir da Equação 2:

$$\%Mg = (V_{EDTA(Mg)} - V_{EDTA(Ca)}) * FC_{EDTA} * 0,02432$$

Onde:

- $V_{EDTA(Mg)}$ corresponde ao volume gasto de EDTA 0,01M na titulação de magnésio;
- $V_{EDTA(Ca)}$ corresponde ao volume gasto de EDTA 0,01M na titulação de cálcio;
- FC_{EDTA} corresponde ao fator de correção do EDTA 0,01M;
- 0,02432 corresponde ao miliequivalente grama do magnésio.

E o percentual de magnésio na salmoura por:

$$\%Mg = (V_{EDTA(Mg)} - V_{EDTA(Ca)}) * FC_{EDTA} * 0,486$$

Onde:

- $V_{EDTA(Mg)}$ corresponde ao volume gasto de EDTA 0,01M na titulação de magnésio;
- $V_{EDTA(Ca)}$ corresponde ao volume gasto de EDTA 0,01M na titulação de cálcio;
- FC_{EDTA} corresponde ao fator de correção de EDTA 0,01M;

Figura 13 – Amostras para determinação de cálcio e magnésio antes (rosa) e depois de titulados (azul).



Fonte: Autoria própria (2018).

3.1.3 Determinação do iodo

A iodação – operação que consiste na adição do micronutriente iodo na forma de iodato de potássio ao sal – é obrigatória no Brasil desde os anos 50, pela Lei nº 1.944 de 14 de agosto de 1953, nas regiões bocígenas do país. Em 1956, a medida passou para todo o território nacional e, em 1974, de acordo com a Lei nº 6.150, de 3 de dezembro deste mesmo ano, passou a ser proibido, em todo o território nacional, expor ou entregar ao consumo direto sal comum ou refinado que não contenha iodo nos teores estabelecidos em Portaria do Ministério da Saúde. Hoje, a resolução vigente estabelece pela RDC N° 23, de 24 de abril de 2013 no artigo quinto que “somente será considerado próprio para consumo humano o sal que contiver teor igual ou superior a 15 (quinze) miligramas até o limite máximo de 45 (quarenta e cinco) miligramas de iodo por quilograma de produto” (BRASIL, 2018).

A determinação do iodo é realizada a partir da titulação com tiosulfato de sódio 0,005N da solução preparada em erlenmeyer contendo 200 mL de água destilada, 2 mL de solução de amido 1%, 2 mL da solução de iodato de potássio a 10%, 5 mL da solução de ácido sulfúrico 1N e 10 g do sal à análise. A solução que adquire coloração azul na presença de iodo é titulada até a viragem para o incolor, e a porcentagem de iodo é dada por:

$$I_{(\text{ppm})} = V_{\text{TIO}} * FC_{\text{TIO}} * 10,58$$

Onde:

- V_{TIO} corresponde ao volume de tiosulfato de sódio 0,005N gasto até a viragem de cor;
- FC_{TIO} corresponde ao fator de correção da solução de tiosulfato de sódio 0,005N.

Figura 14 - Amostra para determinação de iodo antes (azul escuro) e depois de titulados (incolor).



Fonte: Autoria própria (2018).

3.1.4 Determinação de cloreto

A determinação de cloreto nas salmouras é realizada pelo método de Mohr, que se baseia em titular o nitrato de prata com solução-padrão de cloreto de sódio, usando solução de cromato de potássio como indicador. No método de Mohr, os íons cloreto são titulados com solução padronizada de nitrato de prata (AgNO_3), na presença de cromato de potássio (K_2CrO_4) como indicador. O ponto final da titulação é identificado quando todos os íons Ag^+ tiverem se depositado sob a forma de AgCl , logo em seguida haverá a precipitação de cromato de prata (Ag_2CrO_4) de coloração marrom-avermelhada, pois, o cromato de prata é mais solúvel que o cloreto de prata (USP, 2018).

São transferidos 20 mL de salmoura para um balão volumétrico de fundo chato de 200 mL e preenchido até o menisco com água destilada. Dessa diluição são retirados 10 mL, inseridos em um erlenmeyer, seguido da adição de 50 mL de água destilada, 5 gotas de cromato de potássio a 5% e então titulado com nitrato de prata 0,1N até a viragem da cor amarela para o marrom-avermelhado (Figura 12). Anota-se o volume de nitrato gasto na titulação.

O teor de cloreto é calculado a partir de:

$$\text{Cl}_{(\text{ppm})} = V_{\text{AgNO}_3} * \text{FC}_{\text{AgNO}_3} * 3,55$$

Onde:

- V_{AgNO_3} corresponde ao volume gasto de nitrato de prata 0,1N;
- $V_{\text{EDTA}(\text{Ca})}$ corresponde ao fator de correção do nitrato de prata 0,1N.

Figura 15 – Amostra para determinação de cloretos antes (amarela) e depois de titulada (marrom-avermelhado).



Fonte: Autoria própria (2018).

3.1.1 Determinação do pH

A determinação do pH é realizada a partir da dissolução de 5 g de sal em aproximadamente 50 mL de água destilada em um béquer, a fita de pH é embebida na solução por alguns segundos até os indicadores da fita mudarem de cor, essas cores são comparadas com uma escala que vem impressa na embalagem. Para salmoura, a fita é introduzida diretamente na amostra.

3.1.1 Determinação da umidade

Segundo a NBR 10.888:1989 – Norma da Associação Brasileira de Normas técnicas – ABNT –, o sal comum precisa possuir até 2,5% de umidade para sal do tipo 1 e até 3% para sal do tipo 2, sendo este o valor máximo que se deve atingir. A determinação da umidade feita na CIMSAL é realizada através de balança determinadora de umidade modelo MB25 – OHAUS.

3.1.2 Análise granulométrica

Granulometria diz respeito ao tamanho dos grãos. Na indústria salineira, esse parâmetro é de suma importância, pois, é este que determina a classificação do sal comum em: sal grosso, peneirado, triturado ou moído.

De acordo com decreto nº 75.697, de 6 de maio de 1975, que aprova padrões de identidade e qualidade para o sal destinado ao consumo humano, o cloreto de sódio obedecerá às seguintes características granulométricas, apresentadas na Tabela 4:

Tabela 4 – Características granulométricas do sal destinado a consumo humano.

Características granulométricas	
Tipo de sal	Granulometria
Grosso	Sem especificações granulométricas.
Peneirado	Retenção máxima de 5% na peneira nº 4 com 4,76mm de abertura.
Triturado	Retenção máxima de 5% na peneira nº 7 com 2,83mm de abertura.
Moído	Retenção máxima de 5% na peneira nº 18 com 1,00mm de abertura.
Refinado	Retenção máxima de 5% na peneira nº 20 com 0,84mm de abertura e mínima de 90% na peneira 140 com 0,105mm de abertura.

Fonte: Adaptado do decreto nº 75.697, de 6 de maio de 1975.

Todos os sais produzidos na CIMSAL são submetidos a ensaios granulométricos, até mesmo o grosso que não possui especificações por lei. Esses ensaios ocorrem para conferir um padrão ao produto comercializado, padrão esse exigidos de maneiras distintas por cada cliente.

Os testes de grãos são realizados em peneiras que se diferem entre si pela abertura das malhas, sobrepostas, dispostas em ordem decrescente de abertura. O sal para análise é despejado nas peneiras, e com o auxílio de um agitador, as peneiras são agitadas por 30 segundos. Em seguida, em uma balança analítica são feitas as pesagens do sal retido em cada uma das peneiras.

$$\% \text{ de sal retido} = \frac{MSB - MB}{MA} * 100$$

Onde:

- MSB: Massa de sal retido em cada peneira depositada em Becker;
- MB: Massa de tara do Becker;
- MA: Massa da amostra.

4 SUGESTÕES

4.1 Instrumentação para sistema de iodação

Como já discutido anteriormente, desde 1953 a iodação de sal para consumo humano é obrigatória por lei, e essa ação é feita a partir da adição de iodato de potássio por bombas de micro aspersão – com vazão controlada manualmente – durante a moagem do sal grosso. No entanto, deve-se haver um controle rigoroso e constante dessa adição, tendo em vista que o iodo no sal deve chegar ao consumidor final em quantidades muito baixas e precisas, ademais, esse aditivo possui elevado valor comercial. Alterações nas vazões das bombas são realizadas frequentemente devido a não precisão da carga que entra no moinho.

A inclusão de uma balança de fluxo contínuo (balanças para pesagem de grãos em fluxo) instrumentada a um sistema de controle de vazão das bombas de micro aspersão – baseado na carga alimentada – agregaria a produção do sal iodado, possibilitando o controle preciso, sem interferir no fluxo contínuo, da quantidade de iodato de potássio aspergido sobre o sal, além de evitar o possível desperdício deste aditivo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria salineira se destaca como uma importante fonte de economia do estado potiguar, pois, apesar de ter um baixo custo de produção e comercialização na região, o cloreto de sódio é produzido em larga escala e distribuído para a maior parte do Brasil.

A obtenção de sal marinho por evaporação solar é um processo antigo e simples, no entanto dependioso, pois grande parte da obtenção do sal ocorre de forma natural, sendo consequência da região, clima e tempo.

Sendo levadas em consideração a importância e a quantidade do consumo de sal para a saúde humana, as análises físico-químicas (determinadas por legislações que aprovam os padrões de identidade e qualidade do sal) tornam-se indispensáveis para que se mantenha o padrão desejado, e, devido a isso, devem ser realizadas em minúcia periodicamente, para que atendam, ao menos, os critérios mínimos de qualidade estabelecidos.

Ao decorrer do estágio pôde-se observar conteúdos ministrados em sala de aula durante todo o curso, desde as disciplinas eletivas, como Química Analítica (dentro do laboratório de qualidade, durante as titulações, preparo de soluções padrão utilizado nas análises, diluição, entre outros), às disciplinas obrigatórias. As operações unitárias se fizeram muito presentes. Operações como: peneiramento, bombeamento, secagem, decantação, evaporação e cristalização são extremamente desenvolvidas e observadas dentro da empresa. O conhecimento adquirido na cadeira de Princípios de Processos Químicos também foi de suma importância, tendo em vista que praticamente toda a técnica realizada para obtenção do sal estudada é realmente vista em prática. A estratégia de controle *feedback*, lecionada na disciplina de Instrumentação e Controle, foi observada durante a etapa de beneficiamento do sal, quando se fazia necessário um ajuste de vazão após a quantidade de aditivos no produto pronto para envase encontrar-se fora das especificações.

A relação prática/teórica foi de extrema importância para crescimento pessoal e profissional. Conseguir relacionar conhecimento acadêmico com a experiência vivida na salina, passa a possibilitar a tomada de decisões mais rápidas e eficazes a partir de agora.

6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE JÚNIOR, Edmilson Barros de. **RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO DESENVOLVIDO NA EMPRESA SALINOR? SALINAS DO NORDESTE S/A**. 2018. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

BRASIL, AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Ministério da saúde Decreto nº 75.697, de 6 de maio de 1975. Aprova padrões de identidade e qualidade para o sal destinado ao consumo humano. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, maio de 1975. Seção 1, p. 1.

BRASIL, AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Ministério da saúde Resolução nº 23, de 24 de abril de 2013. Dispõe sobre o teor de iodo no sal destinado ao consumo humano e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 abr. 2013. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/res0023_23_04_2013.html>. Acesso em: 27 ago. 2018.

CIMSAL. Disponível em: <<http://www.cimsal.com.br/qualidade.html>>. Acesso em: 03 set. 2018.

CISNE. Disponível em: <<http://www.salcisne.com.br/conhecimentos-reais.php.html>>. Acesso em: 03 set. 2018.

GEERTMAN, R. M. **Sodium chloride: crystallization**. Disponível em: <https://www.thevespiary.org/library/Files_Uploaded_by_Users/Sedit/Chemical%20Analysis/Encyclopedia%20of%20Separation%20Science/Level%20III%20%20Practical%20Applications/SODIUM%20CHLORIDE%20-%20CRYSTALLIZATION.pdf>. Acesso em: 02 set. 2018.

INMETRO. **Sal para consumo humano**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/sal2.asp?iacao=imprimir>>. Acesso em: 04 set. 2018.

INSUMOS. **Sal e seus substitutos.** Disponível em: <http://insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes/materias/246.pdf>. Acesso em: 05 set. 2018.

MENDES, Alexandra. et al. **Produção de Sal.** Disponível em: <<https://alvarovelho.net/attachments/article/47/producaosal.PDF>>. Acesso em: 03 set. 2018.

NOSAL. Disponível em: <http://www.norsal.com.br/main.php?g_ct=sal>. Acesso em: 03 set. 2018.

SILVA, Moisés Batista. **A terminologia do sal no RN: uma abordagem socioterminológica.** Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza – CE, 2007.

SOUZA, Isadora Rebeca Andrade de; RODRIGUES, Bruno Henrique Madruga de Almeida; COSTA, Diego Alberto Ferreira da. Gestão ambiental: estudo de caso em uma salina do estado do Rio Grande do Norte. In: Encontro Nacional De Engenharia De Producao, 18., 2013, Salvador. **Artigo.** Salvador: ABEPRO, 2013. p. 2 - 14.

SUPER INTERESSANTE. **Como o sal é extraído do mar? Segredo das salinas é retirar impurezas da água usada como matéria-prima.** Disponível em: <<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-o-sal-e-extraido-do-mar/>>. Acesso em 28 ago. 2018.

UFRGS. **Salinidade do ambiente marinho.** Disponível em: <<http://mdmat.mat.ufrgs.br/acqua/Textos/concentracao.htm>>. Acesso em: 02 set. 2018.

USP. **Determinação de Cloretos em Água (Método de Mohr).** Disponível em: <<http://www.iqsc.usp.br/iqsc/servidores/docentes/pessoal/mrezende/arquivos/aula11.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

USP. **Mares.** Disponível em: <<http://www.mares.io.usp.br/iof201/c6b.html>>. Acesso em: 05 set. 2018.

ZENEBO, Odair; PASCUET, Neus Sadocco; TIGLEA, Paulo. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos.** 4. ed. São Paulo: Ial, 2008. 1020 p.