

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

SAMARA REGINA DANTAS DOS SANTOS

**CONFECÇÃO DE ARGAMASSA DE REBOCO UTILIZANDO RESÍDUO
PROVENIENTE DA EXTRAÇÃO DA SCHEELITA**

NATAL/RN

2019

SAMARA REGINA DANTAS DOS SANTOS

**CONFECÇÃO DE ARGAMASSA DE REBOCO UTILIZANDO RESÍDUO
PROVENIENTE DA EXTRAÇÃO DA SCHEELITA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Phd. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

NATAL/RN

2019

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Santos, Samara Regina Dantas dos.

Confecção de argamassa de reboco utilizando resíduo proveniente da extração da scheelita / Samara Regina Dantas dos Santos. – Natal, 2019. 66f.

Orientador: Profº. PhD. Fábio Sergio da Costa Pereira.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Engenharia civil – Monografia. 2. Argamassa – Monografia. 3. Resíduo – Monografia. 4. Scheelita – Monografia. 5. Sustentabilidade – Monografia. I. Pereira, Fábio Sergio da Costa. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

SAMARA REGINA DANTAS DOS SANTOS

**CONFECÇÃO DE ARGAMASSA DE REBOCO UTILIZANDO RESÍDUO
PROVENIENTE DA EXTRAÇÃO DA SCHEELITA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNIRN) como requisito final para obtenção do título de graduação em Engenharia Civil

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fábio Sérgio da Costa Pereira
Professor Orientador

Prof. MSc. Tomás Barros Vasconcelos
Convidado Interno

Prof. MSc. Anna Luiza Nobre
Convidado Externo

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ter me abençoado com a oportunidade de cursar esta graduação, aos meus pais, que investiram em uma educação de qualidade tanto dentro de casa quanto fora dela, pelo amor e aos amigos e familiares por estarem comigo nessa empreitada, compartilhando os conhecimentos e sempre me apoiando para não desistir, em nenhum momento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem a permissão Dele, não seria possível a conclusão deste trabalho;

Agradeço aos meus pais Assis e Marta, por todo investimento feito em minha vida através do amor, paciência, carinho e respeito, pelos valores ensinados, pelo exemplo que ficou de um pai e de uma mãe que batalharam para criar sua filha de forma honesta e responsável;

Agradeço aos meus irmãos Rodrigo e Rafaela que sempre me incentivaram e me ajudaram na formação acadêmica;

Agradeço ao meu namorado Wagner Gadelha que caminhou comigo e compartilhou muitos momentos. Obrigada pelo apoio, pelo cuidado, compreensão, e por toda paciência que te exigiu durante a elaboração desse trabalho, você foi meu suporte para conquistar esse objetivo;

Agradeço a Mariana Josino, uma amiga fiel que caminhou juntamente comigo durante toda jornada acadêmica na graduação, onde dividimos inúmeras felicidades, angústias e aflições. Obrigada por sua amizade, com seu apoio e companheirismo essa trajetória foi menos árdua;

Agradeço a todos os colegas e amigos que contribuíram de alguma forma para a realização deste sonho.

“Ninguém caminha sem aprender a caminhar, sem aprender a fazer o caminho caminhando, refazendo e retocando o sonho pelo qual se pôs a caminhar.”

(Paulo Freire)

RESUMO

A indústria da construção civil busca por minimizar os impactos ambientais provocados pelo descarte inadequado dos resíduos gerados por suas atividades. Diante disso, surge a necessidade da busca pelo desenvolvimento sustentável, e uma das iniciativas da área é o incremento de resíduos na fabricação dos materiais, que para isso são necessários estudos que avaliem o desempenho e a viabilidade econômica destes. Este trabalho objetiva a confecção de uma argamassa com utilização do resíduo do minério (a Scheelita), em substituição do agregado miúdo (a areia) e a verificação experimental do desempenho dessa argamassa foi realizada nos laboratórios do Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN), avaliando se a mesma apresenta as qualidades técnicas necessárias para sua utilização na construção civil. Avaliou-se a granulometria por meio da ABNT NBR 248:2003. Em seguida, foi feita análise das propriedades mecânicas (resistências a compressão e potencial de aderência a tração), absorção de água por imersão e a durabilidade. Os resultados obtidos mostram que a argamassa possui viabilidade para comercialização, visto que, em todos os ensaios os resultados alcançaram valores satisfatórios.

Palavras-chave: Argamassa. Resíduo. Scheelita. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The construction industry seeks to minimize the environmental impacts caused by the inappropriate disposal of waste generated by its activities. On the face of it, there is a need to search for sustainable development, and one of the initiatives in this area is the increase of usage in the manufacture of materials, which requires studies that evaluate the performance and economic viability of these. This work aims at making a grout using the ore residue (Scheelite), replacing the small aggregate (sand). The experimental verification of the performance of this grout was carried out in the laboratories of the Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN), evaluating if it presents the technical qualities necessary for its use in civil construction. The granulometry was evaluated the norm ABNT NBR 248: 2003. Afterwards, the mechanical properties were analyzed (compressive strengths and traction adhesion potential), immersion water absorption and durability were analyzed. The results showed that the grout is viable for commercialization, since in all the tests the results reached satisfactory values.

Keywords: Grout. Residue. Scheelite. Sustainability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diferentes alternativas de revestimento de parede.....	21
Figura 2 - Fatores que exercem influência na aderência de argamassa sobre bases porosas.....	28
Figura 3 - Mapa do estado do Rio Grande do Norte – Brasil, com destaque para o município de Currais Novos.....	42
Figura 4 - Parte da rocha da scheelita.....	43
Figura 5 - Divisão do material inicial posto na mesa vibratória.....	45
Figura 6 - Resumo esquemático do processo de beneficiamento da scheelita	46
Figura 7 - Dunas de rejeito.....	47
Figura 8 - Conjunto de peneiras.....	48
Figura 9 - Argamassa pronta ainda na betoneira.....	49
Figura 10 - Corpos de prova em processo de moldagem.....	50
Figura 11 - Corpos de prova moldados e secos.....	50
Figura 12 - Prensa hidráulica.....	51
Figura 13 - Corpos de prova imersos em água com cal.....	51
Figura 14 - Corpo de prova seco.....	52
Figura 15 - Corpo de prova saturado.....	53
Figura 16 - Processo de assentamento da argamassa.....	53
Figura 17 - Placas de concreto com assentamento da argamassa.....	54
Figura 18 - Pastilhas metálicas coladas na argamassa.....	54
Figura 19 - Equipamento Pull-off.....	55
Figura 20 - Argamassa exposta ao ambiente externo.....	55
Figura 21 - Resíduos retidos nas peneiras - amostra 1.....	57
Figura 22 - Resíduos retidos nas peneiras - amostra 2.....	57
Figura 23 - Resistência à compressão de argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos.....	59
Figura 24 - Registro de um dos ensaios de aderência.....	61
Figura 25 - Aplicação de argamassa com adição de scheelita após 8 meses de exposição s 8 meses após exposição.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos	23
Quadro 2 - Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para revestimentos de argamassa de paredes (emboço e camada única), segundo a NBR 13749 (ABNT, 1996).....	27
Quadro 3 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	35
Quadro 4 - Análise granulométrica da amostra 1.....	56
Quadro 5 - Análise granulométrica da amostra 2.....	57
Quadro 6 - Resultados da resistência a compressão dos CPS.....	58
Quadro 7 - Resultados dos ensaios de absorção de água.....	60
Quadro 8 - Resultados dos ensaios de aderência.....	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA	15
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 JUSTIFICATIVA	17
4 METODOLOGIA	18
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
5.1 HISTÓRICO DAS ARGAMASSAS	19
5.2 ARGAMASSAS	20
5.2.1 Argamassa de revestimento	20
5.2.2 Estrutura dos revestimentos	21
5.2.2.1 Substrato	21
5.2.2.2 Chapisco	22
5.2.2.3 Emboço	23
5.2.2.5 Camada Única	24
5.2.2.6 Revestimento decorativo (ou monocapa) – RDM	24
5.2.3 Propriedades das argamassas de revestimentos	24
5.2.3.1 Propriedades no estado fresco	24
5.2.3.1.1 <i>Trabalhabilidade</i>	24
5.2.3.1.2 <i>Adesão inicial</i>	25
5.2.3.1.3 <i>Retenção de água</i>	26
5.2.3.1.4 <i>Massa específica e teor de ar incorporado</i>	26
5.2.3.2 Propriedades no estado endurecido	27
5.2.3.2.1 <i>Aderência</i>	27
5.2.3.2.2 <i>Capacidade de absorção e deformações</i>	29
5.2.3.2.3 <i>Retração</i>	29
5.2.3.2.4 <i>Resistência mecânica</i>	29
5.2.3.2.5 <i>Durabilidade</i>	30
5.2.4 Argamassas produzidas com resíduos	30
5.3 MATERIAIS COMPONENTES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTOS	30
5.3.1 Aglomerantes	30

5.3.1.1 Cimento	31
5.3.1.2 Cal	34
5.3.2 Agregados (areia natural e artificial)	35
5.3.3 Adições	36
5.3.4 Aditivos	36
5.3.5 Água de amassamento	36
5.4 TIPOS DE ADERÊNCIA DA ARGAMASSA AO SUBSTRATO.....	37
5.4.1 Aderência mecânica.....	37
5.4.2 Aderência química.....	37
5.5 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	38
5.5.1 Execução do ensaio	38
5.5.1.1 Preparo dos corpos-de-prova.....	38
5.5.1.1.1 Ensaaios em obra.....	38
5.5.1.1.2 Ensaaios em laboratório.....	38
5.5.1.2 Número de determinações	38
5.5.1.2.1 Ensaaios em obra ou em laboratório.....	38
5.5.1.3 Distribuição dos corpos-de-prova.....	39
5.5.1.4 Corte do revestimento	39
5.5.1.5 Colagem das pastilhas	39
5.5.1.5.1 Preparo da superfície.....	39
5.5.1.5.2 Colagem das pastilhas.....	39
5.6 ASPECTOS DA DOSAGEM E DO PREPARO DAS ARGAMASSAS.....	40
5.6.1 Princípios dos métodos de dosagem	40
5.6.2 Preparo das argamassas	40
6 CONTEXTUALIZAÇÃO DA MINERAÇÃO	41
6.1 AMÉRICA LATINA E BRASIL.....	41
6.2 RIO GRANDE DO NORTE.....	41
6.3 SCHEELITA.....	43
8 ESTUDO DE CASO	47
8.1 COLETA DO MATERIAL.....	47
8.2 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	47
8.3 COMPOSIÇÃO DO TRAÇO.....	48
8.4 CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DE VIGAS E PILARES COM RESÍDUO PURO.....	48

8.5 RESISTENCIA A COMPRESSAO.....	50
8.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	52
8.7 ADERÊNCIA.....	53
8.8 DURABILIDADE.....	55
9 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
10 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA ARGAMASSA DE REBOCO COM ADIÇÃO DE SHELITTA.....	62
11 CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é considerado uma das atividades industriais mais importantes para o desenvolvimento econômico do país, gerando renda e emprego para a população, dentre as suas principais características compreende-se também, o elevado desperdício e o grande impacto ambiental provocado pela capacidade de gerar um volume considerável de resíduos relacionados à construção Civil (RCC) e pela grande quantidade de matéria-prima utilizada, sendo motivo de diversas discussões quanto à necessidade de se buscar o desenvolvimento sustentável e sintetizar as relações negativas entre construção e meio ambiente.

Diante da busca para minimizar os impactos ambientais provocados pela construção civil, o desenvolvimento sustentável procura promover modificações conscientes nos processos produtivos, de forma que atenda às necessidades das edificações, do setor econômico, social, como também, do meio ambiente, sem abdicar da moderna tecnologia. Obtendo assim, soluções para as principais problemáticas ambientais de sua época, garantindo qualidade de vida para a presente e futuras gerações. Por meio das procuras por alternativas que beneficiem o entorno, as empresas estão repensando nos seus papéis como propulsores do desenvolvimento, buscando adotar sistemas produtivos mais eficientes, aliados as gestões que permitam incorporar as questões de sustentabilidade.

Segundo Rocha e Cheriaf (2003), a indústria da construção civil apresenta-se, dentro deste contexto, com um grande potencial para a solução desses problemas, pela viabilidade que apresenta de incorporação desses resíduos nos materiais de construção, possibilitando, ainda, redução nos custos dos produtos da edificação.

Este trabalho vem colaborar para a redução dessa problemática, mais especificamente no que diz respeito a minimização da extração da matéria prima (agregado miúdo), na medida em que se faz o aproveitamento do substrato de scheelita na fabricação de argamassa de revestimento, contribuindo para o crescimento sustentável da construção civil na Região do Seridó em Currais Novos–RN, localizada a 172 km da capital estadual, Natal/RN.

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

Atualmente, há uma busca constante para redução de desperdícios e otimização dos processos de edificação no mercado da construção civil. Esse olhar de mercado nas áreas das engenharias tende a envolver novas técnicas e métodos que buscam menores custos de produção, como também, a redução na geração de resíduos e que possibilitem a execução de cada etapa construtiva em prazos mais curtos. Por meio disso, o presente trabalho visa mostrar o aproveitamento do rejeito da mineração (a scheelita) na fabricação de argamassa de revestimento, contribuindo assim, para a transformação de um rejeito da indústria da mineração em um resíduo útil para a construção civil. Corroborando assim para o desenvolvimento sustentável na área, visto que a estocagem dos rejeitos Op. Cit., são normalmente inadequados, gerando sérios danos ao meio ambiente, tais como: assoreamentos dos rios, emissão de particulados, etc., bem como, uma interferência na paisagem cênica no entorno do local de armazenamento.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Confeccionar e analisar o desempenho de uma argamassa com a utilização do rejeito da scheelita, visando dar um destino sustentável a este substrato, e minimizar o consumo e a extração do agregado miúdo (areia), com realização de pesquisa bibliográfica tomando como base livros, monografias e artigos disponíveis em plataformas digitais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar um traço para a produção de uma argamassa de reboco utilizando a scheelita em substituição da areia fina;
- Analisar o desempenho e a qualidade da argamassa através dos ensaios de aderência, absorção de água, durabilidade e resistência a compressão;
- Contribuir com o desenvolvimento tecnológico e diminuição do passivo ambiental na indústria da construção civil;
- Colaborar com a sustentabilidade ambiental, viabilizando uma alternativa de utilização para os rejeitos da mineração;
- Realizar uma análise econômica visando um comparativo de custo de produção da argamassa convencional x argamassa com scheelita, visando a futura possibilidade de comercialização da argamassa com scheelita.

3 JUSTIFICATIVA

O mercado consumidor torna-se cada vez mais competitivo exigindo da construção civil um alto grau de qualidade na prestação de serviços e produtos e na busca pelo desenvolvimento sustentável.

Esta pesquisa traz como proposta estudar formas alternativas de minimizar a degradação ao meio ambiente ocasionado pela extração da areia natural, neste caso, fazendo o reaproveitamento do rejeito da mineração da scheelita (passivo ambiental) para a fabricação de uma argamassa para reboco.

Com base nos resultados obtidos por meio dos ensaios tecnológicos, foi avaliado se a argamassa produzida com o rejeito da mineração da scheelita apresenta as qualidades técnicas necessárias para ser utilizada na construção civil, bem como, se existe a viabilidade econômica para a sua comercialização. Adicionalmente, foi verificado se o agregado utilizado contribuiu de forma positiva ou negativa diante da busca por um material (agregado miúdo) que possa substituir os sedimentos arenosos (areias quartzosas) encontrados na natureza, principalmente nos depósitos flúvio-lacustre.

Havendo a viabilidade na utilização do rejeito da mineração, esta contribuirá para a eliminação de um passivo ambiental decorrente da extração mineral, acarretando assim, em uma produção mais limpa (P+L), além de contribuir para a geração de emprego e renda na região, proporcionando também o avanço tecnológico na área com o desenvolvimento de pesquisa científica.

A elaboração deste trabalho, portanto, encontra como principais motivos os elementos mencionados acima, com vistas de saná-las ou, pelo ao menos, minimizá-las.

4 METODOLOGIA

Para a elaboração desta pesquisa, foi necessária a realização de estudos preliminares tomando como base artigos científicos disponíveis em plataformas digitais, monografias, dissertações, sites de referências, entre outras fontes bibliográficas.

A pesquisa em questão produziu uma argamassa com características sustentáveis, por meio da utilização do rejeito da scheelita em substituição de 100% do agregado miúdo (areia).

O material que foi estudado foi coletado na Mina Brejuí, localizada no município de Currais Novos/RN, e posteriormente levado ao Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN), onde foi realizado os ensaios técnicos de qualidade das argamassas conforme estabelece a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), tais como:

NBR NM 248 (ABNT, 2003) – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica.

NBR 9778 (ABNT, 1987) – Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica.

NBR 14081-4 (ABNT, 2012) – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4: Determinação da resistência de aderência a tração.

NBR 5739 (ABNT, 2018) – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

Finalizando os ensaios, foram analisados se os resultados obtidos em laboratório atendem as exigências previstas nas normas da ABNT, além disso, estes resultados foram comparados com outros estudos que empregaram a mesma metodologia.

Para a caracterização do estudo de viabilidade econômica do produto gerado, foi empregado o comparativo de custo do metro cúbico de uma argamassa com agregado fino.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 HISTÓRICO DAS ARGAMASSAS

Conforme Carasek (2007), argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais

As argamassas são materiais muito empregados na construção civil, sendo os seus principais usos no assentamento de alvenarias e nas etapas de revestimento, como emboço, reboco ou revestimento de camada única de paredes e tetos, além de contrapisos para a regularização de pisos e ainda no assentamento e rejuntamento de revestimentos de cerâmica e pedra (CARASEK, 2007).

Os primeiros registros de emprego de argamassa como material de construção são da pré-história, há cerca de 11.000 anos. No sul da Galiléia, próximo de Yiftah'el, em Israel, foi descoberto em 1985, quando de uma escavação para abrir uma rua, o que hoje é considerado o registro mais antigo de emprego de argamassa pela humanidade: um piso polido de 180 m², feito com pedras e uma argamassa de cal e areia, o qual se estima ter sido produzido entre 7.000 a.C. e 9.000 a.C. (EUROPEAN MORTAR INDUSTRY ORGANIZATION – EMO, 2006 apud CARASEK, 2007).

Como visto, as argamassas mais antigas eram à base de cal e areia. No entanto, com as alterações das técnicas de construção, novos materiais foram desenvolvidos. As argamassas modernas geralmente possuem em sua composição também o cimento Portland e, muito frequentemente, aditivos orgânicos para melhorar algumas propriedades, como a trabalhabilidade. Esses aditivos são, por exemplo, os incorporadores de ar que modificam a reologia da massa fresca pela introdução de pequenas bolhas de ar, ou mesmo os aditivos retentores de água (à base de ésteres de celulose, os quais regulam a perda de água de amassamento). Já no final do século XIX surgiram, na Europa e nos Estados Unidos, as argamassas industrializadas, misturas prontas, dosadas em plantas industriais, para as quais, na obra, só é necessária a adição de água (EMO, 2006 conforme autor Op. Cit).

5.2 ARGAMASSAS

5.2.1 Argamassa de revestimento

Segundo a NBR 7200, ABNT (1998), argamassa é a mistura de aglomerantes, agregados e água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência.

A NBR 13281, ABNT (2005), define argamassa como uma mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

Os revestimentos de argamassas têm como função proteger os elementos de vedação da edificação da ação direta dos agentes agressivos, auxiliar das vedações nas suas funções de isolamento, como também regularizar a superfície dos elementos de vedação, que servirá de suporte regular para outro revestimento ou constituir-se no acabamento final, contribuindo para a estética de paredes, vedações e fachadas.

Segundo Carasek (2007), as principais funções de um revestimento são:

- Proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, no caso de revestimentos externos;
- Integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções, tais como: isolamento térmico (~30%), isolamento acústica (~50%),
- Estanqueidade à água (~70 a 100%), segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais;
- Regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos, contribuindo para a estética da edificação.

Visando satisfazer às funções citadas anteriormente, algumas propriedades tornam-se essenciais para essas argamassas, a saber:

- Trabalhabilidade, especialmente consistência, plasticidades e adesão inicial;
- Retração;
- Aderência;
- Permeabilidade à água;
- Resistência mecânica, principalmente a superficial;
- Capacidade de absorver deformações. (CARASEK, 2007)

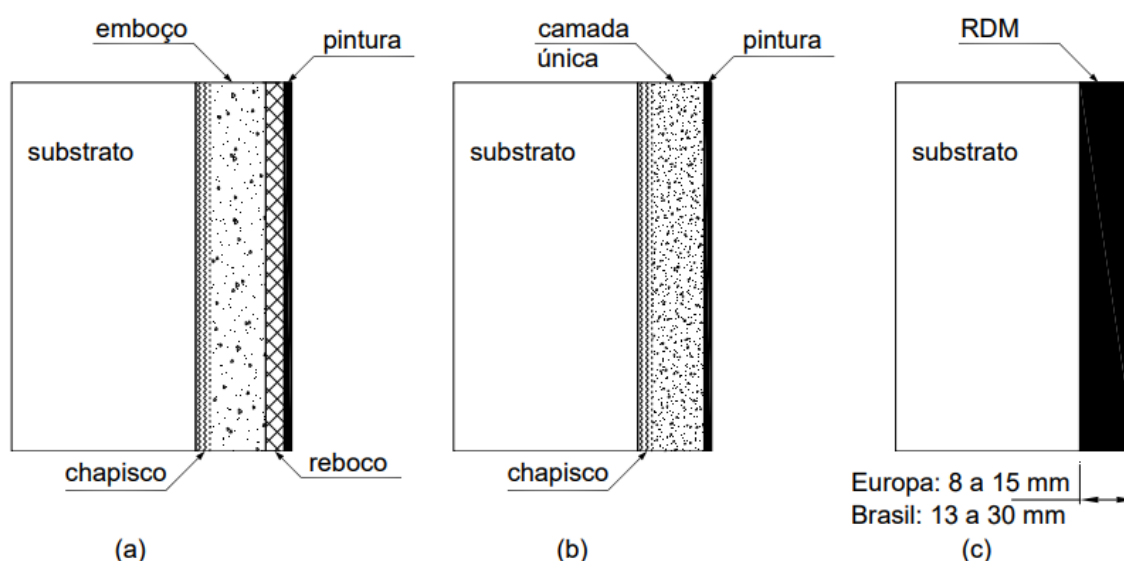
A NBR 13749, ABNT (1996), prescreve que o revestimento de argamassa deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições, tais como: cavidades, fissuras, manchas e eflorescência, devendo ser prevista na especificação de projeto a aceitação ou rejeição, conforme níveis de tolerâncias admitidas.

5.2.2 Estrutura dos revestimentos

A NBR 13528, ABNT (2013), define sistema de revestimento como um conjunto formado por argamassas e acabamento, compatível com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto.

O revestimento de argamassa é constituído por diversas camadas com características e funções específicas, conforme exemplificado na figura 1:

Figura 1- Diferentes alternativas de revestimento de parede



Fonte: Carasek (2007).

Legenda- Diferentes alternativas de revestimento de parede: (a) emboço + reboco + pintura (sistema mais antigo, atualmente pouco utilizado); (b) camada única + pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM).

5.2.2.1 Substrato

É a base para aplicação das camadas de revestimento, normalmente os mais empregados são as bases de alvenaria e estrutura de concreto. O substrato, principalmente aqueles que não são aplicados chapiscos, podem ter grande influência na qualidade final do revestimento em função da diversidade de características e

textura: absorventes, impermeáveis, lisos, rugosos, rígidos e deformáveis (SANTOS, 2008).

A NBR 7200 ABNT (1998), especifica que as bases de revestimentos devem atender às exigências de planeza, prumo e nivelamento fixados nas normas de alvenaria e estrutura de concreto. Quando a base for composta por diferentes materiais e for submetida a esforços que gerem deformações diferenciais consideráveis, (tais como, balanços, platibandas e últimos pavimentos), deve-se utilizar tela metálica, plástica ou de outro material semelhante na junção destes materiais, criando uma zona capaz de suportar as movimentações diferenciais a que estará sujeita. Alternativamente, pode ser especificada a execução de uma junta que separe o revestimento aplicado sobre os dois materiais, permitindo que cada parte se movimente independentemente.

Yazigi (1998) recomenda iniciar o preparo da base removendo sujeiras ou incrustações como óleo, desmoldante e eflorescência empregando vassouras de piaçaba, escova de aço ou equipamento de água pressurizada. Devem ser removidos pregos, arames, pedaços de madeira e outros materiais estranhos. É preciso preencher os vazios provenientes de rasgos, quebra parcial de blocos, depressões localizadas e outros defeitos com argamassas de mesmo traço da que será utilizada no revestimento. Em caso de rasgos maiores para embutimento de instalações é necessário colocar telas de aço zincada de fio 1,65 mm e malha de 15 mm x 15 mm ou similar.

5.2.2.2 Chapisco

Camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento (CARASEK, 2007).

Maciel, Barros e Sabbatini (1998) relacionam as seguintes características dos chapiscos:

- Chapisco tradicional – argamassa de cimento, areia e água que adequadamente dosada resulta em uma película rugosa, aderente e resistente;
- Chapisco industrializado – argamassa semelhante à argamassa colante, sendo necessário acrescentar água no momento da mistura. A aplicação é realizada com desempenadeira dentada somente sobre superfície de concreto;

- Chapisco rolado – argamassa bastante plástica obtida através da mistura de cimento, areia, água e adição de resina acrílica, A aplicação é realizada com rolo para textura acrílica sobre superfícies de alvenaria e concreto.

5.2.2.3 Emboço

Segundo Yazigi (1998), o emboço somente poderá ser aplicado após a pega completa do chapisco. A NBR 7200 (ABNT 1998) relata que este chapisco deverá apresentar idade mínima de três dias antes da aplicação do emboço, sendo que para climas quentes e secos, com temperaturas acima de 30 °C, este prazo pode ser reduzido para dois dias.

5.2.2.4 Reboco

A NBR 7200, ABNT (1998) prescreve que para cada aplicação de nova camada de argamassa exige, de acordo com a finalidade e com as condições do clima, a umidificação da camada anterior. A argamassa de revestimento não deve ser aplicada em ambientes com temperatura inferior a 5 °C. Em temperatura superior a 30 °C, devem ser tomados cuidados especiais para a cura do revestimento, mantendo-o úmido pelo menos nas 24 horas iniciais através da aspersão constante de água. Este procedimento deve ser adotado em situações de baixa umidade relativa do ar, ventos fortes e insolação forte e direta sobre os planos revestidos.

A NBR 13749, ABNT (1996) estabelece as seguintes espessuras para revestimento interno e externo de paredes e tetos conforme a quadro 1:

Quadro 1- Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos

Revestimento	Espessura (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Teto interno e externo	$e \leq 20$

Fonte: Adaptado de Carasek (2007).

5.2.2.5 Camada Única

Carasek (2007) define camada única como revestimento de um único tipo de argamassa aplicado à base, sobre o qual é aplicada uma camada decorativa, como, por exemplo, a pintura; também chamado popularmente de “massa única” ou “reboco paulista” é atualmente a alternativa mais empregada no Brasil.

5.2.2.6 Revestimento decorativo (ou monocapa) – RDM

Carasek (2007), trata-se de um revestimento aplicado em uma única camada, que faz, simultaneamente, a função de regularização e decorativa, muito utilizado na Europa. A argamassa RDM é um produto industrializado, ainda não normatizado no Brasil, com composição variável de acordo com o fabricante, contendo geralmente: cimento branco, cal hidratada, agregados de várias naturezas, pigmentos inorgânicos, fungicidas, além de vários aditivos (plastificante, retentor de água, incorporador de ar, etc.).

5.2.3 Propriedades das argamassas de revestimentos

5.2.3.1 Propriedades no estado fresco

5.2.3.1.1 *Trabalhabilidade*

A trabalhabilidade é a propriedade que garantirá não só condições de execução, como também o adequado desempenho do revestimento em serviço. Deve-se ajustar a trabalhabilidade da argamassa à sua forma de aplicação na obra. Assim, relativo à aplicação, a consistência e a plasticidade da argamassa deverão ser diferentes se a argamassa for aplicada por meio de colher de pedreiro (aplicação manual), ou se for projetada mecanicamente, em equipamento onde a massa é bombeada através do magote e projetada na pistola com auxílio de ar comprimido. No segundo caso, as argamassas devem ter uma consistência mais fluida, e principalmente, uma alta plasticidade, que permitirá o bombeamento. Além disso, se a argamassa não possui a trabalhabilidade satisfatória e não garantir a sua correta aplicação, haverá prejuízo ao desempenho do revestimento, uma vez que várias

propriedades da argamassa no estado endurecido serão afetadas pelas condições de aplicação (estado fresco), como é o caso da aderência (CARASEK, 2007).

Segundo Recena (2012) a trabalhabilidade da argamassa é um conceito subjetivo que deve ser atendido como a maior ou menor facilidade de dispor a argamassa em sua posição final, cumprindo adequadamente sua finalidade, sem comprometer o bom andamento da tarefa em termos de rendimento e custo.

Em termos práticos, entende-se que a trabalhabilidade de uma argamassa deva estar diretamente ligada à tarefa a ser executada, estando suas características ligadas diretamente às funções a serem desempenhadas. Uma mesma argamassa ao ser utilizada em revestimento ou assentamento deverá apresentar trabalhabilidade diferente em cada caso (RECENA, 2012).

A modificação da trabalhabilidade estará sempre ligada diretamente à quantidade de água empregada em sua preparação, desde que haja uma quantidade tal de material fino, preferencialmente aglomerante, suficiente para reter a água adicionada, garantindo a estabilidade de volume e a coesão necessária para promover a aderência instantânea sem a ocorrência de segregação de seus constituintes. O excesso de água em uma argamassa desde que rompa a coesão, tornará a argamassa fluida, mas menos trabalhável pela perda de coesão, incapacitando-a para a função a que se destina. O conceito de trabalhabilidade pode ser entendido, então, como a correta interação entre dois conceitos: consistência e coesão. Vale dizer que uma argamassa muito pouco consistente, ou seja, bastante fluida, sem coesão não será trabalhável. Da mesma forma, uma argamassa de grande coesão, mas de baixa fluidez, igualmente apresentará comprometimento em sua trabalhabilidade, conforme afirma (RECENA, 2012).

5.2.3.1.2 *Adesão inicial*

De acordo com Carasek (2007), outra propriedade essencial, também associada à trabalhabilidade é a adesão inicial, ou seja, a capacidade de união da argamassa no estado fresco ao substrato (parede, por exemplo). Ao ser lançada à parede, a argamassa deve se fixar imediatamente à superfície, sem escorrer ou desprender, permitindo manipulações que visam espalhá-la e acomodá-la corretamente, além de garantir o contato efetivo entre os materiais (o que proporcionará a aderência após o seu endurecimento). Ainda no estado fresco, após

a aplicação da argamassa, será importante controlar a retração plástica, propriedade relacionada à fissuração do revestimento.

5.2.3.1.3 *Retenção de água*

Conforme definido por Recena (2012), retenção de água é a capacidade de uma argamassa de liberar demoradamente a água empregada na sua preparação para o meio ambiente ou para substratos porosos. Quanto maior a quantidade de água empregada na preparação de uma argamassa, maior igualmente o volume de água a ser evaporado, gerando sempre retração por maior que seja a capacidade de uma mistura em reter água.

De acordo com Carasek (2007) a retenção é uma propriedade que está associada à capacidade da argamassa fresca manter a sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação seja pela absorção de água da base. Assim, essa propriedade torna-se mais importantes quando a argamassa é aplicada sobre substratos com alta sucção de água ou as condições climáticas estão mais desfavoráveis (alta temperatura, baixa umidade relativa e ventos fortes).

Segundo Maciel, Barros e Sabbatini (1998), retenção de água é a capacidade que a argamassa apresenta de reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação. A retenção permite que as reações de endurecimento da argamassa se tornem mais gradativa, promovendo a adequada hidratação do cimento e consequente ganho de resistência.

A determinação da retenção de água pode ser avaliada pelo método da norma NBR 13277 (ABNT, 2005) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água.

5.2.3.1.4 *Massa específica e teor de ar incorporado*

De acordo com Carasek (2007), a massa específica varia com o teor de ar (principalmente se for incorporado por meio de aditivos) e com a massa específica dos materiais constituintes da argamassa, prioritariamente do agregado. Quanto mais leve for a argamassa, mais trabalhável será a longo prazo, reduzindo esforço em sua aplicação e resultando em maior produtividade.

Massa específica é a relação entre a massa da argamassa e o seu volume, podendo ser absoluta ou relativa. Na determinação da massa específica absoluta não são considerados os vazios existentes no volume da argamassa, em contrapartida, para determinação da massa relativa e/ou massa unitária, consideram-se os vazios conforme afirmam (MACIEL, BARROS E SABBATINI, 1998).

5.2.3.2 Propriedades no estado endurecido

5.2.3.2.1 Aderência

Segundo Carasek (2007), o termo aderência é usado para descrever a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e uma base. A base, ou substrato, geralmente é representada não só pela alvenaria, a qual pode ser de tijolo ou blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de concreto celular autoclavado, blocos sílico-calcários, etc., como também pela estrutura de concreto moldado in loco. Assim, não se pode falar em aderência de uma argamassa sem especificar em que material ela está aplicada, pois a aderência é uma propriedade que depende da interação dos dois materiais.

No estado endurecido, a propriedade fundamental é a aderência, sem a qual o revestimento de argamassa não atenderá a nenhuma de suas funções. A aderência é a propriedade que permite ao revestimento de argamassa absorver tensões normais ou tangenciais na superfície de interface com o substrato. Essa propriedade é uma das poucas que possui critério de desempenho especificado em norma do Brasil, conforme apresentado na tabela a seguir, aborda (CARASEK, 2007) (Quadro 2).

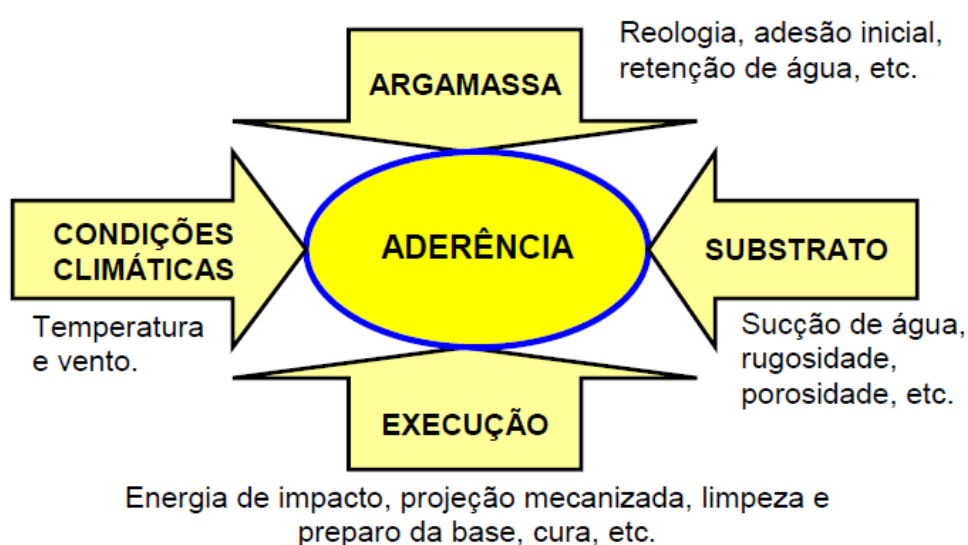
Quadro 2- Limites de resistência de aderência à tração (R_a) para revestimentos de argamassa de paredes (emboço e camada única), segundo a NBR 13749 (ABNT, 1996)

Local		Acabamento	Ra (Mpa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥0,20
		Cerâmica ou laminado	≥0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥0,30
		Cerâmica	≥0,30
Teto			≥0,20

Fonte: Adaptado de Carasek (2007).

Carasek (2007) informa que a aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico devido, basicamente, a penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação. Outra parcela menos significativa que contribui para a aderência das argamassas aos substratos são as ligações secundárias do tipo Van der Waals. Quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície absorvente do substrato, parte da água de amassamento, que contém em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante, penetra pelos poros e pelas cavidades do substrato. No interior dos poros ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da cal, e transcorrido algum tempo, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa à base (Figura 2).

Figura 2- Fatores que exercem influência na aderência de argamassa sobre bases porosas



Fonte: Adaptado Carasek (2017).

Maciel, Barros e Sabbatini (1998) afirmam que a aderência é uma propriedade que o revestimento tem em manter-se fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base-revestimento. É resultante da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa. A aderência depende das propriedades da argamassa no estado fresco, dos procedimentos de execução do revestimento, da natureza e características da base e da sua limpeza superficial. A resistência de aderência à tração do revestimento pode ser medida através do ensaio de arrancamento por tração.

5.2.3.2.2 *Capacidade de absorção e deformações*

Segundo Recena (2012), uma mesma argamassa recobre, em revestimentos, materiais de diferentes coeficientes de dilatação térmica num mesmo parâmetro vertical, assim como concreto armado e alvenaria de tijolos cerâmicos, devendo absorver de forma eficiente deformações diferenciais advindas da resposta dada pelos diferentes materiais às solicitações oriundas das constantes variações térmicas e/ou higrométricas.

De acordo com Maciel, Barros e Sabbatini (1998) é a propriedade que o revestimento apresenta quando exposto a pequenas tensões, devendo suportar as mesmas sem apresentar rupturas ou deformações que comprometam sua estrutura, aderência, estanqueidade e durabilidade.

5.2.3.2.3 *Retração*

Carasek (2007) afirma que a retração é resultado de um mecanismo complexo, associado com a variação de volume da pasta aglomerante e apresenta papel fundamental no desempenho das argamassas aplicadas, especialmente quanto à estanqueidade e à durabilidade.

5.2.3.2.4 *Resistência mecânica*

Conforme retratado por Recena (2012) a grande questão com relação à resistência mecânica de uma argamassa é sua quantificação, ou seja, qual o valor que deve ser obtido e como deve ser feita a medição deste valor de referência, qual a idade de ensaio, qual o método a ser empregado e qual o corpo e prova a ser adotado. Evidentemente que a resposta a essa questão está diretamente vinculada com o emprego previsto para a argamassa e com as solicitações previstas em projeto, quando for o caso.

De acordo com Carasek (2007), a resistência mecânica diz respeito à propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento.

5.2.3.2.5 *Durabilidade*

De acordo com Maciel, Barros e Sabbatini (1998), durabilidade é uma propriedade do período de uso do revestimento no estado endurecido e que reflete o desempenho do revestimento frente às ações do meio externo ao longo do tempo. Alguns fatores prejudicam a durabilidade dos revestimentos, tais como: fissuração, espessura excessiva, cultura e proliferação de microrganismos, qualidade das argamassas e a falta de manutenção.

5.2.4 **Argamassas produzidas com resíduos**

Cavalcanti e Ribeiro (2013) estudaram a utilização de areia contendo cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição parcial ou total ao agregado miúdo convencional para a produção de argamassas, buscando assim, uma alternativa ambientalmente adequada para destinar esse rejeito e agregar valor a este sub-produto gerado pela indústria sucro-alcooleira. Em seu trabalho, foi utilizado o resíduo para substituição do agregado miúdo convencional nos teores de 25%, 50%, 75% e 100%. Os resultados mostraram que o aumento do teor de substituição do agregado convencional contribui para diminuição da densidade aparente e aumento da porosidade da argamassa, devido a massa específica do resíduo ser menor que a do agregado. E os resultados para a resistência mecânica para as argamassas preparadas com teor de substituição do agregado miúdo de 50% foi muito próximo a resistência mecânica da argamassa de referência. Este resultado sugere que é possível a utilização de resíduos em argamassas, desde que sejam testadas as propriedades requeridas para utilização da mesma com a incorporação de resíduos.

5.3 MATERIAIS COMPONENTES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTOS

5.3.1 **Aglomerantes**

Segundo Ambrozewicz (2012) aglomerante é o material ativo, ligante, cuja principal função é formar uma pasta que promove a união entre os grãos do agregado. São utilizados na obtenção das argamassas e concretos, na forma da própria pasta e também na confecção de natas.

5.3.1.1 Cimento

Cimento Portland é a denominação técnica do material usualmente conhecido na construção civil como cimento. O cimento Portland foi criado e patenteado em 1824, por um construtor inglês chamado de Joseph Aspdin. Naquela época, era moda na Inglaterra construir com uma pedra, de cor acinzentada, originária da ilha de Portland, situada ao Sul do País. Como o resultado da invenção de Aspdin se assemelhava, na cor e na dureza, à pedra de Portland foi patenteada com o nome de cimento Portland, conforme comenta (AMBROZEWICZ, 2016).

Segundo Bauer (2016) cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clinker constituído essencialmente de silicatos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.

De acordo com Ambrozewicz (2016) o cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, que endurece sob a ação da água. Depois de endurecido, permanece estável, mesmo que submetido à ação da água e, por esta razão, é considerado um aglomerante hidráulico.

Os constituintes fundamentais do cimento Portland são: a cal (CaO), a sílica (SiO_2), a alumina (Al_2O_3), o óxido de ferro (Fe_2O_3), certa proporção de magnésia (MgO) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico (SO_3), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto. Cal, sílica, alumina e óxido de ferro são os componentes essenciais do cimento Portland, e constituem, geralmente, 95% a 96% do total na análise de óxidos. A magnésia, que parece permanecer livre durante todo o processo de calcinação, está usualmente presente na proporção de 2 a 3%, limitada pelas especificações ao máximo permissível de 6,4%. Os óxidos menores compõem em proporção inferior a 1%, excepcionalmente 2%, afirma (BAUER, 2016).

De acordo com Pereira (2018), há diferentes tipos de cimento que são produzidos no Brasil. Cada um apresenta uma composição diferente de outro de forma a fornecer ao concreto uma característica diferente como maior trabalhabilidade, durabilidade, resistência, etc. O cimento Portland é um material pulverulento, ou seja, se apresenta em estado de pó fino, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre. Estes silicatos e aluminatos complexos, ao serem

misturados com água, hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, oferecendo elevada resistência mecânica.

Atualmente, o cimento Portland se divide em onze tipos:

- CP I – Cimento Portland comum: é um tipo de cimento Portland sem nenhuma adição com exceção do gesso, que é utilizado somente como retardador da pega. Esse tipo de cimento é utilizado geralmente em obras em que não há exposição a ambientes desfavoráveis com a presença por exemplo de sulfatos do solo ou de águas subterrâneas.
- CP I-S – Cimento Portland comum com adição: é um tipo de cimento Portland com as mesmas características do CP-I porém com adição de no máximo 5% de material pozolânico em massa que garante uma menor permeabilidade a este tipo de cimento.
- CP II-E – Cimento Portland composto com escória granulada de alto forno: é um tipo de cimento usado quando há necessidade de que as estruturas tenham um desprendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacados por sulfatos. O CP II-E é constituído de 94% à 66% de clínquer e gesso e de 6% à 34% de escória granulada de alto forno.
- CP II-Z – Cimento Portland composto com pozolana: é um cimento que geralmente é utilizado em obras marítimas, industriais e subterrâneas por conter de 6% a 14% de pozolana garantindo uma maior impermeabilidade e durabilidade ao concreto produzido com este tipo de cimento.
- CP II-F – Cimento Portland composto com filer: é utilizado para várias aplicações como no preparo de argamassas de assentamento, argamassas de revestimento, estruturas de concreto armado, solo-cimento, pisos e pavimentos de concreto, etc. Este tipo de cimento é um composto constituído de 90% à 94% de clínquer e gesso e de 6% a 10% de material carbonático ou filer.
- CP III – Cimento Portland de alto forno: é um cimento que pode ser usado tanto na execução de obras de grande porte e agressividade como barragens, esgotos, pavimentação de estradas, pistas de aeroporto, quanto na aplicação de argamassas de assentamento e revestimento, estruturas de concreto armado, concreto protendido, projetado, rolado, dentre outros. Este tipo de cimento contém adição de 35% a 70% de escória em sua composição o que lhe confere maior impermeabilidade e durabilidade, resistência a sulfatos e à expansão além de baixo calor de hidratação.

- CP IV – Cimento Portland Pozolânico: Este tipo de cimento é constituído de 15% a 50% de material pozolânico por isso é conhecido como Cimento Portland Pozolânico. O concreto produzido com este cimento, em relação ao concreto feito com Cimento Portland Comum, apresenta maior impermeabilidade, maior durabilidade e maior resistência mecânica à compressão à longo prazo. É geralmente utilizado para grandes volumes de concreto devido ao baixo calor de hidratação e em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos devido a sua baixa porosidade.
- CP V-ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial: é um dos tipos de cimentos que não contém adições em sua composição (em casos excepcionais pode conter até 5% de material carbonático). O que o difere do CP I é seu processo de dosagem e produção do clínquer. As alterações nas dosagens de calcário e argila na produção do clínquer garante ao CP V-ARI uma alta resistência inicial do concreto podendo atingir em torno de 26 Mpa de resistência já no primeiro dia de aplicação do concreto. É utilizado em obras tanto de pequeno porte quanto de grande porte em casos em que se torna necessária uma alta resistência inicial para desforma rápida dos elementos de concreto armado.
- CP-RS – Cimento Portland resistente a sulfatos: é um tipo de cimento que pode ser utilizado em obras de recuperação estrutural, concreto projeto, concreto armado, concreto protendido, elementos pré-moldados de concreto, pavimentos etc. É necessário geralmente quando o concreto está submetido à meios agressivos sulfatados como redes de esgotos, ambientes industriais e água do mar.
- CP-BC – Cimento Portland de baixo calor de hidratação: é um tipo de cimento que tem por finalidade retardar o desprendimento de calor em peças de grande massa de concreto, evitando o aparecimento de fissuras de origem térmica.
- CP-B – Cimento Portland Branco: pode ser dividido em estrutural, aplicado para fins arquitetônicos com as mesmas características dos outros tipos de cimento, porém com a pigmentação branca, e não estrutural, indicado para rejuntamento de cerâmica. A cor branca é obtida através de matérias-primas com baixo teor de manganês e ferro e a utilização do caulim no lugar a argila.

Segundo o Boletim Técnico BT-106 (ABCP, 2002), existem no Brasil diversos tipos de cimento Portland, que diferem entre si, principalmente pela sua composição. Os principais tipos empregados nas diversas obras de construção civil são:

- cimento Portland comum;
- cimento Portland composto;
- cimento Portland de alto-forno;
- cimento Portland pozolânico.

Os seguintes tipos de cimento são consumidos em menor escala em função da oferta ou das suas características especiais de aplicação:

- cimento Portland de alta resistência inicial;
- cimento Portland resistente aos sulfatos;
- cimento Portland branco;
- cimento Portland de baixo calor de hidratação;
- cimento para poços petrolíferos.

(Todos os tipos de cimento mencionados são regidos pelas normas da ABNT).

5.3.1.2 Cal

De acordo com Ambrozewicz (2012) a cal é um aglomerante aéreo utilizado em diversos segmentos como construção civil, siderurgia, metalurgia, papel e celulose, tratamento de água e efluentes industriais, fabricação de vidro, açúcar, tintas, graxas, aplicações botânicas, medicinais e veterinárias. É produzido a partir de rochas com elevados teores de carbono de cálcio, como é o caso da calcita (CaCO_3) e, da dolomita (CaCO_3), (MgCO_3).

A cal é o nome genérico de um aglomerante simples, resultante de calcinação de rochas calcárias, que se apresentam sob diversas variedades, com características resultantes da natureza da matéria-prima empregada e do processamento conduzido. (BAUER, 2016)

Bauer (2016) afirma que a cal hidratada oferece sobre a cal virgem algumas vantagens, entre elas a maior facilidade de manuseio, transporte e armazenamento. É um produto pronto para ser utilizado, eliminando em canteiro a operação de extinção e de envelhecimento. Sendo um produto seco e pulverulento, oferece maior facilidade de mistura na elaboração das argamassas do que a pasta de cal resultante da cal virgem.

5.3.2 Agregados (areia natural e artificial)

Conforme definições de Bauer (2016), agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. O termo “agregado” é de uso generalizado na tecnologia do concreto; nos outros ramos da construção, conforme cada caso, pelo nome específico: fíler, pedra britada, bica-corrida, rachão etc.

Segundo Ambrozewicz (2012) a areia, geologicamente, é um sedimento inconsolidado, cujos grãos têm diâmetros limites entre 0,075mm e 4,8mm. As areias grossas são, usualmente, constituídas de fragmentos de rocha e as areias finas de grãos minerais.

Os agregados são classificados como materiais com forma granular, relativamente inertes e com base na sua disposição granulométrica. Segundo a sua origem podem ser definidos como natural ou artificial.

- Naturais - são obtidos através da extração de jazidas naturais ou retirados dos leitos dos rios através de dragagem, são: areia e cascalho.
- Artificiais/industrializados – são obtidos através de processos industriais, e nesse caso a matéria prima pode ser: rocha, argila e escória de alto-forno.

A NBR 7211 ABNT (2005) classifica como agregado miúdo, como agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1 (Quadro 3).

Quadro 3- Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100
NOTAS				
1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.				
2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.				
3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.				

Fonte: Adaptado da NBR 7211 (2005).

Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto, afirma a NBR 7211 (ABNT, 2005).

5.3.3 Adições

Segundo a ABNT (2013), adições são materiais inorgânicos naturais ou industriais, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades (pó calcário, saibro, materiais pozolânicos, entre outros).

De acordo com Júnior (2005), adições são materiais finamente divididos, com capacidade de conferir algumas propriedades à argamassa. Na maioria das vezes, não possuem poder aglomerante, atuando como agregados, e, de modo geral, possuem poder aglutinante (promovem a liga). As adições mais comuns presentes nas argamassas são as pozolanas (materiais provenientes de rochas vulcânicas, resíduos de termoelétricas e outros que apresentem atividade pozolânica), o pó calcário, também conhecido como filler (material finamente dividido constituído essencialmente de calcário ou dolomitos) e os pigmentos que apenas conferem à argamassa coloração, não interferem em resistência mecânica e se diferenciam entre si pelos tipos: orgânicos e inorgânicos.

5.3.4 Aditivos

A ABNT (2013) classifica aditivo como produto adicionado à argamassa em pequena quantidade, com a finalidade de melhorar uma ou mais propriedades, no estado fresco ou endurecido.

5.3.5 Água de amassamento

A água é utilizada em quase todos os serviços de engenharia, às vezes como componente e outras como ferramenta. Entra como componente nos concretos e argamassas e como ferramenta nos trabalhos de limpeza, resfriamento e cura do

concreto. É um dos componentes mais importantes na confecção de concretos e argamassas. Um material de construção nobre, que influencia diretamente na qualidade e segurança da obra, conforme afirma (AMBROZEWICZ, 2012).

Ainda de acordo com Ambrozewicz (2012) a água utilizada para o amassamento dos aglomerantes deve corresponder a certas qualidades químicas, não pode conter impurezas e ainda estar dentro dos parâmetros recomendados pelas normas técnicas, a fim de que garantam a homogeneidade da mistura.

5.4 TIPOS DE ADERÊNCIA DA ARGAMASSA AO SUBSTRATO

5.4.1 Aderência mecânica

Carasek (2007) descreve que quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície absorvente do substrato, parte da água de amassamento, que contém em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante, penetra pelos poros e cavidade do substrato. No interior dos poros ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da cal, e após algum tempo, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa a base.

Em seus estudos micro-estruturais empregando microscópio eletrônico de varredura, confirmou que a aderência decorre do intertravamento principalmente da etringita (um dos produtos de hidratação do cimento) no interior dos poros do substrato. Tendo em vista o mecanismo de ligação, pode-se concluir que quanto melhor for o contato entre a argamassa e o substrato, maior será a aderência obtida (conforme a autora Op.Cit.).

Dessa forma, a aderência está diretamente relacionada com a trabalhabilidade (ou reologia) da argamassa, com a energia de impacto no processo de execução, das características e propriedades dos substratos e de fatores externos (CARASEK, 2007).

5.4.2 Aderência química

A adesão química é obtida com a utilização de aditivos, que podem ser à base de Poli (acetato de vinila), polímeros e resinas, a fim de melhorar a aderência das

argamassas e proporcionar o revestimento de materiais lisos e polidos ou sem porosidade.

5.5 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

A NBR 13528, ABNT (2010) prescreve o método de ensaio para determinação da resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa aplicados em obra ou laboratório sobre substratos inorgânicos não metálicos de acordo com a seguinte metodologia:

5.5.1 Execução do ensaio

O ensaio deve ser realizado no revestimento com idade de 28 dias no caso de argamassas mistas ou de cimento e areia e de 56 dias para argamassas de cal e areia, cotados após a aplicação da argamassa sobre o substrato. Caso seja de interesse a realização do ensaio em outra idade, conforme acordo entre as partes, esta idade deve ser registrada no relatório de ensaio.

5.5.1.1 Preparo dos corpos-de-prova

5.5.1.1.1 *Ensaio em obra*

Os corpos-de-prova podem ser preparados no local onde o revestimento estiver aplicado, em revestimentos acabados, antigos ou recentes.

5.5.1.1.2 *Ensaio em laboratório*

O ensaio deve ser realizado para avaliar a capacidade de aderência do revestimento sobre painéis de alvenaria, componentes de alvenaria (blocos e tijolos), placas de concreto, entre outros.

5.5.1.2 Número de determinações

5.5.1.2.1 *Ensaio em obra ou em laboratório*

Cada ensaio é composto por 12 corpos-de-prova de mesmas características (tipo e preparo do substrato, argamassa de revestimento, forma de aplicação da argamassa, idade do revestimento).

5.5.1.3 Distribuição dos corpos-de-prova

A distribuição dos corpos-de-prova no painel revestido deve ser feita de forma aleatória, contemplando arrancamentos em juntas e blocos. Os pontos de arrancamento devem estar espaçados entre si, além dos cantos e das quinas, em no mínimo 50 mm.

5.5.1.4 Corte do revestimento

Executar o corte a seco ou com água, conforme as características da argamassa. Quando o corte é feito a úmido, fazê-lo com antecedência suficiente para que o revestimento esteja seco no momento da colagem da pastilha e da execução do ensaio. Em nenhum caso o corte deve prejudicar a integridade do revestimento.

5.5.1.5 Colagem das pastilhas

5.5.1.5.1 *Preparo da superfície*

Limpar a superfície do corpo-de-prova de revestimento sobre a qual vai ser colocada a pastilha, para a remoção de partículas soltas.

5.5.1.5.2 *Colagem das pastilhas*

A superfície da pastilha deve estar isenta de quaisquer resíduos de ensaios anteriores. Aplicar a cola bem homogeneizada, com espátula sobre a pastilha metálica e coloca-la sobre o revestimento.

A pastilha deve ser colocada totalmente centrada no corpo-de-prova delimitado pelo corte, para evitar a aplicação de esforço excêntrico. Pressionar a pastilha de maneira que seja garantindo o total espalhamento da cola, removendo o

excesso com espátula. A espessura da camada de cola não deve ultrapassar 5mm. Aguardar o tempo recomendado pelo fabricante para a secagem da cola.

5.6 ASPECTOS DA DOSAGEM E DO PREPARO DAS ARGAMASSAS

5.6.1 Princípios dos métodos de dosagem

Segundo Ambrozewicz (2012), para que a argamassa tenha as propriedades desejadas, tanto no estado fresco quanto endurecido, é preciso que ela seja preparada de acordo com o traço especificado. Para isso, se faz a dosagem. Dosar significa usar um método para obter o traço pedido. Para a dosagem no canteiro de obras são utilizadas padiolas. As padiolas são caixas usadas no transporte de materiais e servem para mediar a quantidade de componentes das argamassas. As dimensões das padiolas são determinadas pelo traço estabelecido e pelo tipo de equipamento utilizado.

5.6.2 Preparo das argamassas

Um aspecto que deve ser observado no preparo das argamassas é o tempo de mistura. Esse tempo deve ser definido em função do tipo e volume de equipamento empregado, betoneira ou argamassadeira, e da quantidade de material misturado, garantindo a perfeita homogeneização da massa. No caso das argamassas que contêm aditivo incorporador, deve-se observar também o tempo máximo de mistura, pois, em algumas situações, caso o tempo seja elevado, poderá ocorrer uma incorporação de ar exagerada, o que pode ser prejudicial para o desempenho da argamassa aplicada, como comenta (CLARASEK, 2007)

De acordo com Ambrozewicz (2012), a argamassa pode ser preparada mecânica ou manualmente. Em qualquer um dos casos, é preciso que os elementos sejam dosados na medida certa, para que o resultado esperado seja obtido. Para isso, você deve se basear no traço. O traço é a indicação das proporções entre os constituintes da argamassa. Estas proporções tradicionalmente são apresentadas em volume. O uso do traço em peso é mais correto para garantir a quantidade de consumo e a qualidade das argamassas. A seguir segue um exemplo de traço.

Cal e Areia TRAÇO 1:4 $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ significa uma parte de cal.} \\ 4 \text{ significa quatro partes de areia.} \end{array} \right.$

Argamassa Mista (cimento e cal) TRAÇO 1:2:9 $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ significa uma parte de cimento.} \\ 2 \text{ significa duas partes de cal.} \\ 9 \text{ significa nove partes de areia.} \end{array} \right.$

6 CONTEXTUALIZAÇÃO DA MINERAÇÃO

6.1 AMÉRICA LATINA E BRASIL

A América Latina tornou-se nestes anos um dos epicentros globais da mineração, recebendo 27% do total de investimentos em exploração, segundo o Banco Mundial. O órgão afirma que um só país, o Chile, recebeu dividendos da mineração da ordem de US\$41 bilhões (R\$ 155,8 bilhões) em 2011, ou 19% de seu Produto Interno Bruto (PIB). O Peru recebeu US\$17 bilhões e a Bolívia, US\$ 1,3 bilhão. No Brasil, por exemplo, a receita gerada pela mineração alcançou US\$67 bilhões, ou 3% do PIB. A expectativa do Banco Mundial é que os novos investimentos para a região até 2020 cheguem a US\$200 bilhões (FARJADO, 2015)

O Brasil é um país que possui grandes riquezas de jazidas minerais e é um grande produtor de minérios. Em 2011, a produção nacional abrangeu setenta substâncias. Desses bens minerais alguns se destacam por representarem uma grande porcentagem de produção mundial, ou o Brasil deter uma grande porcentagem de reservas mundiais. As reservas de Nióbio pertencentes ao Brasil, por exemplo, perfazem um total de 97,6% do total existente em todo o planeta. No caso do Ferro, o país possui 17,4% das reservas mundiais. Reservas nacionais de minerais como Tântalo, Estanho, Níquel e Magnesita também possuem uma grande representatividade com relação às reservas mundiais (IBRAM, 2014).

No cenário global, o Brasil é um dos maiores exportadores de diversos bens minerais, dentre eles nióbio, minério de ferro, manganês, tantalita, grafite, bauxita e rochas ornamentais, é, também, autossuficiente em vários outros. Dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, referentes à distribuição das exportações e importações brasileiras para 2011 revelou que as matérias primas e produtos intermediários representaram a maior parte das exportações do país (IBRAM, 2014).

6.2 RIO GRANDE DO NORTE

O município de Currais Novos está localizado na região do Semiárido Norte-rio-grandense (Figura 3), onde se localiza a Mina Brejuí, considerada a maior mina de Scheelita da América do Sul, e de onde foi extraído o resíduo utilizado nesta pesquisa. A Mina Brejuí iniciou a exploração de suas atividades em 1943, data da descoberta do minério no município. Somente em 1954, a Mina Brejuí foi constituída empresa com o nome de Mineração Tomaz Salustino S/A, sendo concessionário o Desembargador Tomaz Salustino Gomes de Melo (MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO, 2017).

Figura 3- Mapa do estado do Rio Grande do Norte – Brasil, com destaque para o município de Currais Novos.



Fonte: Wikipédia (2018).

A mineração em Currais Novos teve o seu apogeu em plena Segunda Guerra Mundial, fornecendo toneladas de minérios às indústrias do aço. A partir dos anos 80, do século XX, inicia-se o declínio da mineração em consequência da oscilação dos preços internacionais da Scheelita e da utilização de outros minérios para a fabricação de artefatos industriais e tecnológicos, levando a Mina Brejuí a reduzir suas atividades de extração mineral e buscar novas alternativas econômicas (MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO, 2017).

Atualmente, as minerações do município de Currais Novos estão voltando às suas atividades minerais paralisadas, parcialmente, desde o final da década de 90. Já

são mais de 300 empregos gerados até o momento (MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO, 2017).

6.3 SCHEELITA

A scheelita é um mineral composto de Tungstato de Cálcio, cuja fórmula química é CaWO_4 , e constitui a importante fonte de Tungstênio (W); um elemento químico não ferroso que apresenta alta densidade, alto ponto de fusão, superior a 4.500°C e boa condutividade elétrica. O Tungstênio é de grande importância para as indústrias metalúrgica, elétrica, mecânica, aeroespacial, bélica e petrolífera para a produção de diversos materiais desde pontas de canetas esferográficas até metralhadoras. É possível observar uma pedra scheelita na Figura 4 (MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO, 2015).

Figura 4- Parte da rocha da scheelita.



Fonte: Mauriceia Medeiros (2016).

O processo de beneficiamento da scheelita é um processo rústico, que não teve praticamente nenhuma alteração desde a década de 40. O beneficiamento é realizado por equipamentos que trabalham por processos gravimétricos como mostra a figura 6, dentre os quais, os mais importantes são as mesas vibratórias e os jigues. Cerca de 0,8% de todo o material que é extraído na mina é de scheelita, o restante resulta em rejeito que é depositado no meio ambiente (GERAB, 2014).

O início do processo de extração e beneficiamento da scheelita se dá com as

detonações de explosivos, no interior da mina. Os fragmentos das rochas são levados através de caminhões até o topo do engenho, e lá são colocados em uma grelha para filtrar os blocos de rochas que ainda estão muito grandes. Após serem filtrados pela grelha, o material passante é levado até o britador através de esteiras e os blocos de rochas que não passaram pela grelha são fragmentados manualmente com o uso de marteletes até atingirem um tamanho menor que passe pela grelha e não venha a causar problemas no britador. Destes blocos maiores que não passaram inicialmente pela grelha, alguns deles são muito duros e não são quebráveis manualmente com o martelete, então estes são encaminhados a um local para descarte (GERAB, 2014).

O britador tem a função de quebrar estas partes passantes pela grelha em partes ainda menores. Após serem reduzidos de tamanho esses fragmentos de rochas são transferidos para as peneiras vibratórias, nas quais serão separadas as partículas de granulometria menor que são as partículas arenosas, das pedras que retornarão ao britador, até atingirem um tamanho passante pelas peneiras vibratórias. Todo esse processo consiste na redução de um bloco de rocha até a granulometria de uma partícula arenosa. Os materiais oriundos das peneiras vibratórias são depositados em um silo azul, a fim de serem estocados (GERAB, 2014).

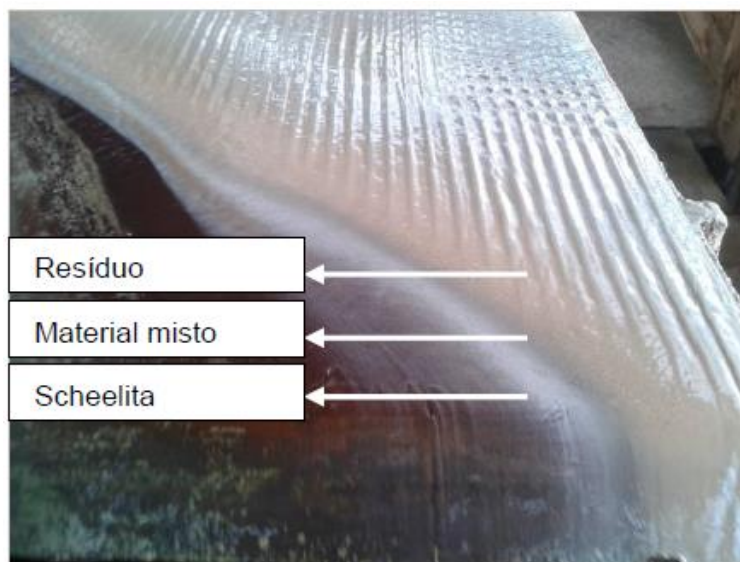
O material é retirado do silo onde estava estocado e através de esteiras é direcionado novamente para as peneiras vibratórias. Após esta etapa, o material peneirado é conduzido para o moinho de martelo, em seguida é transferido para uma tubulação em direção ao jig. O processo de jigagem promove uma separação hidráulica. Ocorrem repetidas expansões e contrações verticais de um leito de partículas pelo movimento de pulsação da água. Como resultado, tem-se a separação das partículas em camadas, de densidades diferentes, na qual as partículas de maior densidade se depositam no fundo (SAMPAIO; TAVARES, 2005).

A scheelita fica decantada no fundo do jig e é coletada por um orifício na parte inferior do equipamento. A mistura então segue em direção às mesas vibratórias para promover a separação da mesma. Várias mesas estão dispostas no local do beneficiamento para receber a mistura que contém scheelita oriunda do jig. As mesas de vibratórias são formadas por uma superfície plana, de formato retangular, chamada de deque e a água de lavagem é distribuída pelo deque junto à alimentação, formando uma película que escoar perpendicularmente aos rifles (MEDEIROS, 2016).

O material é distribuído em toda a dimensão da mesa vibratória, devido às agitações oriundas das oscilações e do escoamento da água de lavagem. Este

movimento resulta na divisão do material inicial posto na mesa vibratória em basicamente três materiais distintos (MEDEIROS, 2016).

Figura 5- Divisão do material inicial posto na mesa vibratória.



Fonte: Mauriceia Medeiros (2016).

O material de cor branca é a scheelita propriamente dita como mostra a figura 5; o material ao lado da scheelita é chamado de material misto e é composto por scheelita mais resíduos e posteriormente será reaproveitado; e a terceira parcela de material é o resíduo do processamento, este resíduo será descartado, pois é um resíduo mais grosso e de granulometria arenosa. Este resíduo é o material de estudo deste trabalho (MEDEIROS, 2016).

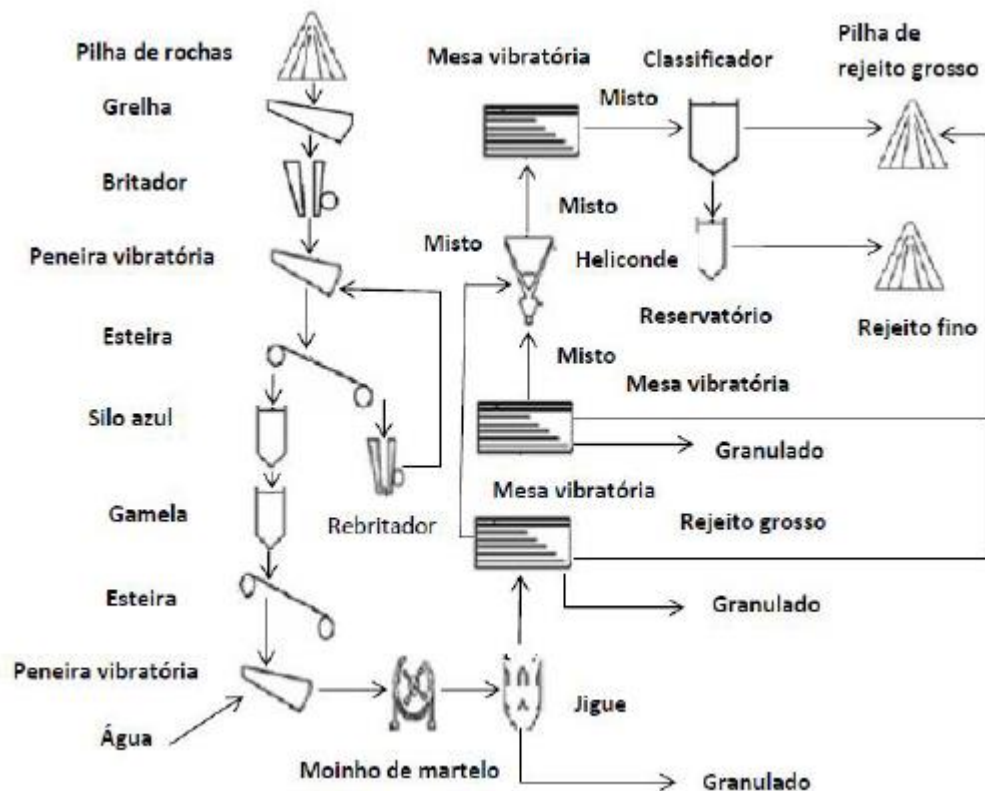
A scheelita (o material de cor branca) e o material misto são capturados ao cair das mesas vibratórias por calhas específicas para cada um dos materiais. O material misto capturado é transportado ao “heliconde” (depósito em formato de cone) e em seguida, é levado a novas mesas vibratórias de concentração (denominadas mesas de retorno), localizados em um nível topográfico inferior ao das mesas de concentração. Uma nova porção de scheelita é captada pelo processo vibratório das mesas de retorno. O processo se repete até se obter o mínimo desperdício possível do minério, o que ocorre quando se esgota a obtenção do material de cor branca, a scheelita (GERAB, 2014).

Após esgotada a obtenção de scheelita do material misto, então ele é transferido para um equipamento que separa as partículas grossas da lama (partículas finas e água). O resíduo mais grosso e granular é depositado a céu aberto. A “lama”

separada do material granular é transferida para um reservatório, onde permanece em repouso, e as partículas muito finas se depositam ao fundo do reservatório e então a água vai perdendo sua turbidez para ser reaproveitada da mesma forma que já foi utilizada nas mesas vibratórias (GERAB, 2014).

A lama da qual se retirou grande parte da água para reaproveitamento é depositada também a céu aberto. Este material resultante da lama é seco nas condições ambientais a céu aberto, e é denominado de resíduo fino do beneficiamento da scheelita. A scheelita pura, captada pelo processo de beneficiamento, é espalhada e seca ao sol, rudimentarmente, e após sua secagem, ela é guardada em depósitos para ser queimada em fornos posteriormente, por fim, ela é transportada a uma máquina chamada “eletroímã”, que tem a função de retirar as impurezas e ser comercializada. Com o processo de beneficiamento finalizado, observa-se que as impurezas presentes mais comuns na scheelita é o ferro (GERAB, 2014).

Figura 6- Resumo esquemático do processo de beneficiamento da scheelita



Fonte: Gerab (2014).

8 ESTUDO DE CASO

Serão mostrados os materiais e métodos utilizados nos ensaios realizados na fabricação da argamassa com resíduo de Scheelita. Todos os ensaios e procedimentos foram baseados nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Para a elaboração deste estudo de caso, foram realizadas as caracterizações dos materiais utilizados na confecção das argamassas, a produção dos corpos de prova, do protótipo e foram efetuados ensaios para a classificação dessa argamassa, todos executados no Laboratório de Materiais de Construção de Engenharia Civil do Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

8.1 COLETA DO MATERIAL

Foram coletados cerca 150 kg de resíduo da extração do minério (Scheelita) oriundo da Mina Brejuí, localizada no município de Currais – Novos/RN. A coleta foi efetuada nas pilhas de rejeito a céu aberto, como mostra na figura 7, e armazenadas no Laboratório de Materiais de Construção do UNI-RN.

Figura 7- Dunas de rejeito



Fonte: Vento Nordeste (2014).

8.2 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

O ensaio da análise granulométrica foi realizado no Laboratório de geologia e mecânica dos solos do UNI-RN. Para a realização desse procedimento utilizou-se

como base a NBR 248 (ABNT, 2003). O conjunto de peneiras seguiram a série normal com abertura de malhas de 75 mm, 37,5 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600 μ m, 300 μ m, 150 μ m, conforme exemplificado na figura 8.

Figura 8- Conjunto de peneiras



Fonte: Acervo da autora (2019).

8.3 COMPOSIÇÃO DO TRAÇO

Para a fabricação da argamassa, foi definido um traço utilizando somente o cimento como aglomerante, com substituição de 100% do agregado miúdo (areia) por resíduo de scheelita e o fator água cimento, na proporção 1: 3,01 : 0,65. Vale salientar que este traço foi determinado com o professor orientador, portanto não está em norma.

A princípio o resíduo utilizado para substituir o agregado na confecção da argamassa, foi o rejeito natural da scheelita exatamente como se encontra estocado, sem qualquer beneficiamento. O cimento utilizado, foi o CP II- Z-32 RS da marca Poty e a água foi a da concessionária local.

8.4 CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DE VIGAS E PILARES COM RESÍDUO PURO

No dia 13/08/2018 foi iniciada a primeira etapa da produção da argamassa. Inicialmente foram separados o cimento, o resíduo e a água, pesados na balança de modo que cada componente estivesse de acordo com o traço determinado, em seguida, foram colocados na betoneira o rejeito com metade da água seguindo o tempo de duração de 5 minutos para que houvesse a umidade completa do material, e posteriormente foi depositado o cimento e o restante da água, com mais 5 minutos de rotação na betoneira, conforme mostra a figura 9. No intervalo de cada etapa da confecção, foram separados 13 corpos de prova com dimensões de 10x20cm e passado o desmoldante em cada um deles. Posteriormente os copos de prova foram moldados, observa-se na figura 11, e no processo de adensamento foi utilizado o vibrador.

As etapas seguidas para a confecção dos corpos de prova foram regidas pela NBR 13528.

No dia 14/08/2018 após 24 horas, os 13 corpos de prova foram desmoldados, identificados, pesados e colocados submersos na água por 48 horas.

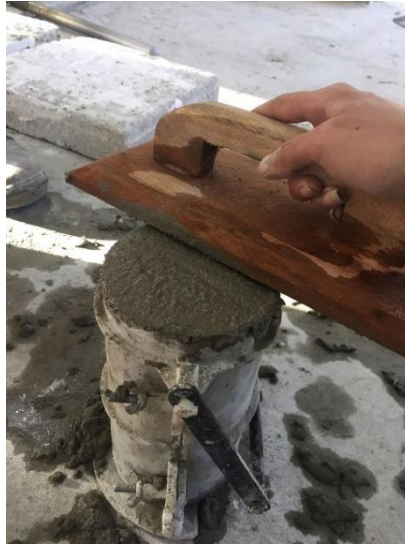
Seguindo as descrições acima, no dia 20/08/2018 foi realizado a confecção de mais 07 corpos de prova, totalizando 20 cps para análise, como mostra a figura 12. No dia 21/08/2018 após 24 horas, os 07 corpos de prova foram desmoldados, identificados, pesados e colocados submersos na água por 48 horas.

Figura 9- Argamassa pronta ainda na betoneira



Fonte: Acervo da autora (2019).

Figura 10- Corpos de prova em processo de moldagem



Fonte: Acervo da autora (2018).

Figura 11- Corpos de prova moldados e secos



Fonte: Acervo da autora (2019).

8.5 RESISTENCIA A COMPRESSÃO

As determinações da resistência à compressão seguiram prescrições da NBR 5739 (ABNT, 2018). Os ensaios ocorreram no Laboratório de Materiais de Construção do UNI-RN, com o auxílio de um técnico laboratorista da própria universidade. Foi utilizada uma prensa hidráulica manual, da marca Solotest, modelo 4HCA, como

mostra a figura 13. Foram moldados vinte corpos-de-prova (cps), com dimensões de 10 x 20 cm.

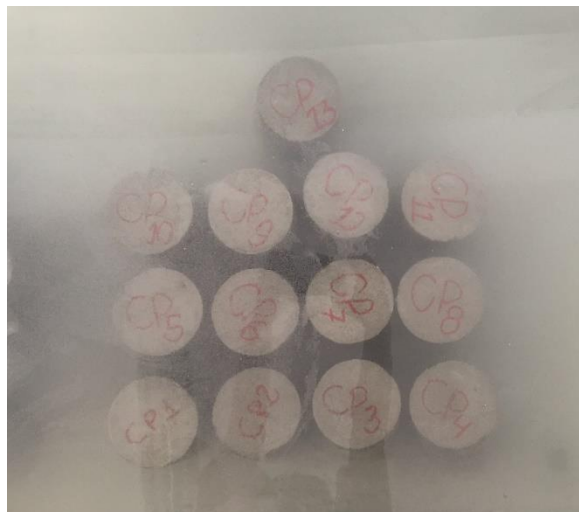
Figura 12- Prensa hidráulica



Fonte: Acervo da autora (2018).

Estes corpos-de-prova foram ensaiados com idade de 28 dias, após 24h de cura ao ar e 27 dias de cura por imersão em água saturada com cal, conforme a figura14.

Figura 10- Corpos de prova imersos em água com cal



Fonte: Acervo da autora (2018).

8.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A determinação da absorção, massa específica e índice de vazios seguiram as prescrições normativas da NBR 9778 (ABNT, 2005), após os 28 dias de idade, para a realização deste ensaio foi necessário a coleta do peso seco e saturado, como mostra a figura 15 e figura16. Sendo definida e aplicada na seguinte expressão:

$$\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100$$

M_{sat} = massa do corpo-de-prova saturado;

M_s = massa do corpo de prova seco.

Foram moldados 20 corpos-de-prova cilíndricos, com 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. A cura dos CPs seguiu 24 h ao ar e 27 dias de cura imersos em água saturada com cal.

Figura 14- Corpo de prova seco



Fonte: Acervo da autora (2019).

Figura 15- Corpo de prova saturado



Fonte: Acervo da autora (2018).

8.7 ADERÊNCIA

O ensaio de aderência seguiu as prescrições normativas da NBR 14081-4 (ABNT, 2012). Foi realizada em placas de substrato de concreto com 35cmx35cm, como mostram a figura 16 e figura 17, para que assim pudesse estabelecer a resistência ao arrancamento ou para poder estimar sua vida útil.

Figura 16- Processo de assentamento da argamassa



Fonte: Acervo da autora (2018).

Figura 17- Placas de concreto com assentamento da argamassa



Fonte: Acervo da autora (2018).

Figura 18- Pastilhas metálicas coladas na argamassa



Fonte: Acervo da autora (2018).

A determinação da resistência foi obtida através de equipamento PULL-OFF, conforme mostra a figura 19, constituído de mecanismo de precisão acoplado a dinamômetro para medição do esforço de tração sobre pastilha metálica colada com mistura epóxi no revestimento argamassado ensaiado, como apresenta a figura 18.

Figura 19- Equipamento Pull-off



Fonte: Acervo da autora (2018).

8.8 DURABILIDADE

A determinação da durabilidade da argamassa consistiu na sua exposição ao ambiente externo durante oito meses, conforme a figura 20. Podendo avaliar sua capacidade em manter a estabilidade química e física ao longo do tempo em condições normais de exposição.

Figura 20- Argamassa exposta ao ambiente externo



Fonte: Acervo da autora (2018).

9 RESULTADOS E DISCUSSÕES

9.1 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

Os ensaios de caracterização granulométrica consistiram na separação de duas amostras de rejeito, cada uma contendo 1Kg de material seco. Cada amostra foi pesada, colocada nas peneiras e posteriormente foram levadas ao agitador de peneiras. Por norma as areias são classificadas entre: areia grossa variando entre 1,2 mm a 4,8 mm, areia média variando de 0,3 mm a 1,20 mm, e areia fina variando entre 0,05 mm a 0,3 mm. Pode-se observar no quadro 4 e quadro 5 que nas duas amostras houveram a predominância de grãos menores que 0,3mm, desse modo o resíduo da scheelita, como mostra na figura 21 e figura 22, tem a granulometria compatível com o agregado fino (areia) utilizada para a confecção de argamassa para reboco.

Quadro 4- Análise granulométrica da amostra 1

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - AMOSTRA 1				
PENEIRA	MALHA (pol)	MASSA RETIDA (kg)	RETIDA (%)	MASSA ACUMULADA (kg)
9,5 mm	3,8	0,0000000	0	0
4,75 mm	4	0,0001310	0,013	0,0001310
2,36 mm	8	0,0012260	0,123	0,0013570
1,18 mm	16	0,0509540	5,095	0,0523110
600 µm	30	0,2548859	25,489	0,3071969
300 µm	50	0,3371710	33,717	0,6443679
150 µm	100	0,2546050	25,461	0,8989729
FUNDO	0	0,099817	9,982	0,9987899
TOTAL	-	0,9987899	-	-

Fonte: Acervo da autora (2019).

Figura 21- Resíduos retidos nas peneiras - amostra 1



Fonte: Acervo da autora (2019).

Quadro 5- Análise granulométrica da amostra 2

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - AMOSTRA 2				
PENEIRA	MALHA (pol)	MASSA RETIDA (kg)	RETIDA (%)	MASSA ACUMULADA (kg)
9,5 mm	3,8	0,000000	0,000	0
4,75 mm	4	0,000509	0,051	0,0005090
2,36 mm	8	0,001332	0,133	0,0018410
1,18 mm	16	0,059049	5,905	0,0608900
600 µm	30	0,279476	27,948	0,3403660
300 µm	50	0,281985	28,199	0,6223510
150 µm	100	0,235293	23,529	0,8576440
FUNDO	0	0,141525	14,153	0,9991690
TOTAL	-	0,999169	-	-

Fonte: Acervo da autora (2019).

Figura 22- Resíduos retidos nas peneiras - amostra 2



Fonte: Acervo da autora (2019).

9.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Os resultados analisados após o rompimento dos corpos de prova, mostraram que a média correspondeu a 22,77Mpa, ou seja, os resultados deram uma média acima da resistência de revestimento padrão feito com cimento e areia, como mostra no quadro 6, comparado com os valores determinados pela NBR 13281 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos —Requisitos, conforme a figura 23.

Quadro 6- Resultados da resistência a compressão dos CPS

PRODUÇÃO	
CORPO DE PROVA	MPA
CP1	27,340
CP2	20,930
CP3	24,420
CP4	23,020
CP5	28,000
CP6	25,670
CP7	28,300
CP8	9,210
CP9	27,740
CP10	10,180
CP11	9,660
CP12	25,690
CP13	26,780
CP14	25,940
CP15	16,980
CP16	26,940
CP17	26,610
CP18	27,490
CP19	17,320
CP20	27,280

Fonte: Acervo da autora (2019).

Figura 23- Resistência à compressão de argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos

Classe	Resistência à compressão MPa	Método de ensaio
P1	$\leq 2,0$	ABNT NBR 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	$> 8,0$	

Fonte: ABNT (2019).

9.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Pede-se considerar que a incorporação do resíduo da Scheelita contribuiu com a diminuição da absorção de água pela argamassa. Esta influência está relacionada com o preenchimento dos vazios pela porcentagem mais fina do resíduo. Os resultados deram todos abaixo de 10% limite normatizado para concretos de acordo com a norma NBR 6118, com uma média de 0,91%, conforme mostram os dados no quadro 7, significando baixa porosidade na argamassa. Há de ressaltar que esta propriedade, a absorção por água, está diretamente ligada à durabilidade da argamassa, ou seja, o uso do resíduo como agregado a argamassa contribuiu com capacidade de resistir às influências ambientais.

Quadro 7- Resultados dos ensaios de absorção de água

PRODUÇÃO			
CORPO DE PROVA	PESO SECO (Kg)	PESO SATURADO (Kg)	ABSORÇÃO (%)
CP1	3,540	3,578	1,073
CP2	3,520	3,552	0,909
CP3	3,473	3,515	1,209
CP4	3,478	3,515	1,064
CP5	3,555	3,594	1,097
CP6	3,483	3,521	1,091
CP7	3,509	3,544	0,997
CP8	3,524	3,563	1,107
CP9	3,505	3,539	0,970
CP10	3,451	3,49	1,130
CP11	3,492	3,532	1,145
CP12	3,520	3,561	1,165
CP13	3,490	3,532	1,203
CP14	3,600	3,625	0,694
CP15	3,687	3,712	0,678
CP16	3,659	3,685	0,711
CP17	3.639	3.659	0,550
CP18	3.613	3.630	0,471
CP19	3.560	3.578	0,506
CP20	3.623	3.636	0,359

Fonte: Acervo da autora (2019).

9.4 ADERÊNCIA

Os limites mínimos da resistência de aderência a tração dos revestimentos de parede especificados pela NBR 13749 ABNT (1996), mostram que a tensão de aderência do revestimento externo tem que ser $\geq 0,3\text{Mpa}$, e para o revestimento interno a norma determina $\geq 0,2\text{Mpa}$. Então, pode-se concluir que todos os resultados obtidos e mostrados no quadro 8, deram uma média de 1 Mpa, ou seja, acima das tensões de aderência normatizadas, sendo de possível aplicação para revestimentos internos e externos, conforme mostra a figura 24.

Quadro 8- Resultados dos ensaios de aderência

CORPO DE PROVA	VOLTAS	CARGA DE RUPTURA	ADERÊNCIA
n°	Qnt	Kgf	Mpa
1	13	280	1,399
2	25	96	0,480
3	12	140	0,700
4	8	118	0,590
5	24	109	0,545
6	4	94	0,470
7	8	122	0,610
8	13	122	0,610
9	9	240	1,199
10	12	310	1,549
11	12	370	1,849
12	12	276	1,379
13	15	293	1,464
14	10	233	1,164
15	13	235	1,174
16	8	214	1,069
17	10	176	0,879
18	12	266	1,329
19	10	153	0,765
20	9	151	0,755

Fonte: Acervo da autora (2019).

Figura 24- Registro de um dos ensaios de aderência

Fonte: Acervo da autora (2018).

9.5 DURABILIDADE

Após 8 meses de exposição ao gás carbônico, a argamassa não apresentou alterações em relação ao aparecimento de fissura, deslocamento e infiltração de água.

Figura 25- Aplicação de argamassa com adição de scheelita após 8 meses de exposição



Fonte: Acervo da autora (2019).

10 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA ARGAMASSA DE REBOCO COM ADIÇÃO DE SHELITTA

A viabilidade econômica da utilização desse resíduo parte do pressuposto da utilização um material sem custo inicial (resíduo) no lugar de um material em escassez e com um custo econômico (areia). Uma vez que o custo do metro cúbico da areia segundo o SINAPI atualizado em março de 2019, é de 60,00 reais, com a utilização do resíduo gera uma economia na produção da argamassa para reboco por metro cúbico de areia consumida na execução de um revestimento.

11 CONCLUSÃO

Com a extração ilegal e a diminuição das jazidas do agregado miúdo (areia), é necessário a busca por materiais que apresentem características semelhantes às suas e que possam ser utilizadas na substituição da areia natural. Nesse contexto, pode-se concluir que esta pesquisa contribuiu para confecção de um material com viabilidade de utilização na engenharia civil.

Considerando todos os resultados obtidos, observa-se que o resíduo natural da scheelita possui uma distribuição granulométrica ideal comparada a areia fina utilizada para a produção de argamassa para reboco, por apresentar uma grande quantidade de finos ocasionando uma melhora em algumas propriedades da argamassa. Os resultados de compressão dos corpos de prova se mostraram satisfatórios, com uma média de 22,77 Mpa, bem como os resultados da absorção de água com média de 0,91% garantindo uma argamassa com baixa porosidade e alta resistência à compressão de acordo com as normas vigentes, contribuindo para uma melhor durabilidade, devido ao resíduo contribuir com a diminuição da ação de agentes externos a argamassa pelo fechamento dos poros.

Os resultados do ensaio de aderência se mostraram satisfatórios, dando uma média de 1Mpa, ou seja, constataram que a argamassa com utilização do rejeito pode ser aplicável tanto para ambientes internos, como para ambientes externos, pois os resultados deram acima do que é determinado por norma. E a durabilidade foi constatada através da observação do desempenho da argamassa, através da sua exposição aos agentes agressivos, tendo a mesma apresentado um bom aspecto, não havendo aparecimento de fissuras ou outras patologias. Contudo, pode-se afirmar através da análise dos resultados que o resíduo proveniente da extração da Scheelita é apropriado para a confecção de argamassa para reboco, possuindo qualidade e viabilidade econômica, fatores importantes para o conhecimento da cadeia da construção civil potiguar e da sua possível comercialização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A MINA BREJUÍ EM CURRAIS NOVOS/RN: a maior mina de Scheelita da América do Sul. **Vento Nordeste**, 17 maio 2014. Disponível em: Acesso em 25 janeiro. 2019.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de Construção**. 5. ed. São Paulo: Pini, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **BT 106**: guia básico de utilização do cimento Portland. São Paulo: ABCP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projetos de estruturas de concreto - procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277**: revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água– Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: revestimento de parede e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: Abnt, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-4**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: Abnt, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: Abnt, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: Abnt, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO 3310-1: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com telas de tecido metálico. Rio de Janeiro: Abnt, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 1 v.

CARASEK, Helena. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 2 v.

CARVALHO JÚNIOR, Antônio Neves de. **AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA DOS REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS: UMA CONTRIBUIÇÃO À IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA DE ADERÊNCIA MECÂNICO**. 2005. 331 f. Tese (Doutorado) – Apresentado ao curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

CAVALCANTI, L.M.A; RIBEIRO, D.V. **Análises físicas e mecânicas de argamassas de cimento portland com areia contendo cinzas da queima do bagaço de cana-de-açúcar como agregado miúdo**. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Fortaleza. 2013.

CURRAIS NOVOS . Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Currais_Novos>. Acesso em: 25 nov. 2018.

GERAB, André Tabosa Fernandes de Santa Cruz. **UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO GROSSO DO BENEFICIAMENTO DA SCHEELITA EM APLICAÇÕES RODOVIÁRIAS**. 2014. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

IBRAM (Brasília). Instituto Brasileiro de Mineração (Org.). **II Inventário de Gases Efeito Estufa do Setor Mineral**. 2014. Disponível em: <<https://portaldamineracao.com.br/wp-content/uploads/2017/06/00005153.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

ISAIA, Editor Geraldo C. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 2 v.

LUIS FARJADO. Bbc News (Ed.). **O declínio da mineração e seu legado na América Latina**. 2015. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/10/151015_minerio_legado_america_latina_rb>. Acesso em: 25 jul. 2018.

MACIEL, Luciana Leone. BARROS, Mércia M. S. Bottura. SABBATINI, Fernando Henrique. **Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos**. São Paulo, 1998.

MEDEIROS, Mauriceia. **ESTUDO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM RESÍDUO DE SCHEELITA**. 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO (Currais Novos). **Uma história dedicada à mineração de scheelita**. 2017. Disponível em: <<https://minabreju.com.br/historia/>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

PEREIRA, Caio. **Tipos de cimento: Características e especificações**. 2018. Escola Engenharia. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-cimento/>>. Acesso em: 28 jul. 2018.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo argamassa**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPURCS, 2012.

ROCHA, Janaíde Cavalcante; CHERIAF, Malik. **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional**. Porto Alegre: Habitare, 2003. 272 p.

SAMPAIO, Carlos Hoffmann; TAVARES, Luís Marcelo Marques. **Beneficiamentos gravimétricos: Uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade**. Porto Alegre: Editora da Ufrgs, 2005.

SANTOS, Heraldo Barbosa dos. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento**. 2008. 50 f. Monografia (Especialização) - Curso de Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SOARES, Arilza. Vento Nordeste. 2014. Disponível em: <<https://papjerimum.blogspot.com/>>. Acesso em: 16 set. 2018.

YAZIGI, Walid. **A técnica de Edificar**. 7. ed. São Paulo: PINI, 2006. MACIEL, Luciana Leone; BARROS, Mércia M. S. Bottura; SABBATINI, Fernando Henrique. **Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos**. São Paulo, 1998.