

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**

**EDUARDO ANTÔNIO DE CASTRO DUTRA**

**A UTILIZAÇÃO DE REJEITOS DE QUARTZITOS DO MUNICÍPIO DE GUAPÉ -  
MG COMO AGREGADO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS.**

**Varginha – MG**

**2020**

**EDUARDO ANTÔNIO DE CASTRO DUTRA**

**A UTILIZAÇÃO DE REJEITOS DE QUARTZITOS DO MUNICÍPIO DE GUAPÉ-  
MG COMO AGREGADO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. MSc. Ivan Francklin Júnior.

**Varginha - MG**

**2020**

**EDUARDO ANTÔNIO DE CASTRO DUTRA**

**A UTILIZAÇÃO DE REJEITOS DE QUARTZITOS DO MUNICÍPIO DE GUAPÉ-  
MG COMO AGREGADO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em        /        /

---

Professor MSc. Ivan Francklin Júnior

---

Membro da banca examinadora I

---

Membro da banca examinadora II

OBS.:

Dedico este trabalho aos meus pais Antônio e Adriane e também aos meus queridos avós Vitor, Conceição e Nilva pelo incentivo de sempre aos meus estudos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela força e sabedoria que me concedeu para enfrentar as lutas diárias durante este período.

Agradeço especialmente aos meus pais Antônio Dutra Filho e Adriane Castro de Oliveira Dutra e a minha irmã Júlia Castro Dutra pelo incentivo e apoio durante toda esta jornada.

Agradeço aos amigos de trabalho do SICOOB Crediguapé pela compreensão e colaboração durante esta caminhada.

Agradeço aos meus amigos de classe Bruno, Eduarda, Gustavo Damasceno, Gustavo Henrique e Jennifer pelo companheirismo, paciência e parceria durante todo o período acadêmico.

Agradeço meu primo Geovani Dutra e meu tio José Dutra pelas colaborações de logística em Varginha-MG.

Agradeço a empresa Brito e Campolina na pessoa de seu proprietário José Francisco Reis Campolina pela contribuição neste trabalho.

Agradeço a empresa Mineração Ropedras, na pessoa de seu proprietário Rodrigo Sebastião de Aguiar, pelo fornecimento de informações e materiais utilizados neste trabalho.

Agradeço a empresa CRIAR Projetos e Tijolos Ecológicos, na pessoa de seus proprietários, Rubens e Andreia, por prontamente me ajudarem na moldagem dos tijolos aqui produzidos.

Agradeço a empresa JAM Blocos e Pré-moldados, na pessoa de seus proprietários Eliane Aparecida de Oliveira e João Ávila Pires, pela disponibilização do cimento utilizado nos corpos de prova.

Agradeço à Prof. Luane Mendes e aos meus colegas de classe Gabriel, Giovanna e Humberto pelo auxílio na realização dos ensaios.

Agradeço a Eng. MSc. Fernanda Medeiros Dutra Reis pelo auxílio e instruções quanto aos ensaios.

Por fim agradeço ao Prof. MSc. Ivan Francklin Júnior que sabiamente me orientou neste trabalho.

“ Ninguém é suficientemente perfeito, que não possa aprender com o outro e, ninguém é totalmente estruído de valores que não possa ensinar algo ao seu irmão. ”

São Francisco de Assis

## RESUMO

A cidade de Guapé, no sul de Minas Gerais, compõe a região denominada Centro Produtor de Alpinópolis no tocante a extração de quartzitos, sendo a segunda maior cidade produtora, com uma produção correspondente a 20% do total extraído neste polo produtor. A larga escala de produção de quartzitos, sobretudo no município de Guapé vem acarretando na alta geração de rejeitos, provocando problemas na esfera ambiental, como assoreamento de córregos e alteração da paisagem, além de problemas administrativos na própria lavra, como dificuldades na manutenção das atividades e até mesmo a impossibilidade de extração em áreas onde há o depósito de rejeito, uma vez que este é descartado na própria lavra. O objetivo desta pesquisa é verificar a possibilidade do reaproveitamento do rejeito de quartzito na produção de tijolos modulares de solo-cimento. A pesquisa realizada contemplou um estudo tecnológico das amostras coletadas com a finalidade de atestar a viabilidade do rejeito na função de solo para o tijolo solo-cimento. Os resultados obtidos quanto à caracterização tecnológica do rejeito e dos tijolos moldados foram satisfatórios e asseguraram a viabilidade de utilização dos resíduos de quartzito na fabricação dos tijolos modulares de solo-cimento.

**Palavras-chave:** Quartzito. Rejeito. Tijolo. Solo-cimento.

## **ABSTRACT**

*The city of Guapé, in the south of Minas Gerais, is part of the region called Centro Produtor de Alpinópolis, without regard to the extraction of quartzites, being the second largest producing city, with a production corresponding to 20% of the total extracted in this producer pole. The large scale of quartzite production, especially in the municipality of Guapé, has resulted in a high generation of tailings, causing problems in the environmental sphere, such as silting up streams and altering the landscape, in addition to administrative problems in the mine itself, such as difficulties in maintaining activities and even the impossibility of extraction in areas where there is a tailings deposit, since this is discarded in the mine itself. The objective of this research is to verify a possibility of reusing quartzite tailings in the production of modular soil-cement bricks. The research carried out included a technological study of the collected ones in order to certify the viability of the tailings in the function of soil for the soil-cement brick. The results obtained regarding the technological characterization of the tailings and molded bricks were satisfactory and ensured the feasibility of using quartzite residues in the manufacture of modular soil-cement bricks.*

**Keywords:** *Quartzite. Reject. Brick. Soil-cement.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Jazida de quartzito.....	13
Figura 2 - Retirada das placas por cunhas e marretas.....	14
Figura 3 - Fluxograma do processo de extração.....	14
Figura 4 - Corte da peça no beneficiamento.....	15
Figura 5 - Região produtora de Alpinópolis com as distâncias entre suas cidades.....	16
Figura 6 - Acúmulo de rejeitos de quartzitos na cidade de Alpinópolis.....	18
Figura 7 - Hospital Geral Adriano Jorge edificado com tijolos de solo-cimento.....	20
Figura 8 - Prensa manual desenvolvida no Brasil.....	21
Figura 9 - Prensa Hidráulica.....	22
Figura 10 - Fluxograma do processo de fabricação do tijolo de solo-cimento.....	25
Figura 11 - Tijolos solo-cimento confeccionados por Reis (2019).....	28
Figura 12 - Microrregião de Varginha no Estado de Minas Gerais.....	30
Figura 13 - Imagem aérea de Guapé.....	31
Figura 14 - Imagem aérea da Mineração Guapedras LTDA.....	32
Figura 15 - Mapa Geológico de Guapé (A) e imagem de satélite da mesma área (B).....	32
Figura 16 - Comparativo de geração de rejeitos entre os anos de 2002 (A) e 2019 (B).....	33
Figura 17 - Pilha de rejeitos gerados no beneficiamento.....	34
Figura 18 - Amostra de rejeitos de quartzito no formato de aparas.....	35
Figura 19 - Amostra do rejeito de quartzito no formato de pó.....	35
Figura 20 – Solo utilizado para moldagem dos tijolos.....	36
Figura 21 – Peneiras para ensaio.....	40
Figura 22 – Aparelho de Casagrande .....	41
Figura 23 – Ensaio do Limite de Plasticidade do Solo .....	43
Figura 24 – Solo sendo peneirado .....	45
Figura 25 – Umidade ótima a ser utilizada na mistura .....	46
Figura 26 – Tijolos após a moldagem .....	47
Figura 27 – Pontos de aferimento para Análise Dimensional .....	48
Figura 28 – Ensaio de Absorção de Água .....	49
Figura 29 – Ensaio de resistência à compressão simples: corte para a formação dos corpos de prova (A); moldagem dos corpos de prova (B); corpo de prova na máquina do ensaio (C) e tijolo rompido após o ensaio (D).....	50
Figura 30 – Frasco de Le Chatelier.....	52

Figura 31 – Curva de distribuição granulométrica do solo puro.....	54
Figura 32– Curva de distribuição granulométrica do solo com 15% de quartzito.....	55
Figura 33 – Curva de distribuição granulométrica do solo 30% de quartzito.....	56
Figura 34 – Limite de Liquidez do solo puro.....	58
Figura 35 – Limite de Liquidez do solo com adição de 15% de rejeito de quartzito.....	58
Figura 36 – Limite de Liquidez do solo com adição de 30% de rejeito de quartzito.....	59
Figura 37 – Valores médios de absorção de água por traço e dosagem (em %)......	61
Figura 38 – Valores médios de resistência a compressão simples por lote.....	62
Figura 39 - Relação da resistência média a compressão simples com a absorção média de água.....	65
Figura 40 – Relação da massa específica seca com a absorção de água.....	66

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparativo das exportações nos anos de 2016 e 2017.....	17
Quadro 2 - Tipos e dimensões nominais.....	23
Quadro 3 - Exigências normativas quanto às características do solo.....	23
Quadro 4 – Ensaio realizados no material solo.....	39
Quadro 5 – Traços e dosagens desenvolvidos.....	44
Quadro 6 – Quantidade de tijolos ensaiados por ensaio e traço.....	47
Quadro 7 – Análise Granulométrica do Solo Puro.....	54
Quadro 8 – Análise Granulométrica do Solo com 15% de quartzito.....	55
Quadro 9 – Análise Granulométrica do Solo com 30% de quartzito.....	56
Quadro 10 – Limites de Consistência do Solo.....	57
Quadro 11 – Percentuais individuais por amostra do ensaio de absorção de água.....	60
Quadro 12 – Massa Específica Seca dos tijolos solo-cimento.....	63

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Objetivo .....</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Quartzito .....</b>	<b>13</b>
2.1.1 Extração .....	13
2.1.2 Beneficiamento .....	15
2.1.3 Extração e Comercialização de Quartzitos no Brasil .....	15
2.1.4 Geração de Rejeitos .....	17
2.1.5 Uso do quartzito na construção civil .....	19
<b>2.2 Tijolo Solo-cimento .....</b>	<b>19</b>
2.2.1 Propriedades dos tijolos solo-cimento .....	22
2.2.2 Utilização de rejeitos para fabricação de blocos e tijolos para alvenaria .....	25
2.2.3 Utilização de rejeitos de quartzitos para produção de blocos e tijolos para alvenaria.....	26
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Materiais .....</b>	<b>29</b>
3.1.1 Quartzito .....	29
3.1.1.1 Descrição da área de estudo .....	30
3.1.1.2 Geração de rejeitos de quartzitos em Guapé – MG .....	33
3.1.1.3 Amostragem dos rejeitos de quartzitos de Guapé – MG .....	34
3.1.2 Solo .....	36
3.1.3 Cimento .....	37
<b>3.2 Metodologia .....</b>	<b>37</b>
3.2.1 Caracterização tecnológica do rejeito de quartzito .....	37
3.2.1.1 Massa específica .....	37
3.2.2 Caracterização tecnológica dos solos .....	38
3.2.2.1 Massa específica .....	39
3.2.2.2 Análise Granulométrica .....	39
3.2.2.3 Limites de Consistência .....	40
3.2.2.3.1 Limite de Liquidez .....	41
3.2.2.3.2 Limite de Plasticidade .....	42
<b>3.3 Dosagem das misturas .....</b>	<b>43</b>
<b>3.4 Fabricação dos tijolos solo-cimento .....</b>	<b>44</b>
<b>3.5 Ensaios realizados nos tijolos de solo-cimento .....</b>	<b>47</b>
3.5.1 Análise Dimensional .....	48
3.5.2 Absorção de Água .....	48
3.5.3 Resistência à compressão simples .....	49
3.5.4 Massa específica do tijolo .....	51
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1 Caracterização tecnológica do rejeito de quartzito .....</b>	<b>52</b>
4.1.1 Massa específica .....	52
<b>4.2 Caracterização tecnológica dos solos .....</b>	<b>53</b>
4.2.1 Massa específica .....	53
4.2.2 Análise Granulométrica .....	53
4.2.3 Limites de Consistência .....	57
<b>4.3 Ensaios realizados nos tijolos .....</b>	<b>59</b>
4.3.1 Análise Dimensional .....	59

4.3.2 Absorção de Água .....	59
4.3.3 Resistência à compressão simples .....	61
4.3.4 Massa específica do tijolo .....	62
<b>5 DISCUSSÕES .....</b>	<b>64</b>
<b>5.1 Geração de rejeitos .....</b>	<b>64</b>
<b>5.2 Relações entre as propriedades dos tijolos .....</b>	<b>64</b>
<b>5.3 Considerações quanto ao traço .....</b>	<b>66</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>69</b>
<b>APÊNDICE A – Ensaio de Análise Dimensional .....</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICE B - Valores individuais de resistência a compressão simples dos corpos de prova .....</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O quartzito é uma rocha metamórfica proveniente do metamorfismo dos arenitos, é também conhecida como Pedra São Tomé, Pedra Mineira ou Pedra de Piscina. São comumente utilizados na indústria da construção civil na função de revestimentos e possuem um apelo estético muito requisitado, fazendo com que sejam utilizados em fachadas, pias, lavatórios, pisos, bancadas e em peças decorativas (Vidal et al., 2014).

São encontrados em todo o Brasil, no entanto o estado de Minas Gerais se destaca quanto à extração e a comercialização deste tipo de rocha. A título de ilustração, segundo dados da ABIROCHAS (2018) as exportações de quartzitos no ano de 2017 foram na ordem de 79,6 mil toneladas.

Ainda de acordo com a FEAM (2015), o mercado de rochas ornamentais gera mais de 105 mil empregos diretos e indiretos por todo país, e movimenta cerca de US\$ 5 bilhões por ano, tanto em importações quanto em exportações.

No entanto, por se tratar de uma rocha ornamental, a extração do quartzito produz uma quantidade de rejeitos muito grande. De acordo com Paraguassú et al. (2014) os rejeitos correspondem a valores da ordem de 90% do material bruto extraído, isso se dá devido a diversos fatores, tais como, técnicas inadequadas de desmontes, alta incidência de fraturamento no maciço rochoso, conformação comercial em blocos, polimento, lustro, dentre outros processos de beneficiamento.

De acordo com Collares et al. (2012) tal geração de rejeitos acarreta em diversos impactos ambientais desfavoráveis, como alteração da paisagem, acúmulo exagerado de rejeitos, instabilidade de taludes, assoreamento dos rios e poluição atmosférica.

Com isso muitas empresas já praticam o reaproveitamento de rejeitos em suas instalações, exemplo disso é a utilização de pequenos fragmentos na função de revestimento (FEAM, 2015), além disso, observam-se também diversas pesquisas com relação ao reaproveitamento desse tipo de rejeito, tais como o uso do rejeito como agregado para o concreto (FRANCKLIN JUNIOR, 2009) e a utilização na produção de cerâmica vermelha (RIBEIRO, 2011).

Diante disso, o presente trabalho, visa estudar a viabilidade do reaproveitamento de rejeitos de quartzito na produção de tijolos modulares de solo cimento, na função de solo. De forma a se verificar os princípios normativos que norteiam a produção de tal artefato, levando em conta os aspectos sustentáveis de maneira que eventualmente este rejeito possa ser utilizado como uma fonte alternativa de agregado na produção do tijolo solo-cimento, gerando

empregos, atenuando os problemas ambientais e proporcionando uma fonte de renda extra para as empresas mineradoras.

### **1.1 Objetivo**

Estudar as propriedades tecnológicas de rejeitos de quartzitos do município de Guapé – MG para uso como agregado em tijolos ecológicos.

Como objetivos específicos citam-se:

- Realizar um levantamento das minerações de quartzitos do município de Guapé;
- Proceder uma amostragem dos rejeitos de quartzitos de Guapé-MG;
- Realizar a caracterização física e química do rejeito de quartzito, a fim de se conhecer suas propriedades;
- Produzir agregados em laboratório;
- Desenvolver estudos de dosagem de tijolos estruturais em solo-cimento;
- Produzir tijolos em laboratório;
- Realizar ensaios físicos e mecânicos nos tijolos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Quartzito

Segundo a ABIROCHAS (2009) o quartzito (Figura 1) é uma rocha metamórfica composta essencialmente de grão de quartzo recristalizados. É também conhecido como Pedra Mineira, Pedra São Tomé ou simplesmente Pedra de Piscina.

Conforme definição de Vidal et al. (2014) os quartzitos geralmente apresentam-se na cor branca, no entanto existem alternâncias para o vermelho e o azul. Em função da concentração considerável de quartzo, os quartzitos possuem uma dureza bem alta, o que por sua vez causa um grande desgaste nos instrumentos utilizados no processo de corte e polimento, evidenciando sua resistência ao intemperismo e às alterações hidrotermais.

Quanto ao uso, os quartzitos, são comumente empregados em revestimentos devido a porosidade e a facilidade de se transformar a rocha em placas com pequenas alterações, proporcionando um aspecto natural da rocha.

Figura 1 - Jazida de quartzito.



Fonte: (FEAM, 2015)

#### 2.1.1 Extração

A extração deste tipo de rocha se dá por meio de cunhas, alavancas e explosivos de baixa potência, e deve ser feita com cautela, de forma a se obter porções em formatos geométricos regulares, a fim de se garantir características estéticas e de durabilidade. Quanto à forma de extração também têm de ser previamente analisada, visto que durante este processo as discontinuidades encontradas na lavra serão utilizadas como planos de desmontes (Paraguassú et al, 2014).

De acordo com a FEAM (2015) a extração é realizada a céu aberto, tal processo se inicia pelo decapeamento, que nada mais é que a retirada de todo material que cobre a jazida de quartzito, tal procedimento consiste na remoção do solo e do quartzito alterado, o qual é considerado material estéril pelo fato de não ter valorização comercial. Quando de fato se atinge o material almejado, utiliza-se explosivos para realizar o desmonte das bancadas e completa-se a operação com de picaretas, pás mecânicas, cunhas e marretas. Por fim são retiradas placas grandes e espessas (Figura 2), que são delaminadas com finalidade de se obter frações mais delgadas.

Figura 2 - Retirada das placas por cunhas e marretas.

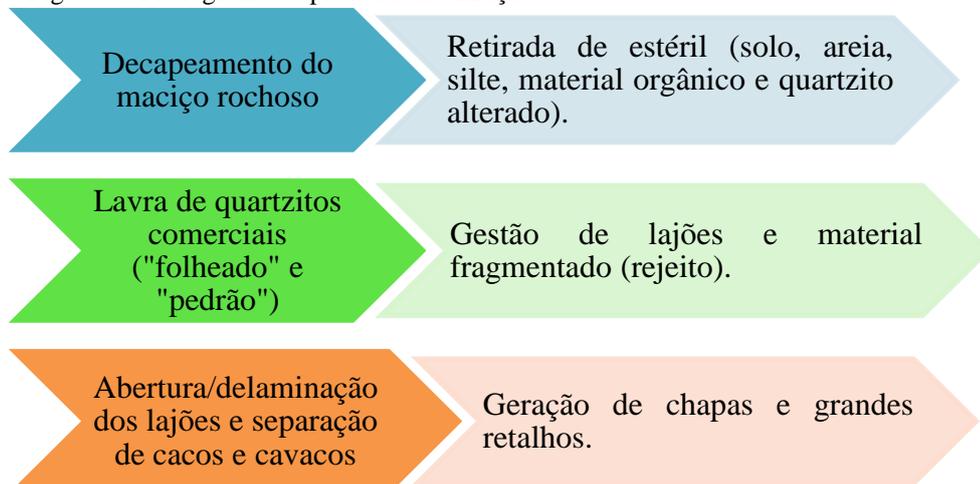


Fonte: (FEAM, 2015).

Os produtos finais que são comercializados são denominados “folheados” e “pedrão”, o que os difere é o aproveitamento econômico, sendo o primeiro muito valorizado enquanto o segundo não tem valor tão significativo visto a incapacidade de delaminação (FEAM, 2015).

O processo completo de extração do quartzito segue o fluxograma da Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma do processo de extração.



Fonte: (FEAM, 2015), Modificado pelo autor.

### 2.1.2 Beneficiamento

O processo de beneficiamento é bem simples e realizado na própria lavra. Existem diversas formas de beneficiamento, sendo estas relacionadas à finalidade de comercialização.

Em alguns casos, o quartzito é esquadrejado, riscado e cortado à percussão sustentado em uma quina de metal (Figura 4), formando lajotas de extremidades rugosas, as quais podem ser comercializadas neste formato, entretanto, quando se é necessário um acabamento mais refinado, as lajotas, passam por diversos processos de beneficiamento, sendo o mais comum deles o que consiste em um aperfeiçoamento com corte diamantado, fazendo com que as extremidades tenham as bordas lisas de modo que a superfície se mantenha no estado natural. Outros processos envolvem aquecimento em fornos, polimento, calibração entre outros. Independente do tipo de beneficiamento é comum a geração de alguns rejeitos denominados cascos e cavacos que são usados em revestimentos na forma de mosaicos (FEAM, 2015).

Figura 4 - Corte da peça no beneficiamento.



Fonte: (FEAM, 2015).

### 2.1.3 Extração e Comercialização de quartzitos no Brasil

De acordo com Alecrim (2009) os Estados de Minas Gerais e Goiás correspondem aos dois principais polos produtores de quartzitos no país.

Em Goiás destaca-se que os municípios de Pirenópolis, Corumbá e Cocalzinho correspondem pela maior parte da extração de quartzitos do Estado (Faleiro et al., 2010).

No entanto, de acordo com dados da FEAM (2015) Minas Gerais é o maior centro produtivo de quartzito do país, sendo que as cidades de Ouro Preto, Diamantina, São Thomé

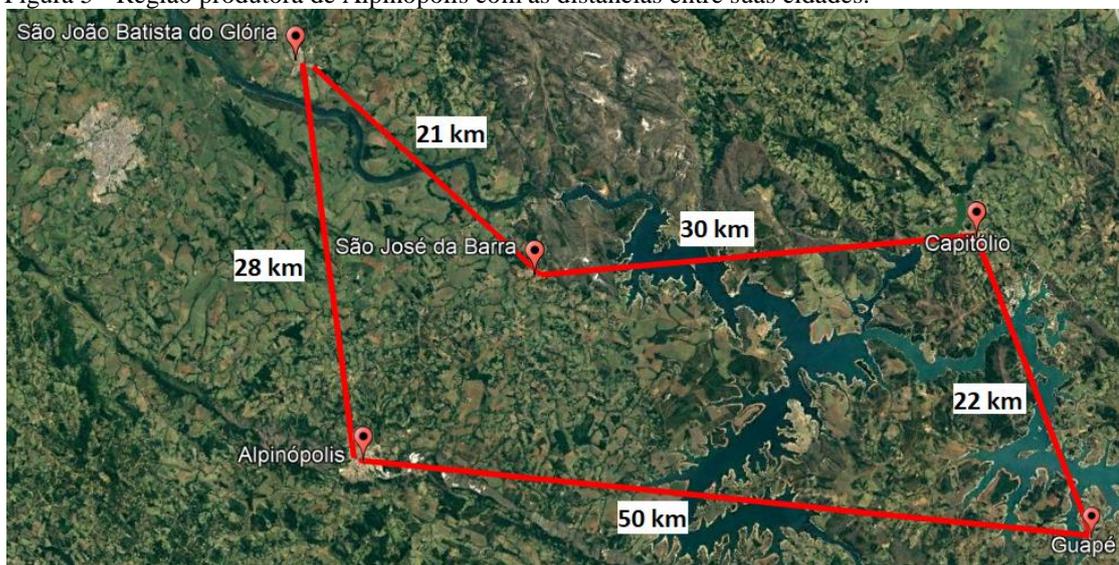
das Letras e Alpinópolis as principais responsáveis pela extração de quartzito no Estado, com destaque para as duas últimas cidades e seus municípios vizinhos.

São Thomé das Letras (Sul de Minas) e região se destacam como um centro produtor bem avançado no Estado, sendo que maior parte desta produção alimenta o mercado dos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, uma vez que cerca de 20% da produção da região de São Thomé das Letras é destinada a exportação (ABIROCHAS, 2009).

De acordo com Alecrim et al. (2004) outro polo de relevância no Estado é o centro produtor da cidade de Alpinópolis, localizado no Sudoeste de Minas. Os municípios circunvizinhos de São José da Barra, Capitólio, São João Batista do Glória e Guapé também se apresentam como produtores expressivos de quartzito. Segundo Alecrim (2009), Alpinópolis é o maior produtor da sua região, com 50% da produção regional, seguido de Guapé com 20% e os demais municípios juntos totalizam 30%.

A Figura 5 consiste em uma imagem de satélite com as cidades da região produtora de Alpinópolis e suas respectivas distâncias em linha reta, representando a proximidade entre essas cidades.

Figura 5 - Região produtora de Alpinópolis com as distâncias entre suas cidades.



Fonte: (Google Earth, 2020).

Em relação a dados de comercialização do quartzito, esta se dá tanto para o mercado interno quanto externo, sendo que o Estado de São Paulo é o principal responsável pelo consumo no país, pelo fato da concentração de aproximadamente 50% das empresas de beneficiamento final (Alecrim, 2009).

Segundo dados da ABIROCHAS (2017) referente ao mercado externo, os quartzitos foliados são exportados para mais de 32 países, sendo a Alemanha, Japão, Itália e França os principais compradores. Somente no ano de 2017 o Brasil exportou 79.600 toneladas de quartzito, sendo que deste total 26.600 toneladas correspondem a quartzitos foliados e outras 53.000 toneladas equivalem aos quartzitos maciços (ABIROCHAS, 2018).

Se comparado ao ano de 2016, os quartzitos maciços na forma de blocos obtiveram um aumento na exportação em 13,5%, no entanto quanto aos quartzitos foliados, a exportação apresentou decréscimo de 25,5% de um ano para outro, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Comparativo das exportações nos anos de 2016 e 2017.

Tipo de Rocha	Produto	Volume físico exportado (toneladas)	
		2016	2017
Quartzito foliado	Lajotas de corte manual e serradas, cacos / cavacos, filetes e pavês	35.700	26.600
Quartzito maciço	Blocos	46.700	53.000

Fonte: (ABIROCHAS, 2017; ABIROCHAS, 2018), Modificado pelo autor.

Este declínio de acordo com ABIROCHAS (2017) é uma tendência continuada do período de 2014 para 2015, e deve ser superada com o incremento da comercialização de produtos com maiores detalhes de acabamento, gerando maior valor agregado para o mercado externo, uma vez que os blocos de quartzito obtiveram um comportamento inverso.

#### 2.1.4 Geração de rejeitos

No processo de extração de quartzitos é notória a alta geração de rejeitos, sobretudo na etapa de decapeamento onde ocorre a retirada de todo material estéril, o qual consiste em uma camada de solo (pequena) e outra de quartzito que não têm valor comercial, denominado quartzito estéril, este material pode ser chamado tanto como rejeito quanto resíduo (Deschamps et al., 2002).

Além disso, Francklin Júnior (2009) destaca que tal geração é ainda agravada pelo fato de que o quartzito é muito empregado como revestimento, sendo necessária a extração em

placas, com espessuras e comprimento uniformes. Materiais que por ventura não atenderem a estes requisitos são descartados e passam a se configurar rejeitos.

De acordo com Alecrim (2009) de todo o montante extraído na lavra, somente cerca de 8% a 10% é aproveitado, sendo todo o restante caracterizado como material estéril. Esse baixo aproveitamento se dá principalmente por técnicas inadequadas de desmontes, incidência de fraturamento do maciço rochoso e ocorrências de camadas de quartzo que não sofrem delaminação.

Segundo a CPRM (2007), especificamente sobre a região produtora de Alpinópolis (Figura 6), nota-se que a atividade mineradora se deu e foi mantida de forma desordenada e em alguns casos até mesmo clandestina visto a falta de fiscalização, o que gerou um dano ambiental irreparável na região, culminando principalmente em alterações na paisagem e a geração de um amontoado de rejeitos que em alguns casos provocam assoreamento de córregos próximos.

Figura 6 - Acúmulo de rejeitos de quartzitos na cidade de Alpinópolis.



Fonte: (Reis, 2019).

No entanto, ainda de acordo com a CPRM (2017), observa-se uma evolução em relação à fiscalização e o comprometimento por parte dos empreendedores com a questão ambiental. Tal evolução deve-se principalmente a legalização das minerações junto ao DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) e IEF (Instituto Estadual de Florestas – autarquia do Estado de Minas Gerais). Relativo a medidas ambientalmente corretas, destaca-

se a revegetação de áreas degradadas, construção de muros de contenção como forma de evitar erosão e aterro com o próprio rejeito em lavras desativadas.

#### 2.1.5 Uso do quartzito na construção civil

Pela configuração de foliação metamórfica, o processo de beneficiamento dos quartzitos é bem mais simples se comparado com outras rochas ornamentais, uma vez que não é necessária a utilização de teasers, talha-blocos, entre outros. Tal facilidade de processamento aliado a fatores estéticos culminou no vasto emprego de tal rocha na construção civil, para fins de ornamentação e revestimento (FEAM, 2015).

De acordo com Santos et al. (2014), o quartzito quanto rocha ornamental pode ser utilizado como piso e revestimento, empregado principalmente em fachadas, praças, áreas de lazer, escadas, jardins, entre outros, no entanto também se verifica a utilização na confecção de mesas e balcões.

Contudo, também é perceptível o desempenho do quartzito em funções as quais não sejam tão somente a arquitetônica, sendo que é possível o emprego em obras de caráter estrutural, exemplo disso é o simples fato da aplicação como piso, onde aliado às características ornamentais o quartzito desempenha também função estrutural, levando-se em consideração suas características de dureza e tenacidade.

Tais características fomentaram diversas pesquisas quanto ao emprego estrutural do quartzito, principalmente na produção de concretos.

Visto a alta geração de rejeitos, Francklin Júnior (2009) analisou a utilização de rejeitos de quartzito do Sudoeste de Minas Gerais na função de agregado graúdo na produção de concreto, onde foi verificada a capacidade de aproveitamento do rejeito quanto agregado graúdo, atendendo as normas competentes. Os resultados obtidos atestaram que a incorporação do quartzito como agregado graúdo é satisfatória quanto às propriedades mecânicas e a trabalhabilidade do concreto.

## 2.2 Tijolo de Solo-cimento

A utilização do solo como material construtivo pelo ser humano é bem antiga, segundo Cabala (2007), no período Neolítico, o homem já produzia blocos de terra secos ao sol com a finalidade de construir abrigos em lugares em que o manejo de outros materiais convencionais à época (como rocha e madeira) era impossibilitado.

De acordo com Cunha (1978) os filhos de Israel produziam e comercializavam com os egípcios tijolos de barro no tempo de Moisés (século XIV a.C.). Acredita-se que as primeiras moradias de um oásis no Iran, denominado Siolk foram utilizados blocos de adobe monolítico cru antes do ano 4000 a.C.

Segundo Grande (2003) o homem aperfeiçoou as construções com a utilização de tipos diferentes de barro, prolongando a vida útil das estruturas, com isso surgiram-se as incorporações de outros materiais, como a palha e o bambu no Egito; o asfalto natural na Babilônia e Assíria e o emprego de cal e pozolanas na estabilização dos solos.

No final do século XIX o engenheiro britânico H.E. Brook-Bradley empregou a mistura de solo cimento em leitos de estradas e em pistas para veículos a cavalo no sul da Inglaterra. Semelhante a Brook-Bradley, Bert Reno, engenheiro americano, incorporou a mistura conchas marinhas para a pavimentação de uma rua nos Estados Unidos no ano de 1915 (Acchar et al, 2016).

De acordo com Uchimura (2006), no Brasil a utilização do solo-cimento em edificações se deu pela primeira vez no ano de 1945 na cidade de Santarém no Pará, onde foi construída uma casa de bombas de cunho experimental com 42 m<sup>2</sup> para fins de abastecimento das obras de construção de um aeroporto.

Mais tarde, ainda de acordo com Uchimura (2006), foram construídas outras edificações com o emprego de tal material, como a construção de moradias na Fazenda Inglesa em Petrópolis – RJ e o Hospital de Tuberculosos de Manaus-AM (atual Hospital Geral Adriano Jorge) com uma área total de 10.800 m<sup>2</sup> em paredes monolíticas de solo-cimento, inaugurado em 1953 (Figura 7).

Figura 7 - Hospital Geral Adriano Jorge edificado com tijolos de solo-cimento.



Fonte: (Google Maps, 2020).

O estado de conservação destas edificações nos dias atuais evidencia o caráter de durabilidade e de qualidade de tal prática construtiva, apresentando propriedades técnicas e mecânicas equivalentes às encontradas nos materiais convencionais, enfatizado por estudos e ensaios da ABCP (2000) no qual se constatou que a resistência à compressão simples é bem semelhante a do tijolo cerâmico.

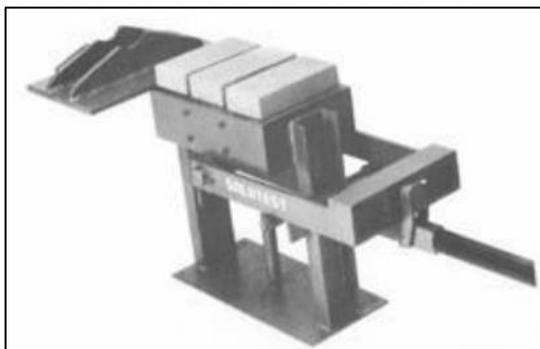
De acordo com Borges et al. (2009), além de eficiência mecânica, observa-se princípios sustentáveis, sendo que para a produção do tijolo solo-cimento em alguns casos pode-se utilizar o solo do próprio local da construção, e ser produzido no canteiro de obras, havendo-se assim economia, tanto em logística quanto na matéria-prima utilizada. Outro fator interessante é a possibilidade da não utilização de revestimento, apresentando-se na forma de paredes com tijolos a vista, proporcionando um ambiente esteticamente agradável, o que por sua vez é muito requisitado em alguns projetos arquitetônicos, no entanto é necessário que o tijolo fique protegido da ação direta da água.

Quanto à mão-de-obra, segundo dados da ABCP (2000) esta não necessita ser especializada pelo fato da utilização de equipamentos simples e de baixo custo.

O êxito construtivo aliado aos aspectos econômicos, sustentáveis e estruturais, e embasado em estudos técnicos fez com que o então BNH (Banco Nacional da Habitação) no de 1978 aprovasse o método construtivo dos tijolos solo-cimento para a construção de moradias populares, ampliando em larga escala a utilização do tijolo no país (Lima, 2006).

Para a fabricação do tijolo solo-cimento, é necessário compactar-se a mistura solo, cimento e água. Esta compactação de acordo com a ABNT NBR 10833 (2012) se dá por meio da utilização de prensas, podendo-se utilizar tanto prensas hidráulicas quanto prensas manuais. De acordo com Melo et al. (2011) o próprio BNH nos anos 70 apoiou o desenvolvimento de uma prensa manual para a fabricação de tijolos. Esta era capaz de moldar três tijolos ao mesmo tempo com largura de 9,5 cm (Figura 8).

Figura 8 - Prensa manual desenvolvida no Brasil.



Fonte: (Melo et al., 2011)

Quanto à utilização da prensa manual, seja o modelo desenvolvido com o apoio do BNH ou similares, Lima (2006) ressalta a eficiência e o atendimento dos anseios experimentais para fins laboratoriais, no entanto para a execução de grandes obras, esta se torna inadequada, visto a alta taxa de desperdício de material e a inviabilidade devido ao número de tijolos a serem produzidos e grande mão de obra empregada na fabricação. Para casos como este é recomendada a utilização da prensa hidráulica (Figura 9), levando em conta o fator produtivo e qualitativo.

Figura 9 - Prensa Hidráulica.



Fonte: (Reis, 2019).

### 2.2.1 Propriedades dos tijolos solo-cimento

Segundo Francisco (2010) o tijolo solo-cimento é uma alternativa na construção de alvenarias, sendo este composto de material homônimo, que consiste na mistura uniforme, em grandezas apropriadas passando por um processo de compactação ou prensa, e consequentemente cura, a qual se dá de forma úmida, resultando em um artefato de propriedades mecânicas e de características de durabilidades bem definidas.

Conforme a ABNT NBR 8491 (2012) os tijolos de solo-cimento podem ser tanto maciços quanto vazados e apresentam-se em duas configurações diferentes quanto às suas dimensões (Quadro 2). No entanto estas podem sofrer alterações desde que a altura (H) do tijolo seja menor que sua largura (L).

Quadro 2 - Tipos e dimensões nominais

Tipos	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
A	200	100	50
B	240	120	70

Fonte: (ABNT NBR 8491:2012 – Tijolo de solo-cimento – Requisitos), Modificado pelo autor.

Para a fabricação do tijolo solo-cimento é necessário que os materiais empregados neste processo sejam ensaiados com antecedência a fim de verificar se suas propriedades atendem aos requisitos normativos quanto matéria prima.

De acordo com a ABNT NBR 10833 (2012), o material solo não deverá conter matéria orgânica em quantidade que prejudique a hidratação do cimento. Tratando-se de elementos orgânicos no solo, a ABNT NBR 10.833 (2012) recomenda que este atenda os requisitos da ABNT NBR NM 49 (2001) – Agregado Fino – Determinação de impurezas orgânicas, na qual estabelece o método de determinação colorimétrica das impurezas orgânicas encontradas em agregados miúdos, sendo que para fins de produção de tijolo solo-cimento, a solução alcançada no ensaio deve apresentar coloração mais clara que a solução-padrão. Além disso, o solo deve possuir as características dispostas no Quadro 3:

Quadro 3 - Exigências normativas quanto às características do solo.

Exigência normativa	%
Material que passa na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, de acordo com a ABNT NBR NM ISO 3310-1	100%
Material que passa na peneira com abertura de malha 75 µm, de acordo com a ABNT NBR ISO 3310-1	10% a 50%
Limite de liquidez	≤ 45%
Índice de plasticidade	≤ 18%

Fonte: O Autor, 2020.

Quanto à caracterização do solo, esta deverá obedecer aos princípios normativos dispostos em:

- ABNT NBR 6457 – Preparação de Amostra de Solo para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização;
- ABNT NBR 6459 – Solo – Determinação de Limite de Liquidez;
- ABNT NBR 7180 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade;

- ABNT NBR 7181 – Análise Granulométrica.

Segundo a ABNT NBR 10833 (2012) poderá ser utilizado o cimento que atenda a uma das seguintes normatizações:

- ABNT NBR 11578 – Cimento Portland Composto;
- ABNT NBR 16697 – Cimento Portland - Requisitos;
- ABNT NBR 5736 – Cimento Portland Pozolânico;

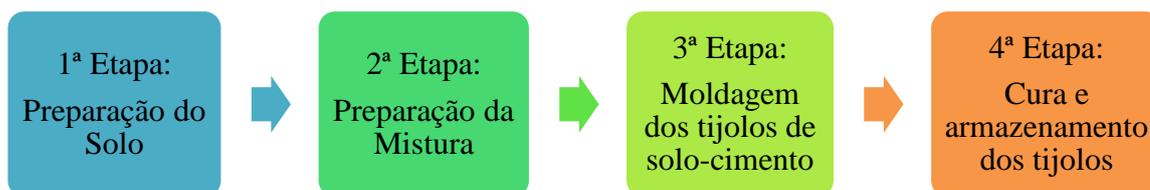
Na maioria das indústrias de fabricação de tijolo solo-cimento, utiliza-se o cimento CPV-ARI, pelo fato deste tipo de cimento apresentar uma cura mais rápida, possibilitando a comercialização do material em um tempo menor após a fabricação, aumentando a produtividade da empresa.

Em relação à água, esta não deve possuir impurezas que de alguma forma, seja danosa à hidratação do cimento, conforme orientações da ABNT NBR 15900-1 – Água para amassamento do concreto.

Com isso dar-se-á início à fabricação do tijolo solo-cimento de fato (Figura 10), a qual corresponde as etapas:

- Preparação do Solo: Constitui-se da extração do solo e da preparação deste por meio do processo de peneiramento do solo seco e outros ensaios de verificação quanto à usabilidade de tal amostra;
- Preparação da Mistura: Com o solo devidamente pronto, adiciona-se a este o cimento e com isso realiza-se um processo de homogeneização dos dois materiais até que se obtenha uma mistura de coloração uniforme, feito isso, acrescenta-se a água de forma gradativa, fazendo a junção de todos os materiais até se alcançar a umidade ideal;
- Moldagem dos tijolos de solo-cimento: Conseguindo a mistura, esta é colocada em um molde onde acontecerá a prensagem, que poderá ser realizada em prensas manuais ou hidráulicas. Uma vez prensado os tijolos são retirados das formas e empilhados sobre uma superfície lisa e plana na sombra;
- Cura e armazenamento dos tijolos: Realizado o processo de moldagem, os tijolos deverão ser mantidos úmidos durante os sete primeiros dias, de modo que se certifique a cura necessária.

Figura 10 - Fluxograma do processo de fabricação do tijolo de solo-cimento.



Fonte: (Reis, 2019), Modificado pelo autor.

### 2.2.2 Utilização de rejeitos para fabricação de blocos e tijolos para alvenaria.

De acordo com Carneiro et al. (2001) outros materiais além do cimento (utilizado como aglomerante), solo e água podem ser associados na produção do tijolo solo-cimento, tais como resíduos de construção civil, entulhos e rejeitos industriais (escórias de alto forno, sílica ativa, finos de serrarias, dentre outros). Além disso, segundo Leonel et al. (2017) a utilização de elementos residuais tem como propósito a diminuição gastos, sendo que os rejeitos são utilizados na função de substituição parcial ou total do cimento ou solo.

Vários foram os estudos realizados no tocante a utilização de rejeitos com o potencial de adição à mistura solo-cimento para a obtenção de tijolos, como por exemplo, resíduos de concreto (Souza et al., 2008), resíduos de minerações (Betsuyaku et al., 2017; Vieira et al. 2007; Lima, 2010 e Nascimento, 2015) e materiais como lodo de ETA (Rodrigues et al., 2013) e casca de arroz e de braquiária (Ferreira et al., 2008). Em suma tais adições são de princípios ecológicos e de sustentabilidade.

Rodrigues et al. (2013) sugeriram em seus estudos a adição de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) como substituição parcial do material solo, embora o lodo e o solo empregado na constituição do tijolo apresentam características física, química e mineralógica diferentes. O fato da incorporação do lodo de ETA aumentou significativamente o teor de partículas finas (sobretudo a caulinita), matéria orgânica e a plasticidade da mistura o que afeta diretamente a hidratação do concreto (ABNT NBR 10833, 2012), tornando o uso do lodo de ETA muito restrito quanto matéria prima para o tijolo solo-cimento, sendo a fração ideal de uso como substituto parcial do solo é de 1,25% do peso de solo.

Com a premissa de avaliar o uso de resíduos de concreto na fabricação do tijolo solo-cimento, Souza et al. (2008), averiguou que é possível a adição de 60% de resíduos de concreto em relação à massa de solo, o que reduziu consideravelmente a retração do bloco

durante a secagem, outro fator também observado, foi a viabilidade de se utilizar dosagens inferiores a 6% da massa de cimento.

Por outro lado Ferreira et al. (2008) avaliou os efeitos da adição de casca de arroz e de braquiária nas características físicas e mecânicas de tijolos solo-cimento, onde considerando 1,5 MPa como valor mínimo de resistência à compressão simples aos 7 dias, a substituição parcial do teor de cimento chegou a 10% tanto em casca de arroz quanto braquiária.

De outra forma, Betsuyaku et al. (2017) analisaram a utilização do resíduo de areia diatomácea gerado no processo de filtração da cerveja na confecção de tijolos solo-cimento. Com base em ensaios de compressão, obtiveram resultados com resistência acima de 1,7 MPa após 28 dias de cura, conforme recomendado pela ABNT NBR 8491 (2012).

Vieira et al. (2007) estudaram o emprego de rejeitos de bauxita extraída em Minas Gerais, juntamente com areia de construção, água e cimento na composição de um tijolo modular. Após a realização de ensaios constatou-se que o emprego de tal rejeito proporciona melhorias significativas nas propriedades de resistência mecânica à compressão e absorção de água, alcançando resistências de até 2,75 MPa.

Semelhante a incorporação de resíduos de bauxita, Nascimento (2015) avaliou a adição de rejeito de manganês do sudeste do estado do Pará como aditivo na composição do solo-cimento para o tijolo. De acordo com os ensaios realizados, foi constatado que para todos os traços definidos os parâmetros de resistência a compressão e absorção de água foram atendidos conforme a ABNT NBR 8491 (2012).

Outro rejeito de mineração foi estudado por Lima (2010), onde foi analisada a durabilidade de tijolos de solo-cimento com a incorporação de resíduo de granito. Dentre as vantagens diagnosticadas por Lima (2010) quanto ao uso deste material alternativo destacam-se a diminuição da deposição de rejeitos em bota-foras, redução de gastos de produção e preservação do meio ambiente. Em relação aos resultados, foi verificada uma melhora quanto às propriedades de resistência, absorção e durabilidade do solo-cimento, principalmente em traços com concentrações moderadas de granito.

### 2.2.3 Utilização de rejeitos de quartzitos para produção de blocos e tijolos para alvenaria.

Tendo em vista a incorporação dos diversos tipos de materiais alternativos para fabricação do tijolo solo-cimento, e o exposto por Carneiro et al. (2001), o emprego do quartzito se torna um princípio viável visto suas propriedades mecânicas e a alta taxa de

geração de resíduos. Uma das formas de utilização se dá por meio do uso do rejeito na função de agregado, sendo que este pode ser substituído ou adicionado.

Partindo deste princípio, Reis (2019) analisou a utilização do rejeito de quartzito adicionado ao solo-cimento, sendo que para a produção do tijolo analisado, foram elaborados três traços distintos, sendo 1:10, 1:8 e 1:6. O traço 1:10 foi determinado em função do boletim técnico BT-111 (ABCP, 2000) e os demais foram adotados pelo fato de serem os mais utilizados pelos fabricantes na região estudada, o Sudoeste de Minas Gerais. Além disso, Reis (2019) definiu também três adições diferentes em relação ao percentual de quartzito na mistura do solo-cimento, havendo-se assim percentuais de 0%, 15% e 30%, a fim de se verificar a influência do quartzito nas propriedades mecânicas do tijolo.

Sendo assim para cada traço produzido por Reis (2019) foi adicionado um teor de quartzito diferente, sendo que foram utilizados três tipos de quartzitos conforme o local de extração na lavra (quartzito friável/muito alterado, quartzito duro e quartzito muito duro). Conseqüentemente à dosagem, foi realizada a prensagem do material através de uma prensa hidráulica, onde o material obteve a forma do tijolo propriamente dito.

Por fim os tijolos foram retirados da prensa e permaneceram por 7 dias em cura úmida, conforme recomendação da ABNT NBR 10833 (2012). Cumprido o período de cura, os artefatos ficaram mais 7 dias armazenados em local protegido da insolação direta e da ação do vento, para que finalmente estivessem prontos para a utilização.

Quanto aos ensaios, Reis (2019) submeteu os tijolos a ensaios de compressão simples e de absorção aos 7 dias e aos 28 dias, utilizando 7 exemplares para o ensaio de compressão e 3 exemplares para absorção de água.

Em relação aos resultados não foi constatada uma melhoria significativa das propriedades mecânicas dos tijolos que tiveram o incremento de quartzito comparado aos tijolos com 0% de adição, entretanto os tijolos atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos por norma. Outro fator observado foi que não houve discrepância significativa entre as amostras, possibilitando a utilização de qualquer tipo de quartzito extraído na lavra.

Reis (2019) também verificou um aumento médio de 4% a 7% da resistência à compressão simples das amostras dos 7 dias para os 28 dias.

Visto o cumprimento das exigências normativas e os resultados obtidos em ensaios, bem como a economia de energia aliados a possibilidade de redução de resíduos, Reis (2019) concluiu que a fabricação de tijolos solo-cimento (Figura 11) com a adição de rejeitos de quartzito é uma prática ecologicamente correta e economicamente saudável, proporcionando economia no processo de fabricação e diminuindo o dispêndio de rejeitos nas minerações.

Figura 11 - Tijolos solo-cimento confeccionados por Reis (2019).



Fonte: (Reis, 2019), Modificado pelo autor.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo contempla um estudo detalhado dos materiais utilizados nesta pesquisa bem como suas respectivas caracterizações tecnológicas, além de apresentar a metodologia dos ensaios de aceitação dos tijolos, considerando os princípios normativos necessários para sua utilização. Além disso, este capítulo expõe os meios empregados para a determinação dos traços e dosagens bem como o processo de fabricação dos tijolos produzidos.

Tais procedimentos de pesquisa, bem como os métodos e materiais utilizados, estão descritos nas seções a seguir:

#### 3.1 Materiais

Para a produção dos tijolos de solo-cimento foram empregados os seguintes materiais:

- Rejeito de Quartzito – fração fina obtida na etapa de beneficiamento;
- Solo;
- Cimento Portland;
- Água

##### 3.1.1 Quartzito

Esta seção contempla uma análise detalhada da extração de quartzitos e a consequente geração de rejeitos no município de Guapé-MG, bem como um estudo aprofundado da região de pesquisa.

Inicialmente por meio de um levantamento com profissionais do ramo foi possível identificar as empresas de extração e beneficiamento de quartzito no município, com isso foram realizadas entrevistas e visitas nas empresas, com o objetivo de se conhecer a rotina industrial quanto o funcionamento destes setores, assim como o panorama quanto o gerenciamento e a geração de rejeitos.

Assim sendo fora realizado uma amostragem de um dos tipos de rejeitos a fim de caracterizá-la através de ensaios em laboratório e posteriormente empregar este mesmo material na produção dos tijolos.

### 3.1.1.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo está localizada na região Sudeste do Brasil, no estado de Minas Gerais, o qual é subdividido em doze mesorregiões, dentre estas, encontra-se a mesorregião do Sul e Sudoeste de Minas, que de acordo com o IBGE, possui dez microrregiões, sendo elas: Alfenas, Andrelândia, Itajubá, Passos, Poços de Caldas, Pouso Alegre, Santa Rita do Sapucaí, São Lourenço, São Sebastião do Paraíso e Varginha.

A cidade de Guapé, localizada a 296 km de Belo Horizonte, juntamente com as cidades de Boa Esperança, Campanha, Campo do Meio, Campos Gerais, Carmo da Cachoeira, Coqueiral, Elói Mendes, Ilícinea, Monsenhor Paulo, Santana da Vargem, São Bento Abade, São Tomé das Letras, Três Corações, Três Pontas e Varginha, compõe a microrregião de Varginha (Figura 12).

Figura 12 - Microrregião de Varginha no Estado de Minas Gerais



Fonte: (IBGE, 2020).

De acordo com Maia (1933), o arraial de São Francisco de Aguapé como era chamado na época, surgiu conforme cumprimento de uma promessa a São Francisco de Assis, feita por Esméria Angélica da Pureza no ano de 1832, onde a devota rogava ao Santo que cessasse um terremoto o qual acometia a sede de sua fazenda. Com a promessa cumprida, Esméria erigiu uma capela no ano de 1838 em louvor a São Francisco de Assis. Com isso muitas pessoas construíram casas ao redor desta capela dando origem ao que veio se tornar a cidade de Guapé.

No entanto em 1963, por ocasião da construção da Usina Hidrelétrica de Furnas, o município teve cerca de 210 km<sup>2</sup> inundados, o equivalente a um terço de sua área na época. Dentre as áreas alagadas estavam o centro histórico da cidade e terras férteis nas margens do Rio Grande e do Rio Sapucaí. Tal fato proporcionou uma migração por parte dos munícipes

para outras cidades, como Passos, Itaú de Minas, Pratápolis e Belo Horizonte; e uma drástica alteração na paisagem (Tibúrcio, 2013).

Segundo uma estimativa do IBGE, a cidade de Guapé (Figura 13) possuía em 2019 uma população de aproximadamente 14.245 habitantes. Com 934,345 km<sup>2</sup> o município ocupa a posição de 171º lugar quanto aos maiores municípios do Estado, e em relação à microrregião, é o primeiro colocado.

Conforme Barbosa (2015), o relevo dominante no município é o ondulado, com a presença de serras e montanhas. Em relação à altitude, esta varia de 768 metros a 838 metros na área urbana; considerando-se os limites do município a altitude máxima chega aos 1332 metros de altitude. Relativo à vegetação, o bioma predominante é o cerrado (IBGE, 2020).

De acordo com a CPRM (2007), a atividade econômica predominante do município é a produção agropecuária, com ênfase para a produção de leite e o cultivo e beneficiamento de café. Em segundo plano encontram-se atividades provenientes da extração e beneficiamento de quartzitos, os quais são encontrados com predominância na Serra dos Macacos e na Serra da Rapadura, ambas localizadas nos arredores da cidade. Outra atividade crescente é o turismo ecológico, ascendido principalmente pelas atividades náuticas provenientes do Lago de Furnas.

Figura 13 - Imagem aérea de Guapé.



Fonte: (ALAGO, 2020).

Em Guapé a extração de quartzitos se dá apenas por uma empresa, a Mineração Guapedras LTDA (Figura 14), a qual dispõe de uma jazida com 1000 hectares de reservas de quartzitos.

De acordo com o relatório anual de lavra de 2019, a empresa extraiu 950,41 m<sup>3</sup> de quartzitos, sendo que deste total, 47,52 m<sup>3</sup> foram destinados à exportação. Quanto ao

beneficiamento, este é realizado por oito empresas que trabalham com os produtos extraídos pela Mineração Guapedras LTDA.

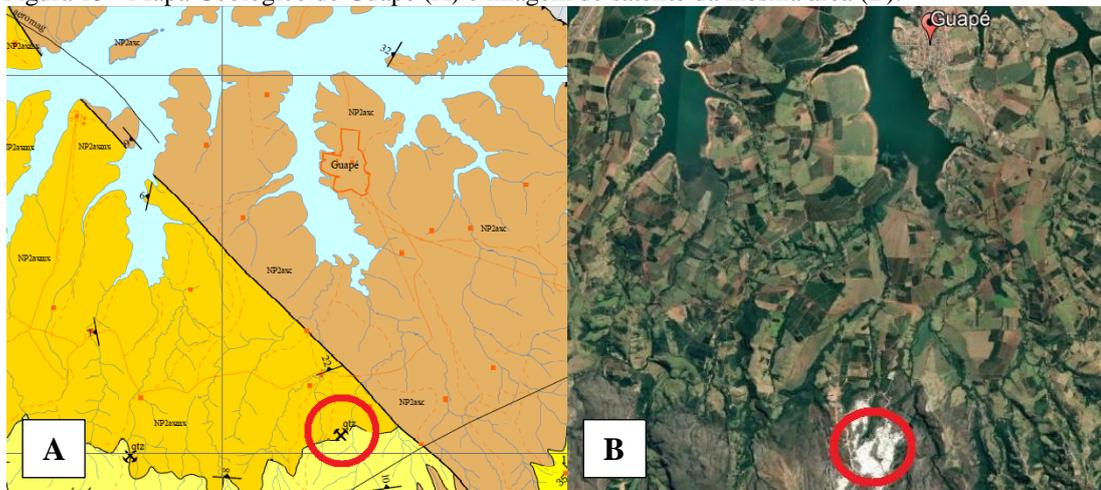
Figura 14 - Imagem aérea da Mineração Guapedras LTDA.



Fonte: (Mineração Brasil Stones, 2020).

A Figura 15 representa um comparativo entre um fragmento do Mapa Geológico de Guapé (A) e uma imagem de satélite (B), com destaque em vermelho para a Mineração Guapedras LTDA e a proximidade com a cidade de Guapé (cerca de 10 km). Quanto ao mapa geológico, a área em amarelo claro, onde está inserida a Mineração Guapedras LTDA, representa a ocorrência de quartzitos do Grupo Araxá, onde também há intercalações de muscovita-xisto.

Figura 15 - Mapa Geológico de Guapé (A) e imagem de satélite da mesma área (B).



Fonte: (CPRM, 2007), Modificado pelo autor.

Fonte: (Google Earth, 2020), Modificado pelo autor.

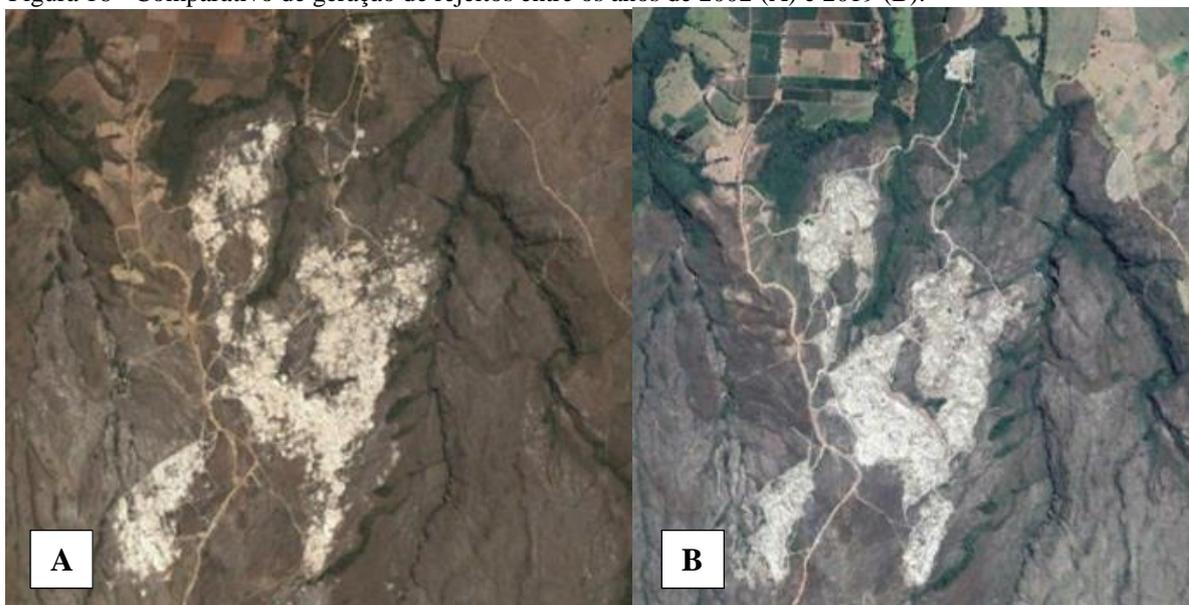
Quanto à coloração do quartzito de Guapé, esta é bem variada, com peças no tom de cinza, branco e rosa. O que de certa forma gera uma inconstância nos produtos comercializados, ocasionando certa dificuldade para os comerciantes em atender aos anseios dos clientes por peças em tons uniformes.

### 3.1.1.2 Geração de rejeitos de quartzitos em Guapé – MG

A geração de rejeitos de quartzitos em Guapé é tamanha que contabilizá-la se tornou imensurável. As empresas atuantes na região não possuem mecanismos de controle quanto à produção destes resíduos, os quais são depositados na própria lavra, muitas das vezes impossibilitando a extração de quartzito nestes locais.

A título de ilustração, a Figura 16, representa com uma imagem de satélite, o aumento da quantidade de rejeitos na lavra localizada na Serra da Rapadura, sendo a imagem A capturada no ano de 2002 e a imagem B registrada em 2019.

Figura 16 - Comparativo de geração de rejeitos entre os anos de 2002 (A) e 2019 (B).



Fonte: (Google Earth, 2020).

Fonte: (Google Earth, 2020).

De acordo com estimativa do Sr. Rodrigo Sebastião de Aguiar, proprietário da empresa de beneficiamento de quartzitos Mineração Ropedras, de cada 112 m<sup>3</sup> de placas que são submetidas ao beneficiamento, 80 m<sup>3</sup> se tornam úteis para comercialização, ao passo que no processo de extração, os rejeitos gerados correspondem à ordem de 8 a 9 volumes, considerando-se um total de 10 volumes extraídos. Confirmando-se assim os estudos

desenvolvidos por Alecrim (2009) e Paraguassú et al. (2014), nos quais apontam num contexto nacional, um montante de rejeitos de cerca de 90% (Figura 17).

Figura 17 - Pilha de rejeitos gerados no beneficiamento.



Fonte: O Autor, 2020.

Entretanto parte da demanda de rejeitos gerados no beneficiamento é reutilizada em base e sub-base de estradas e principalmente na recuperação de estradas rurais no próprio município, pelo fato de proporcionar uma maior aderência dos veículos em terrenos escorregadios em épocas de chuva, a mesma premissa é utilizada em portos e píeres do Lago de Furnas.

### 3.1.1.3 Amostragem dos rejeitos de quartzitos de Guapé – MG

A geração de rejeitos de quartzitos ocorre em todas as etapas de seu processo comercial, iniciando-se pelo procedimento de extração na lavra (por meio dos desmontes e explosões), continuado pela etapa de beneficiamento (por meio de aparas e polimento) e finalizado por atritos durante o transporte e mais uma vez possíveis aparas e cortes sujeitos a necessidade de utilização do consumidor final.

Com base nas diversas configurações de rejeitos produzidos na cadeia comercial do quartzito, optou-se por questões de logística e de viabilidade a utilização de rejeitos obtidos no processo de beneficiamento. Nesta etapa os rejeitos se dão em basicamente dois formatos diferentes, sendo um obtido de aparas de rebarbas e outro no procedimento de serragem.

- Rebarbas: Também denominado como “cavacos” pelos beneficiadores, constituem-se de aparas de saliências, obtidas por meio da serragem (Figura 18) para se alcançar peças em formatos comerciais adequados. Dão-se no formato de filetes de tamanhos variados e larguras e espessuras bem definidas. No caso do município de Guapé – MG, este tipo de rejeito é amplamente utilizado na função de reparo para estradas de

terra, todavia são aproveitados da forma primária da qual são obtidos, sem nenhum tratamento adequado para seu fim (como a britagem, por exemplo), ocasionando alguns problemas aos condutores, como perfurações de pneus.

Figura 18 - Amostra de rejeitos de quartzito no formato de aparas.



Fonte: O Autor, 2020.

- **Pó de serragem:** Ocasionado pela serragem das placas de quartzito realizada por meio de serras com dentes em material diamantado com a combinação de água corrente, de maneira que o pó não se espalhe pelo ar, fazendo com que os operários que trabalham nesta atividade não o inspirem, o que se ocorrer com frequência, pode acarretar em danos ao sistema respiratório e aos pulmões. O rejeito (Figura 19) se mistura à água e escoo através de uma tubulação para um tanque de decantação, de onde posteriormente é retirado, e quando seco ao sol, se transforma em um pó muito fino. Na lavra também é encontrado um rejeito similar a este, entretanto o processo de serragem não envolve água.

Figura 19 - Amostra do rejeito de quartzito no formato de pó.



Fonte: O Autor, 2020.

As amostras de ambos os rejeitos foram cedidas pela empresa de beneficiamento Mineração Ropedras, que por sua vez são derivadas da empresa de extração Mineração Guapedras, a qual a lavra se localiza na latitude 20°50'33,7"S e longitude 45°55'28,5"W a aproximadamente 1.030 metros de altitude.

Tanto para a caracterização tecnológica do material quanto para a produção do tijolo de fato, optou-se pela utilização da fração fina do rejeito, advinda da serragem no processo de beneficiamento do quartzito. Tal escolha foi baseada em função do baixo reaproveitamento deste resíduo e da facilidade de disponibilização deste rejeito, uma vez que seu emprego no tijolo de solo-cimento pode ser realizado de forma direta, sem a necessidade de submeter o rejeito a um processo de adequação, como seria o caso do rejeito na forma de rebarbas, onde o qual teria de ser conformado através de um britador para que seu emprego na produção dos tijolos seja válido.

### 3.1.2 Solo

O solo utilizado na composição dos tijolos solo-cimento (Figura 20) foi coletado em um terreno localizado nos arredores da cidade de Piumhi, na região centro oeste de Minas Gerais. A utilização do solo de Piumhi, se deu por questões de facilidade de disponibilização, uma vez que a fábrica de tijolos solo-cimento na qual os tijolos foram moldados, localiza-se nesta cidade.

De uma forma geral, os solos da região de Piumhi-MG, configuram-se como solos siltosos derivados de meta-siltitos, ou siltos argilosos de rochas, sendo ambos do Grupo Bambuí (Collares, 2020).

Figura 20 – Solo utilizado para moldagem dos tijolos.



Fonte: O Autor, 2020.

### 3.1.3 Cimento

Para este trabalho optou-se pela utilização do cimento Portland de Alta Resistência Inicial, o CPV-ARI, visto sua capacidade de atingir altas resistências em baixas idades além de apresentar secagem ultrarrápida, proporcionando um desempenho produtivo ainda maior.

Outro fator preponderante para a escolha deste cimento, foi a observação de projetos similares nos quais ocorreram o emprego deste material e obtiveram resultados satisfatórios.

A utilização do CPV-ARI está prevista na ABNT NBR 10833 (2012), a qual discrimina uma gama de cimentos que podem ser utilizados na produção de tijolos solo-cimento, sendo a ABNT NBR 16697 (2018) a normatização que define as especificações para o cimento utilizado nesta pesquisa.

## 3.2 Metodologia

Esta seção descreve os métodos empregados para a realização dos ensaios de caracterização tecnológica dos materiais bem como todo o processo de fabricação dos tijolos solo-cimento, e os procedimentos de ensaio executados nos corpos de prova com a finalidade de avaliação das características mecânicas e físicas relacionadas a aceitação do tijolo. Tais procedimentos de avaliação tecnológica foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário do Sul de Minas, localizado na cidade de Varginha-MG, observando-se as normas brasileiras vigentes.

### 3.2.1 Caracterização tecnológica do rejeito de quartzito

O rejeito de quartzito foi submetido somente ao ensaio de massa específica. O ensaio de granulometria conjunta do rejeito de quartzito não foi realizado em função da indisponibilidade de um densímetro adequado ao procedimento disposto pela ABNT NBR 7181 (2016).

#### 3.2.1.1 Massa específica

Por ser um material na forma de pó, o ensaio de massa específica do rejeito de quartzito foi realizado conforme roteiro de ensaio estabelecido pela ABNT NBR NM 23 (2000) Cimento portland e outros materiais em pó – Determinação da Massa Específica.

Para a realização deste ensaio foi utilizado o frasco de Le Chatelier, um funil e água destilada.

Inicialmente com o auxílio de um funil, o frasco de Le Chatelier foi preenchido com água destilada até a marca de 0,5, denominada como V1. Por conseguinte, foi adicionada à água uma amostra de 60 g do rejeito de quartzito.

Após a mistura foi realizado movimentos circulares leves com o frasco, a fim de propiciar a mistura dos materiais. Finalizado esse procedimento, o frasco foi deixado em repouso pelo tempo de aproximadamente 30 minutos e finalmente foi verificada marca V2, que corresponde ao volume que o conjunto atingiu após a adição do rejeito de quartzito.

Com a leitura das duas marcas aferidas no frasco, a massa específica foi calculada conforme a Equação 1.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Onde:

- $\rho$ : massa específica do material ensaiado ( $\text{g/cm}^3$ );
- $m$ : massa do material ensaiado (g);
- $V$ : volume deslocado pelo material (é a diferença entre V1 e V2).

### 3.2.2 Caracterização tecnológica dos solos

Devido a importância do material solo na composição do tijolo solo-cimento, foi realizado a caracterização tecnológica deste material com a finalidade de avaliar se suas propriedades são adequadas para utilizá-lo como matéria prima nos tijolos, bem como enriquecer o estudo de dosagem das misturas.

Para isso foram realizados ensaios de Massa Específica, Análise Granulométrica e Limites de Consistência (Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade) no solo natural; e o ensaio de Análise Granulométrica no solo homogeneizado ao rejeito de quartzito.

Os ensaios realizados (Quadro 4) tiveram suas amostras preparadas de acordo com as prescrições da ABNT NBR 6457 (2016).

Quadro 4 – Ensaio realizados no material solo.

Ensaio	Norma Correspondente
Massa específica	ABNT NBR 6458 (2017)
Análise Granulométrica	ABNT NBR 7181 (2016)
Limite de Liquidez	ABNT NBR 6459 (2016)
Limite de Plasticidade	ABNT NBR 7180 (2016)

Fonte: O Autor, 2020.

### 3.2.2.1 Massa Específica

De acordo com Reis (2019), a massa específica é a razão da massa dos grãos de um solo e o seu volume real. A importância da realização do ensaio se justifica pelo fato de se obter parâmetros necessários para o cálculo de ensaios de sedimentação e diversos índices físicos do solo.

A massa específica dos sólidos do solo é realizada conforme procedimento de ensaio descrito pela ABNT NBR 6458 (2016), entretanto por questões de limitações do Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário do Sul de Minas, não foi possível realizar este ensaio, visto a indisponibilidade de equipamentos (como a bomba de vácuo, por exemplo).

Observando-se tais limitações, ponderou-se por realizar o ensaio de massa específica dos solos de acordo com as orientações da ABNT NBR NM 23 (2000), com a finalidade de se obter um parâmetro aproximado ao que seria encontrado caso a execução do ensaio conforme a ABNT NBR 6458 (2016) fosse possível.

As técnicas utilizadas neste ensaio foram semelhantes às descritas no item 3.2.1.2.

### 3.2.2.2 Análise Granulométrica

O ensaio de análise granulométrica do rejeito de quartzito foi realizado seguindo as prescrições da ABNT NBR 7181 (2016).

De acordo com Nogueira (1995), o ensaio de análise granulométrica do solo tem a função de separar por pares de valores, diâmetro das partículas e a porcentagem de ocorrência para um determinado solo, para se traçar uma curva de distribuição granulométrica para a amostra estudada. A forma de obtenção da curva granulométrica consiste em calcular a massa de material retido em peneiras padronizadas pela ABNT NBR 3310-1 (2010) (Figura 21).

Ou seja, o peneiramento consiste no procedimento de classificação das partículas de acordo com seus respectivos tamanhos (Sampaio et al., 2007).

Figura 21 – Peneiras para ensaio.



Fonte: O Autor, 2020.

### 3.2.2.3 Limites de Consistência

Os Limites de Consistência correspondem a separação dos estados de consistência da parte fina de um solo grosso ou o de um solo fino por meio de um limite do teor de umidade entre dois estados diferentes. Existem três limites de consistência: o Limite de Liquidez – LL (teor de umidade limite separatório entre o estado de liquidez e o estado de plasticidade); o Limite de Plasticidade – LP (limite entre o estado plástico e o semi-sólido) e o Limite de Contração – LC (separação do estado semi-sólido do sólido). Estes limites também são conhecidos como Limites de Atterberg, em referência ao engenheiro sueco que sugeriu a utilização destes indicadores na cerâmica (Nogueira, 1995).

Os Limites de Consistência são obtidos por meio de procedimentos laboratoriais, sendo as metodologias de ensaio para a obtenção de cada limite discriminadas nas seguintes normatizações:

- ABNT NBR 6459 (2016) – Solo: Determinação do Limite de Liquidez;
- ABNT NBR 7180 (2016) – Solo: Determinação do Limite de Plasticidade;

Para este trabalho foram ensaiados o solo puro e o solo homogeneizado ao rejeito de quartzito, com a finalidade de se obter o Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade, de

forma a se verificar se o mesmo alcançaria os parâmetros necessários estipulados por norma para a fabricação dos tijolos.

#### 3.2.2.3.1 Limite de Liquidez

O ensaio para a obtenção do Limite de Liquidez foi realizado conforme instrução normativa da ABNT NBR 6459 (2016).

Para a realização deste ensaio foi utilizado o Equipamento de Casagrande conforme a normatização referente. Tal equipamento consiste em uma concha metálica que é fixa por encaixe em uma das extremidades do equipamento. Esta concha é golpeada a velocidade de 2 rotações por segundo por meio de um dispositivo acionado por uma manivela de moção manual.

Inicialmente o solo foi preparado de acordo com as prescrições da ABNT NBR 6457 (2016). Com isso fora selecionada metade da amostra preparada e assim colocada em um almofariz de porcelana. Por conseguinte, foi adicionado pequenos incrementos de água destilada com o auxílio de uma pisseta, ao passo que a amostra era homogeneizada constantemente com uma espátula flexível. Tal procedimento foi executado em um prazo de aproximadamente 20 minutos.

Com isso foi adicionado uma porção da pasta homogeneizada na concha do aparelho, de forma que a mesma apresentou altura de 1 cm na região central da concha, esta altura foi verificada com o auxílio de um cinzel conforme regulamentação da norma.

Após a alocação da amostra na concha, utilizou-se novamente o cinzel para abrir uma ranhura exatamente no centro da amostra, dividindo-se assim a amostra em duas partes razoavelmente iguais (Figura 22).

Figura 22 – Aparelho de Casagrande com a amostra ensaiada.



Fonte: O Autor, 2020.

Com isso é acionada a manivela à velocidade de 2 rotações por segundo provocando golpes na concha até o fechamento imediato das ranhuras. Sendo assim coleta-se uma amostra da região próxima ao fechamento da ranhura para a execução do ensaio de umidade do solo.

O restante da amostra que sobrou na concha é junto novamente a amostra inicial, na qual se adicionou mais água e homogeneizou-se novamente pelo tempo de 3 minutos, feito isso é realizado um segundo ensaio no Equipamento de Casagrande (devidamente limpo do ensaio anterior). Tal procedimento é realizado cinco vezes, obtendo-se assim cinco amostras diferentes.

Após a realização dos ensaios de umidade do solo é verificado os parâmetros teor de umidade (em porcentagem) e seus respectivos números de golpes para se traçar um gráfico no qual a abcissa corresponde ao número de golpes e a ordenada ao teor de umidade. Assim foi traçada uma reta entre os valores correspondentes e foi verificado qual o teor de umidade de acordo com esta reta para o número de golpes igual a 25, número este que corresponde ao limite de liquidez do solo estipulado pela ABNT NBR 6459 (2016), obtendo-se assim o Limite de Liquidez do solo.

#### 3.2.2.3.2 Limite de Plasticidade

O ensaio para a obtenção do Limite de Plasticidade seguiu as orientações da ABNT NBR 7180 (2016).

A amostra de solo ensaiada foi preparada seguindo os princípios normativos estabelecidos pela ABNT NBR 6457 (2016), da qual utilizou-se apenas 50% da massa da amostra preparada.

A amostra é amalgamada lentamente junto à água destilada com o auxílio de uma espátula flexível de forma a se alcançar uma pasta homogênea pelo tempo de aproximadamente 20 minutos. Por conseguinte, toma-se cerca de 10 g da pasta preparada e molda-se uma pequena bola com as mãos, a qual deverá ser rolada com a pressão da palma da mão em uma superfície lisa esmerilada até que a pasta obtenha a forma de um cilindro com aproximadamente 3 mm de espessura e um comprimento na ordem de 100 mm. Quando isso ocorrer é necessário verificar se a amostra apresenta tendência a fragmentação com esse formato, em caso afirmativo o cilindro deverá ser dividido em três partes de comprimentos iguais para a realização do ensaios de umidade do solo. Quando a amostra não se fragmentar com 3 mm de diâmetro e comprimento de 100 mm, a mesma deverá receber o incremento de água e ser homogeneizada até atingir o ponto de fragmentação necessário (Figura 23).

Figura 23 – Ensaio do Limite de Plasticidade do Solo.



Fonte: O Autor, 2020.

Após a realização do ensaio de umidade, é calculado o Limite de Plasticidade, que consiste na média aritmética das umidades obtidas.

Com a obtenção do Limite de Plasticidade e do Limite de Liquidez, calcula-se o Índice de Plasticidade, obtido pela Equação 2.

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

### 3.3 Dosagem das misturas.

A diligência da dosagem das misturas foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica, normas e recomendações, as quais autores e instituições obtiveram resultados satisfatórios em seus trabalhos.

Para a dosagem das misturas é indicado a utilização do traço em massa devido a sua precisão, entretanto, neste trabalho foi utilizado o traço volumétrico. A utilização do traço volumétrico tem se mostrado adequada em estudos científicos envolvendo tijolos solo-cimento, como os desenvolvidos Presa (2011) e Reis (2019), e é recomendada pela Associação Brasileira do Cimento Portland no boletim técnico BT-111 (ABCP, 2002).

Na moldagem dos tijolos, foram utilizados os traços 1:10 e 1:6, sendo o primeiro baseado no traço volumétrico básico do boletim técnico BT-111 (ABCP, 2002) e o segundo por ser o traço mais utilizado pelas fábricas de tijolos de solo-cimento na região do Centro Oeste de Minas Gerais, onde o tijolo foi desenvolvido.

Quanto ao rejeito de quartzito, este foi utilizado na função de solo em substituição parcial do solo nas proporções de 0%, 15% e 30%, tais proporções foram baseadas de acordo com bibliografia desenvolvida por Reis (2019) a qual utilizou rejeito de quartzito similar ao empregado neste trabalho.

As diferenciações nos traços e dosagens de rejeitos de quartzito deste estudo foram definidas de forma a se verificar discrepâncias entre um lote e outro de cada tipo de tijolo e realizar ponderações quanto as principais variações de acordo com cada intervalo.

O Quadro 5 expõe as dosagens e os traços utilizados na fabricação dos tijolos solo-cimento.

Quadro 5 – Traços e dosagens desenvolvidos.

Traço	1:6			1:10		
Dosagem	0%	15%	30%	0%	15%	30%

Fonte: O Autor, 2020.

### 3.4 Fabricação dos Tijolos Solo-cimento

A produção dos tijolos de solo-cimento foi realizada nas instalações da empresa Criar Projetos e Tijolos Ecológicos, localizada na cidade de Piumhi – MG, por meio de uma prensa hidráulica modelo Eco Premium 2600 da marca Eco Máquinas.

Os tijolos foram moldados com as dimensões de 12,5 cm x 25 cm x 6,3 cm (largura x comprimento x espessura). Tais dimensões foram definidas pelo fator de serem as mais usuais na região de Piumhi – MG.

Os tijolos solo-cimento foram produzidos seguindo as instruções da ABNT NBR 10833 (2012), a qual estabelece os métodos para a fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com prensa manual ou hidráulica.

Após a triagem e caracterização; o solo e o rejeito de quartzito foram secos de forma a se expulsar a massa de água presente em cada uma das amostras. Com isso ambos os materiais foram destorroados, para isto, foi utilizado um triturador elétrico de solo. Por conseguinte, estes materiais foram peneirados em uma peneira vibratória (Figura 24) de malha de 4,75 mm.

Figura 24 – Solo sendo peneirado.



Fonte: O Autor, 2020.

Com isso foi realizada a mistura manual dos materiais. Para os traços que foram empregados rejeitos de quartzito; a mistura se iniciou pela adição respectiva do solo e do rejeito de quartzito, nas proporções adequadas para cada traço, sendo assim estes dois materiais foram misturados até se obter uma combinação razoavelmente homogênea. Desta forma foi acrescentado cimento à esta mistura, a qual foi mais uma vez homogeneizada, feito isso fora realizada a adição gradativa de água ao conjunto a medida que o mesmo era submetido ao amassamento.

O processo de adição de água à mistura tem de ser realizado de forma cuidadosa, uma vez que a quantidade inadequada de água pode ocasionar problemas qualitativos ao tijolo, além disso, a incorporação de água em volume inferior ao adequado, pode fazer com que o tijolo se quebre no momento em que é retirado da prensa. Com a finalidade de se evitar tais problemas, foi utilizada uma metodologia de verificação da umidade da mistura, a qual é estabelecida pelo Boletim Técnico 111 (2002) da ABCP, e se dá através das seguintes verificações da mistura úmida (Figura 25):

- Pega-se um bocado da mistura e pressionasse-a com os dedos contra a palma da mão, e, ao se abrir a mão, o bolo deverá apresentar a marca deixada pelos dedos;
- Deixa-se o punhado cair de uma altura de aproximadamente 1 metro sobre uma superfície dura. Se o bolo, ao se chocar com superfície se esfarelar significa que a umidade da mistura é a ideal para a moldagem. Caso isso não ocorra, a mistura possui muito água, e o traço precisa ser corrigido.

Figura 25 – Umidade ótima a ser utilizada na mistura.



Fonte: (ABCP, 2000), Modificado pelo autor.

O procedimento de mistura nos traços que não houveram adição de quartzito, foi similar aos demais traços, entretanto a homogeneização do solo com o cimento foi realizada de forma direta.

Realizada a mistura, o material é colocado na prensa onde os tijolos são de fato moldados. A máquina em questão, possui capacidade de prensar somente um tijolo por vez e leva o tempo de aproximadamente 8 segundos para realizar este feito. Quando o tijolo é retirado do compartimento de moldagem (Figura 26), o mesmo apresenta pequenos e isolados torrões que se formam no momento da compactação, o surgimento de tais fragmentos não atrapalha o desempenho qualitativo do tijolo, entretanto por questões de estética do material, utilizou-se um compressor de ar para se retirar essas frações indesejáveis.

Finalmente os tijolos solo-cimento foram levados até a área de cura, onde permaneceram por sete dias. O tipo de cura empregado foi a cura úmida, que consiste na aspersão de água nos tijolos, tal aspersão se deu por meio de um regador de jardim com o bico adaptado com um chuveiro, de forma que se reduziu a vazão por furos e se ampliou a área de irrigação.

Durante todo o período de cura, os tijolos ficaram em uma área descoberta e totalmente plana, onde não havia a incidência direta do solo, entretanto a pilha de tijolos foi coberta com uma lona, a qual era retirada somente nos momentos nos quais ocorreram a aspersão de água.

Finalizado o período de cura os tijolos podem ser utilizados em decorrência de 7 dias, ou seja, 14 dias após a moldagem.

Figura 26 – Tijolos após a moldagem.



Fonte: O Autor, 2020.

### 3.5 Ensaio realizados nos tijolos de solo-cimento

Os ensaios realizados nos tijolos de solo-cimento foram baseados nas instruções normativas da ABNT NBR 8491 (2012), a qual estipula uma amostra representativa de 10 tijolos por lote.

Para se avaliar a performance do tijolo, foram executados os ensaios de absorção de água e resistência à compressão simples. Entretanto, antes da execução destes ensaios foi necessário realizar também a análise dimensional dos tijolos. O Quadro 6 expõe o quantitativo de tijolos ensaiados por traço e por tipo de ensaio.

Além dos ensaios estipulados pela ABNT NBR 8491 (2012) foi realizado o ensaio de massa específica do tijolo para fins de comparação estatística entre os traços e outros parâmetros, como absorção de água e resistência à compressão simples.

Quadro 6 – Quantidade de tijolos ensaiados por ensaio e traço.

Traço	Percentual de Quartzito (%)	Resistência à Compressão Simples	Absorção de água	Massa Específica	Total
1:10	0	7	3	3	13
	15	7	3	3	13
	30	7	3	3	13
1:6	0	7	3	3	13
	15	7	3	3	13
	30	7	3	3	13

Fonte: O Autor, 2020.

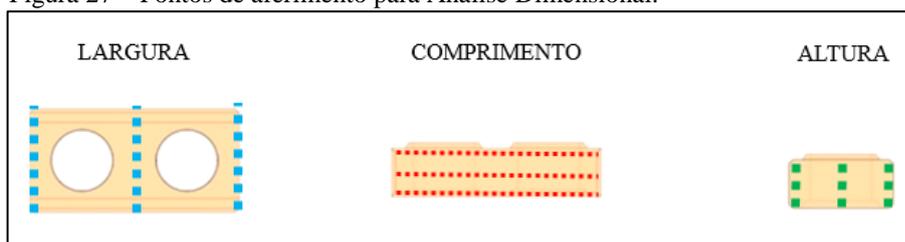
### 3.5.1 Análise Dimensional

A análise dimensional foi realizada conforme execução estabelecida pela ABNT NBR 8492 (2012). Para a realização deste ensaio foi utilizada a amostra representativa de 10 tijolos conforme estabelecida pela ABNT NBR 8491 (2012).

O ensaio da análise dimensional consiste em aferir as dimensões dos tijolos (altura, largura e comprimento) com um paquímetro com resolução de 0,50 mm. Essas dimensões são apuradas em três pontos distintos do tijolo, sendo duas nas extremidades e uma no centro, tais aferimentos se justificam para se observar possíveis discrepâncias dimensionais. A Figura 27 representa por meio de uma linha tracejada os pontos nos quais são realizadas as medidas das dimensões dos tijolos.

Os tijolos após serem submetidos à análise dimensional, são levados ao laboratório para a realização dos demais ensaios.

Figura 27 – Pontos de aferimento para Análise Dimensional.



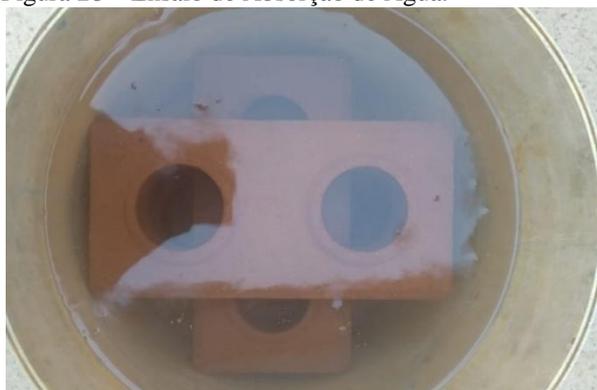
Fonte: O Autor, 2020.

### 3.5.2 Absorção de Água

Da amostra representativa, foram selecionados três tijolos ao acaso para a realização do ensaio de absorção de água. As instruções para a realização deste ensaio foram aquelas determinadas pela ABNT NBR 8492 (2012).

Inicialmente os tijolos foram secos em estufa a uma temperatura de aproximadamente 110 °C até se obter a constância de massa. Após este prazo os tijolos foram retirados da estufa, e aferida a massa seca de cada exemplar (m1). Por conseguinte, os tijolos foram submersos em um tanque com água de onde foram retirados depois de um período de 24 horas (Figura 28).

Figura 28 – Ensaio de Absorção de Água.



Fonte: O Autor, 2020.

Após a retirada dos tijolos do tanque de água, estes foram secos superficialmente com um pano levemente umedecido, o tempo para a realização de tal procedimento foi de aproximadamente 3 minutos por corpo de prova, visto que este é o tempo máximo estipulado pela norma para que se ocorra a pesagem do material úmido, afim de se obter a massa saturada ( $m_2$ ).

Os valores da massa dos tijolos foram expressos em gramas e obtidos em uma balança com precisão de 2 casas decimais.

A absorção de água é expressa em porcentagem, e é dada conforme a Equação 3:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 \quad (3)$$

### 3.5.3 Resistência à compressão simples

Este ensaio foi realizado com os equipamentos do Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário do Sul de Minas, localizado na cidade de Varginha – MG.

Tal ensaio foi embasado nas explicações da ABNT NBR 8492 (2012), a qual determina o quantitativo de sete corpos de prova, obtidos por meio de sete tijolos.

Para a confecção dos corpos de prova, os tijolos foram cortados ao meio perpendicularmente à sua maior dimensão com o auxílio de uma serra elétrica. Com isso as duas metades geradas foram superpostas por sua face maior, de modo que as superfícies que sofreram o corte pela serra ficassem invertidas. Estes dois fragmentos foram ligados por uma fina camada de pasta de cimento Portland pré-contraída (aproximadamente 3 mm de espessura, como estipulado pela norma). A pasta de cimento também foi utilizada para regularizar as faces de menores dimensões do corpo de prova, de modo que se alcançou uma

superfície razoavelmente regular e lisa para a alocação do prisma na máquina de ensaio à compressão.

Quando o processo de moldagem dos corpos de prova foi finalizado, os mesmos permaneceram em repouso por um período de aproximadamente 12 horas antes da realização do ensaio de fato.

Para se iniciar o ensaio, os corpos de prova foram identificados e imersos em água por um período de 6 horas. Decorrido este tempo, os tijolos foram retirados do tanque de imersão e secos superficialmente por um período máximo de 3 minutos com um pano levemente umedecido.

Finalmente foi realizado uma segunda análise dimensional na face de trabalho de cada corpo de prova, de forma a se obter a área de aplicação da força, e com isto, estes foram alocados no centro do prato inferior da máquina de ensaio de resistência à compressão, onde foram submetidos a aplicação uniforme de uma carga que é elevada gradativamente até ocorrer a ruptura do tijolo (Figura 29).

Figura 29 – Ensaio de resistência à compressão simples: corte para a formação dos corpos de prova (A); moldagem dos corpos de prova (B); corpo de prova na máquina do ensaio (C) e tijolo rompido após o ensaio (D).



Fonte: O Autor, 2020.

A máquina utilizada para ensaio, expressa a força de aplicação em tonelada-força (tf), logo o foi necessário conformar as unidades para se obter a resistência do tijolo em MPa. A obtenção da resistência à compressão do tijolo se deu em função da Equação 4.

$$f_t = \frac{F}{S} \quad (4)$$

Onde:

- $f_t$ : resistência à compressão simples (MPa);
- F: carga de ruptura do corpo de prova (N);
- S: área de aplicação da carga (mm<sup>2</sup>).

#### 3.5.4 Massa Específica do tijolo

Para se calcular a massa específica do tijolo utilizou-se os princípios descritos na ABNT NBR NM 53 (2009): Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Embora a ABNT NBR NM 53 (2009) seja própria para a obtenção de parâmetros para agregado graúdo, o procedimento de ensaio disposto por esta, foi utilizado como referência para a obtenção da massa específica do tijolo solo-cimento, a qual o procedimento de cálculo utilizado prezou obter-se a massa específica do tijolo seco.

O procedimento de ensaio consiste em pesar os tijolos secos ao ar e por conseguinte aferir a massa dos mesmos submerso em água em uma balança hidrostática. A obtenção da massa específica seca dos tijolos é calculada conforme a Equação 5.

$$d = \frac{m}{m - m_a} \quad (5)$$

Onde:

- d: massa específica do material seco (g/cm<sup>3</sup>);
- m: massa ao ar da amostra seca (g);
- $m_a$ : massa em água da amostra (g).

## 4 RESULTADOS

Este capítulo trata dos resultados obtidos dos ensaios de caracterização do solo e do rejeito de quartzito, bem como, os resultados conseguidos sobre os tijolos moldados. Além de expor considerações sobre a definição do melhor traço a ser utilizado para a produção em nível industrial do tijolo solo-cimento.

### 4.1 Caracterização tecnológica do rejeito de quartzito

Os resultados descritos nessa seção expõem as características encontradas por meio dos ensaios de caracterização tecnológica do rejeito de quartzito.

Quanto a granulometria do rejeito de quartzito, foi realizado o peneiramento do mesmo, o qual a porcentagem passante na peneira de malha 200 (0,075 mm) foi de 100%. Com essa amostra, o ensaio seria continuado com a caracterização da parte fina do rejeito por meio do ensaio de sedimentação, entretanto, o densímetro disponibilizado pela instituição possuía a graduação de 1,000 à 1,200, e segundo a ABNT NBR 7181 (2016) o densímetro correto para a realização do ensaio de sedimentação deve ser graduado de 0,995 a 1,050.

#### 4.1.1 Massa específica

O ensaio de massa específica foi realizado segundo as prescrições da ABNT NBR NM 23 (2000), a qual utiliza o frasco de Le Chatelier (Figura 30) no procedimento de ensaio.

Figura 30 – Frasco de Le Chatelier.



Fonte: O Autor, 2020.

Baseado na leitura do frasco de Le Chatelier utilizou-se a Equação 6 para se calcular a massa específica do rejeito de quartzito.

$$\rho = \frac{60}{(21,70 - 0,50)} \rightarrow 2,84 \text{ g/cm}^3 \quad (6)$$

## 4.2 Caracterização tecnológica dos solos

A caracterização dos solos contemplou os ensaios de Massa Específica, Análise Granulométrica e Limites de Consistência, uma vez que estes dois últimos ensaios foram realizados também com o solo homogeneizado ao rejeito de quartzito.

### 4.2.1 Massa específica

Para a obtenção da massa específica do solo foi realizado o ensaio seguindo as recomendações da ABNT NBR NM 23 (2000).

A massa específica do solo utilizado para a fabricação dos tijolos solo-cimento conhecida através do ensaio é de 2,55 g/cm<sup>3</sup>.

### 4.2.2 Análise Granulométrica

De acordo com a ABNT NBR 10833 (2012), quanto a granulometria, o solo a ser utilizado tem de passar totalmente na peneira de malha 4,75 mm; e 10% a 50% da massa tem de passar na peneira de malha de 75 µm. Com a realização dos ensaios, tais parâmetros foram atendidos.

O Quadro 7 expõe as frações passantes no ensaio de granulometria do solo puro.

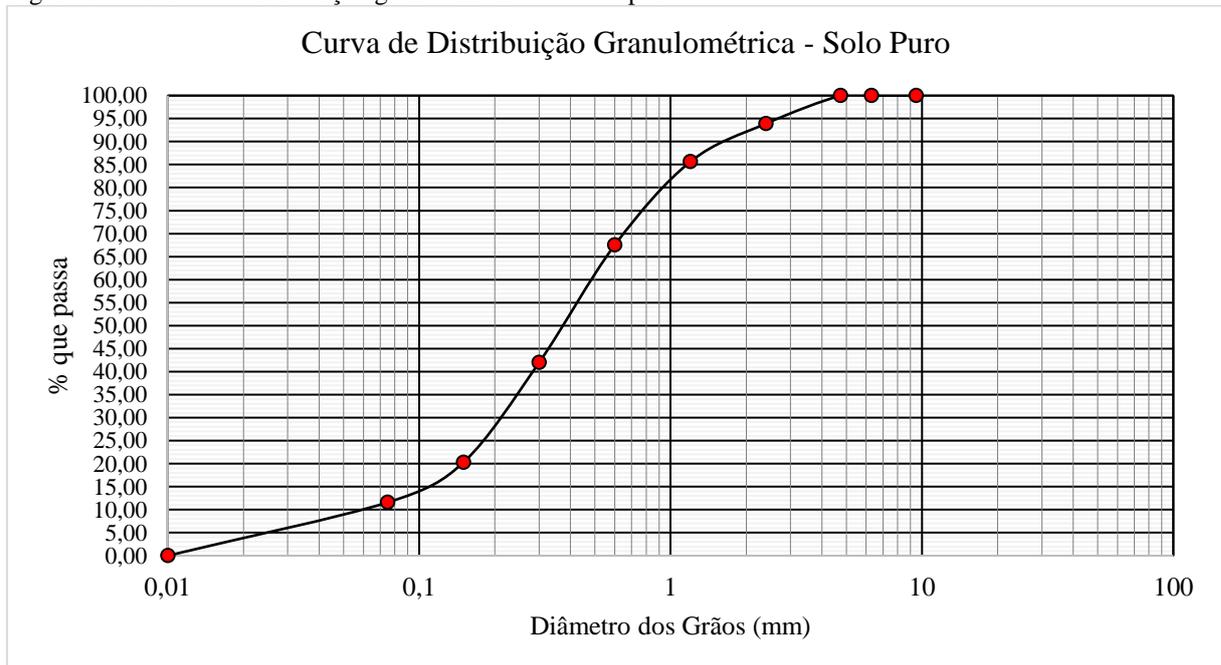
Quadro 7 – Análise Granulométrica do Solo Puro.

n°	mm	Massa Retida (g)	% Retida	% R.A.	Massa Passante (g)	% Passante
3/8"	9,5	0	0,00	0,00	500,00	100,00
1/4"	6,3	0	0,00	0,00	500,00	100,00
4	4,75	0	0,00	0,00	500,00	100,00
8	2,4	30,4	6,08	6,08	469,60	93,92
16	1,2	41,37	8,27	14,35	428,23	85,65
30	0,6	90,63	18,13	32,48	337,60	67,52
50	0,3	127,68	25,54	58,02	209,92	41,98
100	0,15	108,52	21,70	79,72	101,40	20,28
200	0,075	43,44	8,69	88,41	57,96	11,59
Fundo	0,01	57,96	11,59	100,00	0,00	0,00
TOTAL		500				

Fonte: O Autor, 2020.

A Figura 31 representa a curva de distribuição granulométrica dos valores encontrados descritos no Quadro 7 para o solo puro.

Figura 31 – Curva de distribuição granulométrica do solo puro.



Fonte: O Autor, 2020.

O Quadro 8 mostra as massas retidas e passantes do ensaio de análise granulométrica do solo com 15% de quartzito.

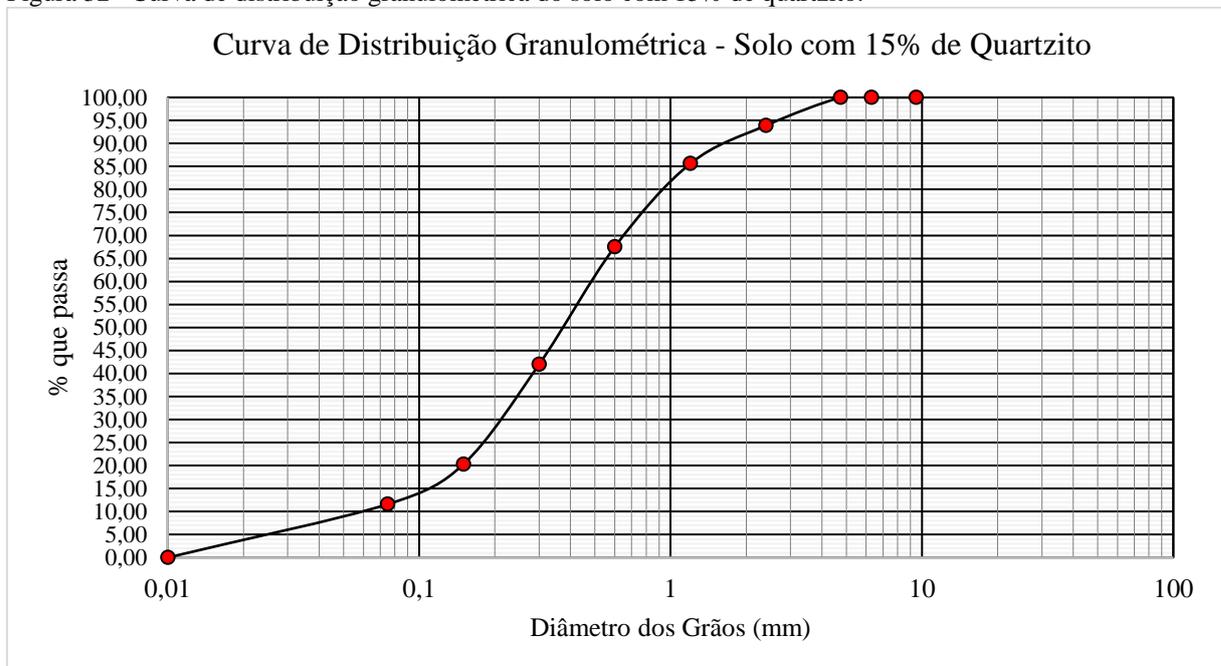
Quadro 8 – Análise Granulométrica do Solo com 15% de quartzito.

n°	mm	Massa Retida (g)	% Retida	% R. A.	Massa Passante (g)	% Passante
3/8"	9,5	0	0,00	0,00	500,00	100,00
1/4"	6,3	0	0,00	0,00	500,00	100,00
4	4,75	0	0,00	0,00	500,00	100,00
8	2,4	27,37	5,47	5,47	472,63	94,53
16	1,2	34,80	6,96	12,43	437,83	87,57
30	0,6	77,41	15,48	27,92	360,42	72,08
50	0,3	115,61	23,12	51,04	244,81	48,96
100	0,15	109,79	21,96	73,00	135,02	27,00
200	0,075	54,78	10,96	83,95	80,24	16,05
Fundo	0,01	80,24	16,05	100,00	0,00	0,00
TOTAL		500				

Fonte: O Autor, 2020.

A Figura 32 expõe a curva de distribuição granulométrica do solo com 15% de quartzito, a qual foi traçada conforme as informações obtidas no Quadro 8.

Figura 32– Curva de distribuição granulométrica do solo com 15% de quartzito.



Fonte: O Autor, 2020.

Finalmente, foi realizado o ensaio de análise granulométrica para o solo com 30 % de quartzito, o qual a relação das massas passantes e retidas nas peneiras, estão expostas no Quadro 9.

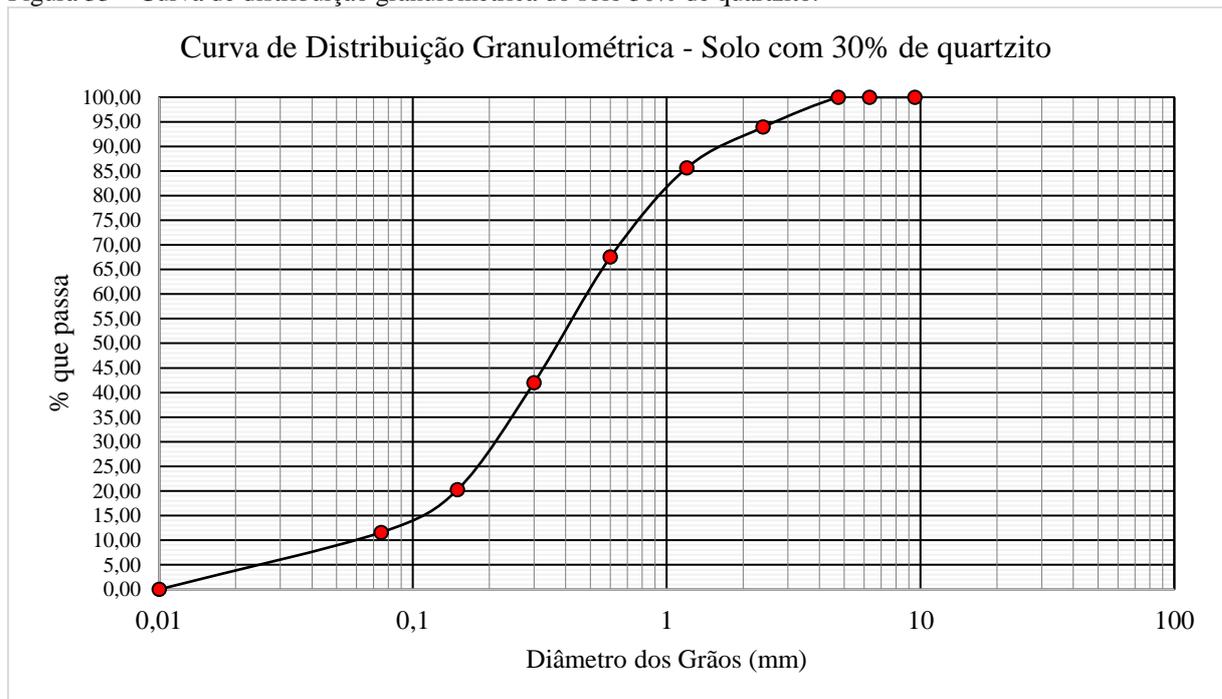
Quadro 9 – Análise Granulométrica do Solo com 30% de quartzito.

n°	mm	Massa Retida (g)	% Retida	% R. A.	Massa Passante (g)	% Passante
3/8"	9,5	0	0,00	0,00	500,00	100,00
1/4"	6,3	0	0,00	0,00	500,00	100,00
4	4,75	0	0,00	0,00	500,00	100,00
8	2,4	22,44	4,49	4,49	477,56	95,51
16	1,2	26,96	5,39	9,88	450,60	90,12
30	0,6	87,21	17,44	27,32	363,39	72,68
50	0,3	97,53	19,51	46,83	265,86	53,17
100	0,15	70,12	14,02	60,85	195,74	39,15
200	0,075	42,45	8,49	69,34	153,29	30,66
Fundo	0,01	153,29	30,66	100,00	0,00	0,00
TOTAL		500				

Fonte: O Autor, 2020.

A Figura 33 mostra a curva de distribuição granulométrica do solo de com 30% de quartzito, conforme as informações encontradas no ensaio de análise granulométrica descritas pelo Quadro 9.

Figura 33 – Curva de distribuição granulométrica do solo 30% de quartzito.



Fonte: O Autor, 2020.

Quanto à classificação textural, todos os solos ensaiados se enquadraram como areia média siltosa.

#### 4.2.3 Limites de Consistência

Segundo a ABNT NBR 10833 (2012), o solo a ser utilizado na fabricação dos tijolos de solo-cimento tem de possuir como pré-requisito Limite de Liquidez (LL)  $\leq 45\%$  e Índice de Plasticidade (IP)  $\leq 18\%$ .

Nos ensaios realizados, as exigências normativas estabelecidas pela ABNT NBR 10833 (2012) foram verificadas e atendidas, sendo os valores encontrados para LL e IP, tanto para o solo puro quanto para o solo homogeneizado (quartzito e solo) inferiores aos limites máximos estabelecidos. Os valores encontrados nos ensaios de Limites de Consistência estão dispostos no Quadro 10.

Quadro 10 – Limites de Consistência do Solo

Solo	Limite de Liquidez (LL)	Limite de Plasticidade (LP)	Índice de Plasticidade (IP)
Solo Puro	42,37	27,20	15,17
Solo com 15% de Quartzito	39,40	24,49	14,91
Solo com 30% de Quartzito	37,5	22,77	14,73

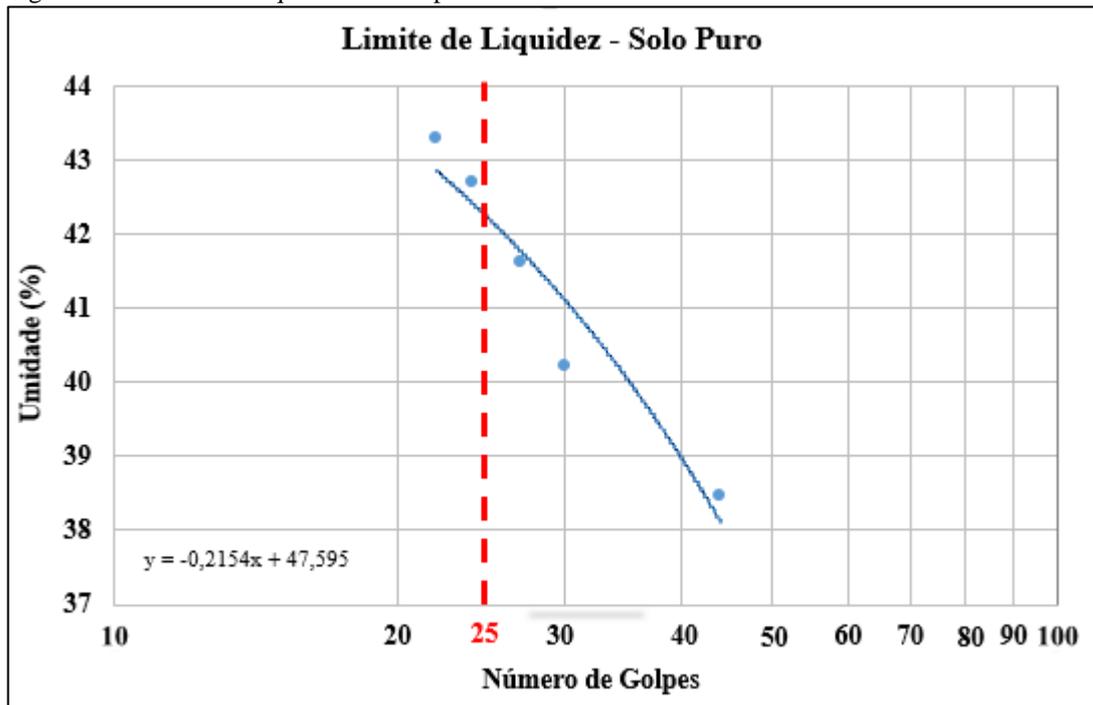
Fonte: O Autor, 2020.

De acordo com os resultados obtidos, observou-se que a adição de rejeito de quartzito ao solo proporcionou uma diminuição no Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade.

O Índice de Plasticidade do solo puro encontrado por meio do ensaio foi de 15,17, o que de acordo com Caputo (1988) é classificado como um solo altamente plástico (IP > 15). Já os solos com adição do rejeito de quartzito foram classificados como solos medianamente plásticos, pelo fato  $7 < IP < 15$ .

A Figura 34 apresenta o gráfico do Limite de Liquidez do solo puro, bem como sua respectiva equação da reta.

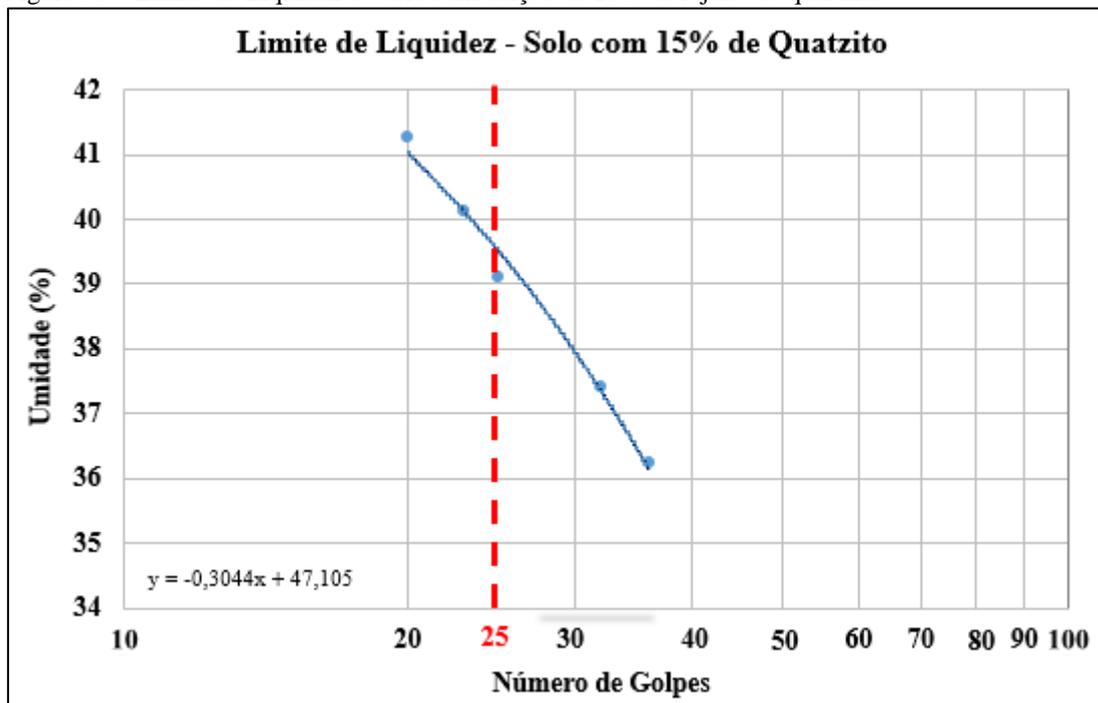
Figura 34 – Limite de Liquidez do solo puro.



Fonte: O Autor, 2020.

A Figura 35 representa o gráfico do Limite de Liquidez do solo com 15% de rejeito de quartzito.

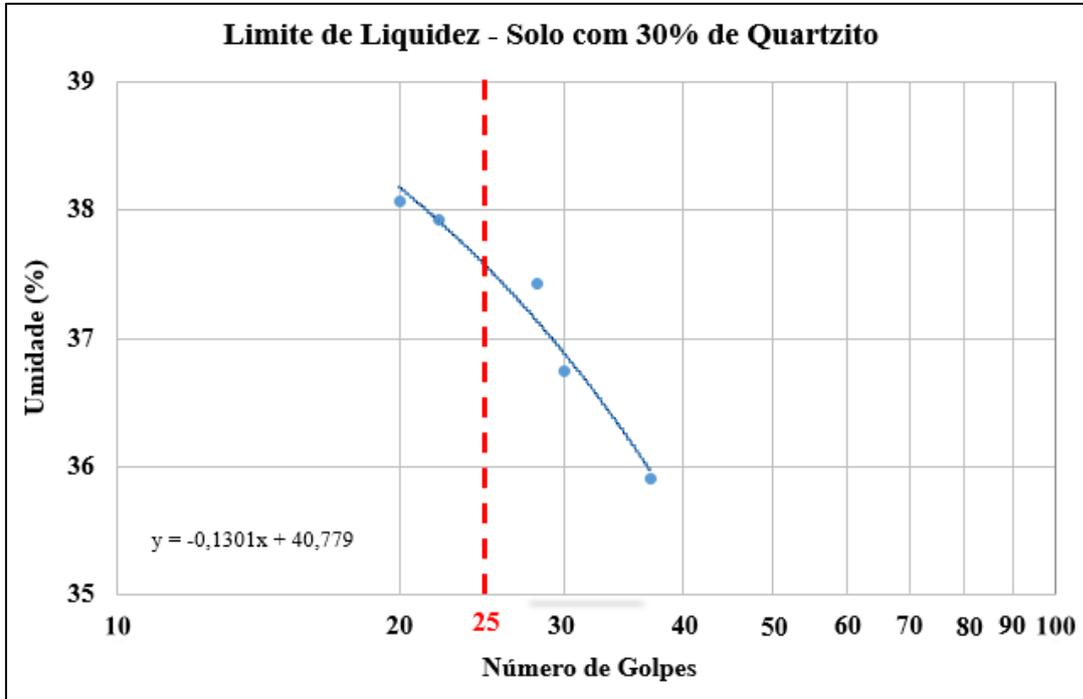
Figura 35 – Limite de Liquidez do solo com adição de 15% de rejeito de quartzito.



Fonte: O Autor, 2020.

Por fim a Figura 36 mostra o gráfico do Limite de Liquidez do solo com adição de 30% do rejeito de quartzito.

Figura 36 – Limite de Liquidez do solo com adição de 30% de rejeito de quartzito.



Fonte: O Autor, 2020.

### 4.3 Ensaios realizados nos tijolos

Esta seção expõe os resultados obtidos nos ensaios de análise dimensional, absorção de água, resistência a compressão simples e massa específica do tijolo.

#### 4.3.1 Análise Dimensional

Os valores obtidos da análise dimensional não obtiveram discrepâncias relevantes, apresentando dimensões próximas as quais os tijolos foram moldados na prensa. O resultado deste ensaio é apresentado no Apêndice A.

#### 4.3.2 Absorção de Água

De acordo com a ABNT NBR 8491 (2012) os tijolos solo-cimento não podem apresentar média percentual de absorção de água superior a 20%, ou valores individuais superiores a 22% com a idade mínima de 7 dias.

No ensaio de absorção de água, que foi realizado na idade de 28 dias, as prescrições estabelecidas pela ABNT NBR 8491 (2012) foram atendidas para todos os exemplares ensaiados, conforme o Quadro 11.

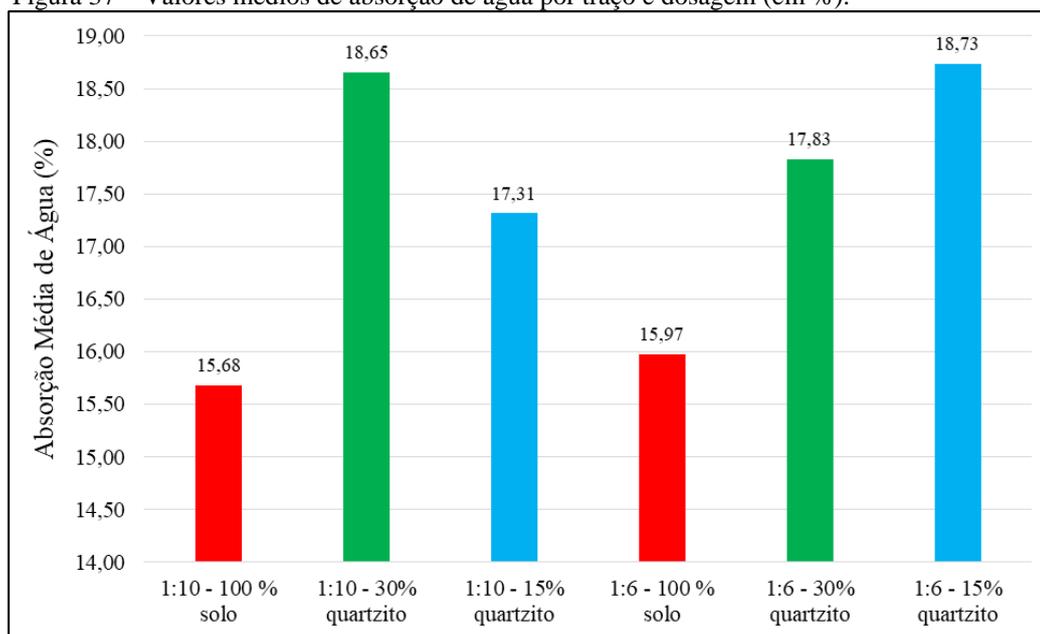
Quadro 11 – Percentuais individuais por amostra do ensaio de absorção de água.

Traço	Dosagem	Amostra	m1	m2	A %
1:10	100% Solo	1	2,655	3,050	14,88
		2	2,620	3,105	18,51
		3	2,635	2,995	13,66
	30% Quartzito	1	2,480	2,935	18,35
		2	2,520	2,970	17,86
		3	2,505	3,000	19,76
	15% Quartzito	1	2,525	2,950	16,83
		2	2,520	2,975	18,06
		3	2,580	3,020	17,05
1:6	100% Solo	1	2,705	3,150	16,45
		2	2,725	3,105	13,94
		3	2,710	3,185	17,53
	30% Quartzito	1	2,505	2,945	17,56
		2	2,460	2,905	18,09
		3	2,440	2,875	17,83
	15% Quartzito	1	2,480	2,950	18,95
		2	2,440	2,900	18,85
		3	2,500	2,960	18,40

Fonte: O Autor, 2020.

A Figura 37 apresenta um gráfico com os valores médios de absorção de água nos lotes ensaiados.

Figura 37 – Valores médios de absorção de água por traço e dosagem (em %).



Fonte: O Autor, 2020.

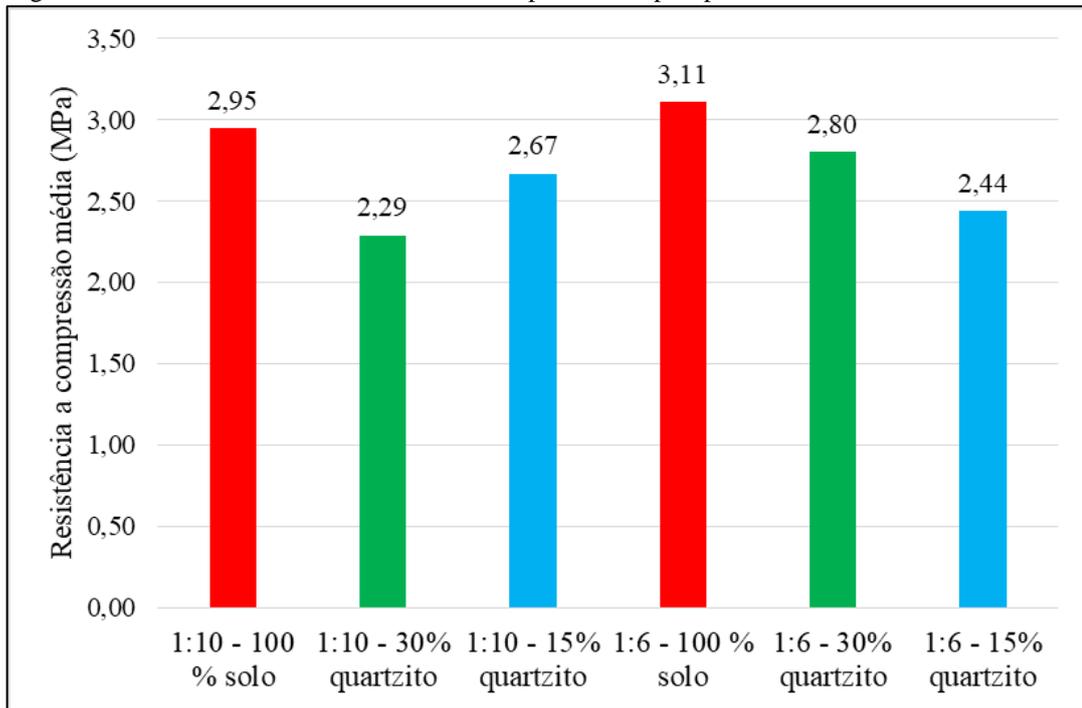
Analisando-se os valores médios de absorção de água, constata-se que a adição do rejeito de quartzito nos tijolos solo-cimento proporcionou um aumento significativo da absorção de água se comparado com a média dos traços nos quais não tiveram o incremento de quartzito. Tal fato pode ser justificado pelas características granulométricas do rejeito adicionado. Embora apresentando valores médios maiores que ao encontrado no traço convencional, estes se enquadram nos parâmetros da normatização vigente, sendo inferiores a 20%.

#### 4.3.3 Resistência à compressão simples

O ensaio de resistência a compressão simples foi realizado no 28º dia após a moldagem dos tijolos seguindo as prescrições da ABNT NBR 8491 (2012). Os resultados individuais de resistência dos tijolos, bem como a força aplicada pela máquina e a análise dimensional da face de trabalho dos corpos de prova estão expostos no Apêndice B.

Os resultados individuais obtidos atenderam a solicitação normativa, apresentando resistência maior (ou igual) a 1,7 MPa, e, a média dos valores foi superior a 2 MPa, conforme a Figura 38.

Figura 38 – Valores médios de resistência a compressão simples por lote.



Fonte: O Autor, 2020.

Analisando-se tantos os valores individuais de resistência à compressão simples quanto o valor médio dos traços, constata-se que os tijolos que tiveram adição do rejeito de quartzito em sua composição apresentaram resistência à compressão inferior aos traços convencionais, entretanto atenderam a exigência normativa de possuir uma resistência média à compressão simples maior ou igual a 2 MPa.

O fato dos tijolos com incremento de rejeito de quartzito apresentarem resistência inferior ao traço convencional, pode ser explicado pela ocorrência da descontinuidade de matéria no interior do tijolo, ocasionado pela adição do quartzito, proporcionando resistência menores.

#### 4.3.4 Massa específica do tijolo

A massa específica seca do tijolo foi obtida por meio de uma balança hidrostática, na qual se relacionou a massa em água com a massa seca em ar do tijolo solo-cimento. Os resultados obtidos para a massa específica seca dos tijolos de solo-cimentos por traço e dosagem, bem como seus respectivos valores médios, estão expostos no Quadro 12.

Quadro 12 – Massa Específica Seca dos tijolos solo-cimento.

Traço	Dosagem	Exemplar	Massa Seca (g)	Massa Submersa (g)	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica Média (g/cm <sup>3</sup> )
1:10	100% Solo	1	2596,41	1141,87	1,785	1,856
		2	2621,75	1261,62	1,928	
		3	2610,12	1202,74	1,855	
	30% Quartzito	1	2443,79	1327,28	2,189	2,184
		2	2442,33	1321,8	2,180	
		3	2443,06	1324,58	2,184	
	15% Quartzito	1	2620,91	1244,16	1,904	1,875
		2	2722,47	1209,29	1,799	
		3	2640,12	1265,64	1,921	
1:6	100% Solo	1	2721,27	1304,07	1,920	2,071
		2	2409,59	1332,31	2,237	
		3	2565,43	1318,19	2,057	
	30% Quartzito	1	2440,12	1319,82	2,178	2,142
		2	2533,47	1318,17	2,085	
		3	2461,84	1323,45	2,163	
	15% Quartzito	1	2460,735	1133,495	1,854	1,858
		2	2518,87	1103,33	1,779	
		3	2402,6	1163,66	1,939	

Fonte: O Autor, 2020.

## 5 DISCUSSÕES

Esta seção estabelece uma ponderação quanto aos resultados obtidos em ensaio, tanto para os materiais utilizados na produção dos tijolos quanto nos próprios tijolos, bem como os aspectos e perspectivas verificados no processo de geração de rejeitos na referida área de estudo, além de realizar considerações sobre os produtos obtidos.

### 5.1 Geração de rejeitos

Conforme diagnóstico mediante entrevistas e visitas às empresas de beneficiamento e extração de quartzitos constatou-se a imensa geração de rejeitos, os quais segundo estimativas representam cerca de 90% do montante extraído. Embora haja um reaproveitamento dos rejeitos de beneficiamento de quartzitos, principalmente pelos resíduos denominados rebarbas ou cavacos, tal reuso ainda é muito pequeno, correspondendo cerca de apenas 2 % do total gerado, conforme estimativa da empresa de beneficiamento Mineração Ropedras.

Outro fator verificado foi a limitada utilização de equipamentos tecnológicos no processo de extração do quartzito, sendo esta realizada de forma totalmente artesanal. O emprego de tecnologias mais avançadas no processo de extração poderia mitigar a geração de rejeitos possibilitando ganhos em praticidade e agilidade no funcionamento produtivo da lavra.

Visto a geração de resíduos e seu baixo reaproveitamento, verifica-se a viabilidade de utilização de tais resíduos como adição ao tijolo solo-cimento primando pelo conceito de sustentabilidade e preservação do meio ambiente.

### 5.2 Relações entre as propriedades dos tijolos

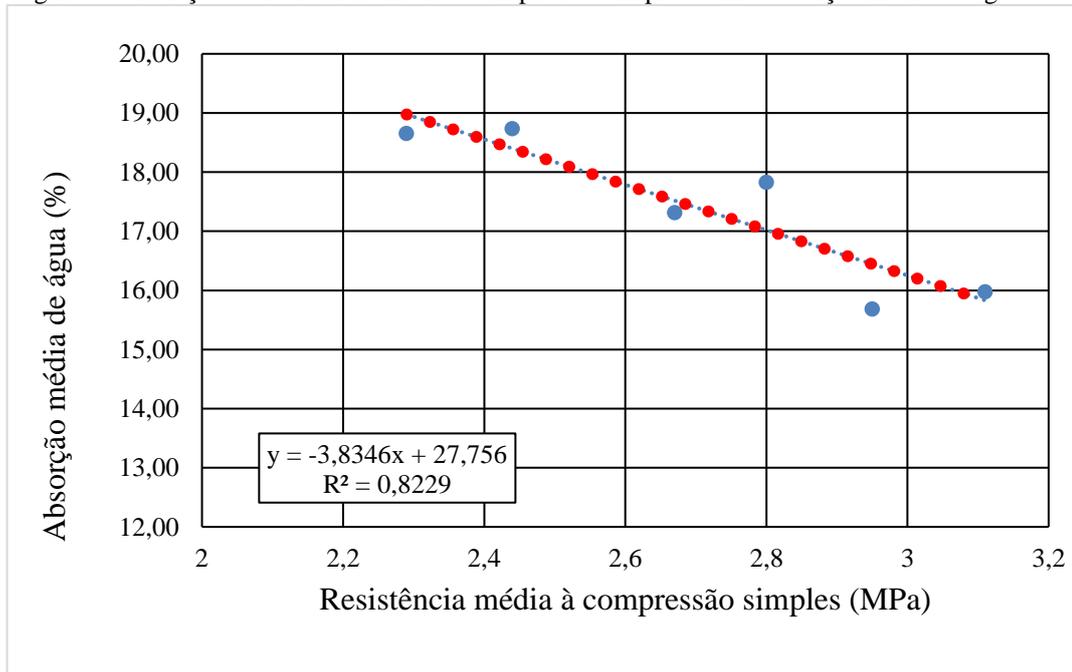
Com a finalidade de se observar possíveis relações entre resistência à compressão simples, absorção de água e massa específica seca dos tijolos, foi realizado um estudo estatístico dos parâmetros obtidos para se avaliar correlações entre cada parâmetro.

O parâmetro utilizado para verificação das interações das características dos tijolos foi o coeficiente de determinação  $R^2$ , obtido por meio modelagem computacional de gráficos. De acordo com McClave et al. (2009) o  $R^2$  representa o quadrado do coeficiente de correlação, e é calculado pela razão entre a variação explicada e a variação total. O coeficiente de determinação é um número compreendido entre 0 e 1, o qual se analisado de forma percentual pode explicar a variação de um determinado parâmetro em função da relação deste mesmo

parâmetro e outra variável, uma vez que quanto mais próximo a 1, maior o nível de relação entre dois parâmetros.

A Figura 39 apresenta a relação da resistência média à compressão simples com a absorção média de água. O modelo encontrado explica a variação com um  $R^2$  de 0,8229, ou seja, a absorção de água média com a resistência média a compressão simples, guardam 82,29% de relação considerando o coeficiente de determinação. O fato da reta de tendência ser decrescente significa que os dois parâmetros relacionados são inversamente proporcionais.

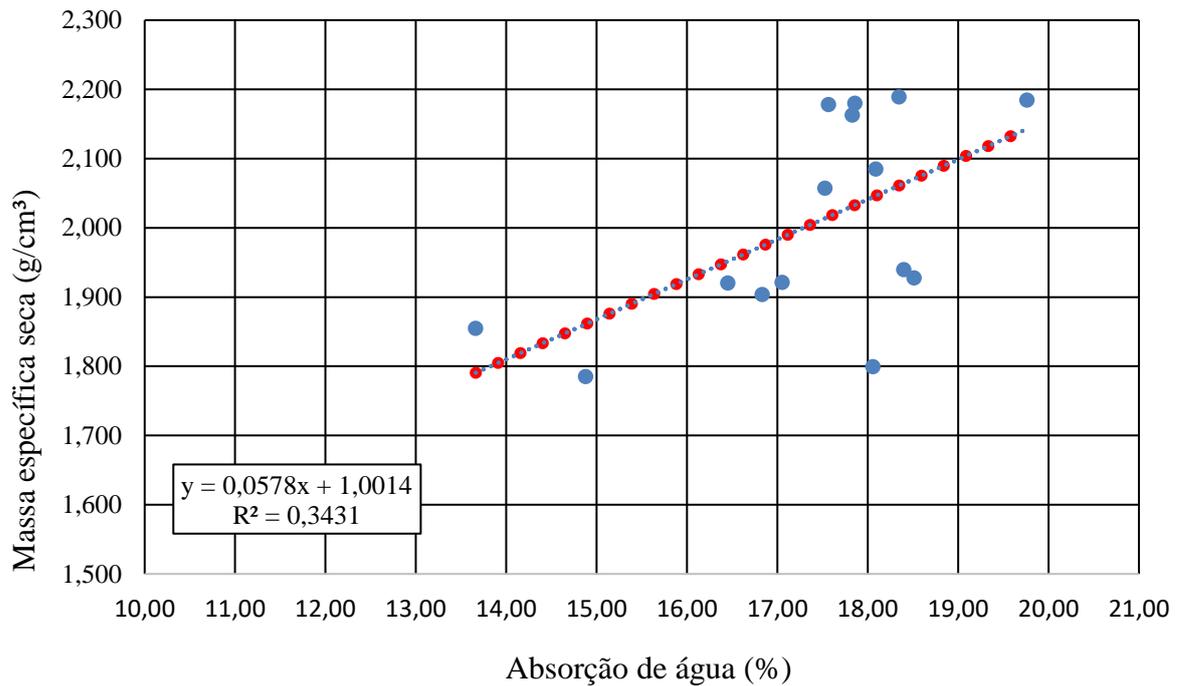
Figura 39 - Relação da resistência média a compressão simples com a absorção média de água.



Fonte: O Autor, 2020.

A relação entre os valores individuais de massa específica seca e absorção de água obtiveram relação com  $R^2$  de 0,3431, ou seja, os dois parâmetros guardam relação de 34,31% (Figura 40). O modelo apresentado possui uma reta em forma crescente, ou seja, as duas variáveis estudadas são diretamente proporcionais.

Figura 40 – Relação da massa específica seca com a absorção de água.



Fonte: O Autor, 2020.

### 5.3 Considerações quanto ao traço

A ABNT NBR 10833 (2012) estipula que em uma análise comparativa entre lotes de tijolos solo-cimento dos quais os traços são variados, a determinação do traço mais adequado para a produção industrial ou em larga escala, é o traço que atender aos requisitos normativos quanto as características físicas e mecânicas alcançadas por meio dos ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água, e ao mesmo tempo ser o traço mais econômico. Logo a definição do traço é realizada em função de fatores econômicos aliados a satisfação dos ensaios estabelecidos por norma.

Dessa forma, analisando-se os lotes os quais tiveram adição do rejeito de quartzito, pode-se constatar que o traço ideal para a produção em escala é o traço 1:10 com 30% de quartzito, mesmo este apresentando o menor valor em módulo de resistência à compressão média.

O traço 1:10 com 30% de rejeito de quartzito além de proporcionar uma economia quanto ao consumo de cimento, propicia uma redução no volume de solo, uma vez este apresenta o maior teor de substituição de solo por rejeito, conciliando princípios econômicos aos ecológicos.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os resultados obtidos, concluiu-se que:

- A geração de rejeitos de quartzitos no município de Guapé – MG é tamanha e compatível com as análises e estudos da produção de rejeitos de quartzitos em um panorama nacional;
- É rudimentar o processo de extração de quartzito o que por vezes ocasiona em uma maior geração de rejeitos. Verifica-se também a falta de utilização de mecanismos tecnológicos no processo de extração;
- Quanto ao procedimento de descarte de resíduos da extração, este é realizado de forma inadequada, diretamente na lavra, impossibilitando a extração de quartzitos nos locais os quais foram depositados;
- A incorporação do rejeito de quartzito de Guapé proporcionou condições favoráveis para a produção de tijolos de solo-cimento;
- Os tijolos produzidos com rejeito de quartzito não obtiveram resultados mecânicos melhores que àqueles produzidos tão somente com os materiais convencionais, entretanto, os resultados obtidos provenientes de suas propriedades mecânicas e físicas, estão de acordo com a normatização vigente;
- A resistência média das dosagens nas quais possuem um teor de cimento maior, proporcionou um aumento de 5,35% se comparado com os traços os quais o consumo de cimento é menor;
- A adição de quartzito nos tijolos solo-cimento propiciou um aumento significativo do parâmetro absorção de água, tal aumento se comparado aos traços que não houveram adição do rejeito, representa um acréscimo na ordem de 12,70%.
- A utilização do rejeito de quartzito na produção de tijolos solo-cimento se mostrou viável e é uma alternativa para o reaproveitamento do rejeito gerado pelas empresas de extração e beneficiamento na cidade de Guapé-MG, especificamente o rejeito utilizado neste trabalho o qual não possui reaproveitamento;

Como recomendação de estudos complementares, sugere-se realizar pesquisas utilizando o rejeito de quartzito em frações com diâmetros maiores, bem como a utilização de

traço em massa, estabelecendo uma analogia com o traço volumétrico desenvolvido neste trabalho.

Sugere-se também um levantamento dos custos da produção do tijolo solo-cimento visando analisar a influência de materiais alternativos (como o quartzito, por exemplo) nos fatores econômicos de fabricação.

## REFERÊNCIAS

ACCHAR, W.; MARQUES, S. K. J. **Ecological Soil-Cement Bricks from Waste Materials**. Springer Brief in Applied Sciences and Technology, 2016.

AGUIAR, Rodrigo Sebastião de. Beneficiamento de quartzitos em Guapé-MG. [Entrevista concedida a] Eduardo Antônio de Castro Dutra. Mineração Ropedras: Guapé, mai. 2020.

ALECRIM, A. V. **Estudo do resíduo de quartzito foliado para emprego em estruturas de pavimentos**. Dissertação de mestrado. São Paulo: USP, 2009.

ALECRIM, A. V.; FABBRI, G. T. P. **Aproveitamento de rejeitos da mineração de quartzitos do Sudoeste de Minas Gerais em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis**. In: 1º Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos, 1. São Carlos, 2004. 23 e 24 de agosto de 2004. São Carlos-SP.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Balanco das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2016**. Brasília: ABIROCHAS, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Guia de aplicação de rochas e revestimentos – Projeto Bula**. São Paulo: ABIROCHAS, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **O setor brasileiro de rochas ornamentais**. Brasília: ABIROCHAS, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de Tijolos de Solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. 3. ed. rev. atual. São Paulo, ABCP, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 23: Cimento portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 49: Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **ABNT NBR NM ISSO 3310-1: Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação: Parte 1 – Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11578: Cimento Portland composto - Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5736: Cimento Portland pozolânico.** Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181: Solo – Análise granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8491: Tijolo de Solo-cimento – Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

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

BARBOSA, Rafael Amaral. **Proposta de tratamento do esgoto lançado no reservatório de Furnas pelo município de Guapé-MG.** Trabalho de Conclusão de Curso. Varginha: Centro Universitário do Sul de Minas, 2015.

BETSUYAKU, R. Y.; DELGADO JUNIOR, H. G.; VALADÃO, I. C. R. P. **Produção de tijolo ecológico com resíduo de areia diatomácea.** Volta Redonda: Cadernos UniFOA, 2007.

BORGES, L. V. S.; COLOMBO, C. R. **Construções com Terra: Alternativa voltada a sustentabilidade.** Salvador: Universidade Católica do Salvador, 2009.

CABALA, Guillermo Van Erken. **Estudo do comportamento mecânico de estruturas de solo-cimento reforçado com fibras de coco e hastes de bambu.** Natal: UFRN, 2007.

CAMPOLINA, José Francisco Reis. Panorama geral dos quartzitos em Guapé-MG. [Entrevista concedida à] Eduardo Antônio de Castro Dutra. Brito e Campolina: Guapé, mai. 2020.

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção.** Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal. 2001.

CHIODI FILHO, C. & RODRIGUES, E P. **Guia de aplicação de rochas em revestimentos: Projeção Bula.** São Paulo: ABIROCHAS. 2009.

COLLARES, Eduardo Goulart. Solos da Região de Piumhi. [Entrevista concedida a] Eduardo Antônio de Castro Dutra. Guapé, out. 2020.

CUNHA, U. V. L. **Terra-cimento: contribuição para o estudo da casa de baixo custo.** São Carlos: EESC/USP, 1978.

DESCHAMPS, E. et al. **Controle ambiental na mineração de quartzito pedra São Tomé.** Belo Horizonte: Secrac, 2002.

FALEIRO, Flávio Fernandes; LOPES, Luciana Maria. **Aspectos da mineração e impactos da exploração de quartzito em Pirenópolis-GO.** Goiânia: UFG-IESA, 2010.

FERREIRA, Régis de C.; GOBO, Júlio C. da C.; CUNHA, Ananda H. N. **Incorporação da casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento.** Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2008.

FRANCISCO, José Rosa. **Estudo da produção de tijolos de solo-cimento com adição de resíduo de desconstrução e de um composto orgânico derivado de resina vegetal.** São Paulo. 2010.

FRANCKLIN JUNIOR, Ivan. **Estudo tecnológico em rejeitos de quartzitos do sudoeste de Minas Gerais para utilização como agregado graúdo no concreto.** Dissertação de mestrado. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Guia técnico ambiental da indústria de rochas ornamentais.** Belo Horizonte: FEAM, 2015.

GOOGLE. Google Earth. Versão 7.3. [Mountain View]: Google, 2020.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa.** São Carlos: EESC/USP, 2003.

GUAPÉ. *In*: IBGE. [Rio de Janeiro, RJ: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/guape/panorama>. Acesso em: 13 jun. 2020.

GUAPEDRAS. *In*: Mineração Brasil Stones. [Guapé, MG: MBS, 2020]. Disponível em: <http://www.mineracaobrasilstones.com.br/v1/>. Acesso em: 10 mai. 2020.

LEONEL, R. F. et al. **Characterization of soil-cement bricks with incorporation of used foundry sand.** *Cerâmica*, v. 63, n. 367, p. 329-335, 2017.

LIMA, Rosa do Carmo de Oliveira. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito.** Campina Grande: UFCG, 2010.

LIMA, Thiago Vicente. **Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias-primas do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes- RJ.** Dissertação de mestrado. Campos dos Goytacazes: UENF, 2006.

MAIA, Domiciano Augusto dos Passos. **Guapé: Reminiscências**. Rio de Janeiro: Edições Pongetti, 1933.

McCLAVE, J. T.; BENSON, P. G.; SINEICH, T. **Estatística para administração e economia**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2009.

MELO, A. B.; BARBOSA, N. P.; LIMA, M. R. F.; SILVA, E. P. **Desempenho estrutural de protótipo de alvenaria construída com blocos de terra crua estabilizada**. Porto Alegre: Ambiente Construído, 2011.

MOTTA, J. C. S. S.; MORAIS, P. W. P.; ROCHA, G. N.; TAVARES, J. C.; GONÇALVES, G. C.; CHAGAS, M. A.; MAGESTE, J. L.; LUCAS, T. P. B. **Tijolos solocimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. Belo Horizonte: E-xacta, 2014. Disponível em: < <https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/1038/665>> MUNICÍPIOS. *In: ALAGO*. [Alfenas, MG: Associação dos Municípios do Lago de Furnas, 2020]. Disponível em: <https://alago.org.br/municipios.asp>. Acesso em: 10 maio 2020.

NASCIMENTO, Antonio Carlos Santos do Nascimento. **Tijolo solo cimento com adição de rejeito de manganês do sudeste paraense**. Belém: UFPA, 2015.

NOGUEIRA, João Baptista. **Mecânica dos Solos - Ensaios de Laboratório**. São Carlos: EESC-USP, 1995.

PARAGUASSÚ, A. B.; RODRIGUES, J. E.; RIBEIRO, R. P.; FRAZÃO, E. B. **Indústria da Pedra: Da extração à aplicação final**. São Carlos: EESC/USP, 2014.

PRESA, Marcello Bastos. **Resistência à compressão e absorção de água em tijolos de solo cimento**. Brasília: UnB, 2011.

REIS, Fernanda Medeiros Dutra. **Estudo do comportamento físico-mecânico de tijolos solo-cimento com adição de rejeitos de minerações de quartzito**. Dissertação de mestrado. São Carlos: EESC/USP, 2019.

REIS, M. J. **Avaliação tecnológica de rejeitos de minerações de quartzito do Sudoeste Mineiro como agregados em peças de concreto para pavimentação (PCP)**. Dissertação de mestrado. Passos: UEMG, 2016.

RIBEIRO, Wagner Souza. **Reaproveitamento dos rejeitos de quartzito na elaboração de cerâmica vermelha na região de Seridó-PB**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2011.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. **Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento**. Campos dos Goytacazes: UENF, 2013.

SAMPAIO, Guilherme Santos; NUNES, Ingrid Elena Schnoor. **Estudo interdisciplinar da viabilidade de aplicação do tijolo de solo-cimento na construção civil: economia aliada à sustentabilidade**. Lorena: FATEA, 2015.

SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. **Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM-MCT, 2007.

SANTOS, D. A.; GURGEL, M. T.; MOTA, A. F.; PAIVA, F. I. G. **Extração mineral de quartzito e sua aplicabilidade na construção civil na cidade de Várzea – PB**. Natal: HOLLOS/IFRN, 2014.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Geologia da folha Alpinópolis SF.23-V-B-V**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2007.

SOUZA, Márcia I. B.; SEGANTINI, Antonio A. S.; PEREIRA, Joelma A. **Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto**. Campina Grande: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2008.

THOMAZ, C. A. **Paredes monolíticas de solo-cimento: Hospital Adriano Jorge, Manaus, 1950-1976**. 3 ed. São Paulo: ABCP, 1979.

TIBÚRCIO, Walquires. **Guapé e outras histórias**. Goiânia: Elysium Sociedade Cultural, 2013.

UCHIMURA, Marcelo Shiniti. **Dossiê Técnico: Solo-cimento**. Curitiba: Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR, 2006.

VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. **Tecnologias de Rochas Ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2003.

VIEIRA, Arnon. et al. **Estudo do processo de obtenção e caracterização de tijolos solo-cimento**. Cerâmica Industrial, 2007.

**APÊNDICE A – Ensaio de Análise Dimensional.**

Traço	CP	Comprimento (mm)				Largura (mm)				Altura (mm)			
		1	2	3	média	1	2	3	média	1	2	3	média
1:10 - 100% solo	1	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	125,00	125,00	125,00	<b>125,00</b>	63,5	63	63	<b>63,17</b>
	2	250,00	250,50	250,50	<b>250,33</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63	62,5	63,5	<b>63,00</b>
	3	250,00	250,00	249,50	<b>249,83</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63,5	63,5	63,5	<b>63,50</b>
	4	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	125,50	124,50	124,50	<b>124,83</b>	62,5	63	62,5	<b>62,67</b>
	5	249,50	249,50	249,50	<b>249,50</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63,5	63	62,5	<b>63,00</b>
	6	250,00	249,50	250,50	<b>250,00</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	62,5	62,5	62,5	<b>62,50</b>
	7	250,00	250,00	249,50	<b>249,83</b>	125,00	125,00	125,00	<b>125,00</b>	63	62,5	63	<b>62,83</b>
	8	249,00	250,00	251,00	<b>250,00</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63	63,5	62,5	<b>63,00</b>
	9	251,00	249,50	249,50	<b>250,00</b>	125,50	124,50	124,50	<b>124,83</b>	63,5	62,5	63	<b>63,00</b>
	10	249,00	250,00	251,00	<b>250,00</b>	125,00	125,00	125,00	<b>125,00</b>	63,5	63	63	<b>63,17</b>
1:10 - 30% quartzito	1	250,50	250,00	251,00	<b>250,50</b>	125,00	125,00	125,00	<b>125,00</b>	63,5	63	62,5	<b>63,00</b>
	2	249,50	249,50	249,50	<b>249,50</b>	125,00	125,00	125,00	<b>125,00</b>	63	63,5	62,5	<b>63,00</b>
	3	250,50	249,00	249,00	<b>249,50</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	62,5	63	62,5	<b>62,67</b>
	4	250,00	250,00	249,50	<b>249,83</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63	63	63	<b>63,00</b>
	5	250,50	250,00	249,50	<b>250,00</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63	63,5	62,5	<b>63,00</b>
	6	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63,5	63,5	63,5	<b>63,50</b>
	7	251,00	249,50	249,50	<b>250,00</b>	125,50	124,50	124,50	<b>124,83</b>	63,5	62,5	63	<b>63,00</b>
	8	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63,5	63	63	<b>63,17</b>
	9	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	125,50	124,50	124,50	<b>124,83</b>	63,5	63	62,5	<b>63,00</b>
	10	250,50	250,00	251,00	<b>250,50</b>	125,00	125,00	125,00	<b>125,00</b>	63,5	62,5	63	<b>63,00</b>

Traço	CP	Comprimento (mm)				Largura (mm)				Altura (mm)			
		1	2	3	média	1	2	3	média	1	2	3	média
1:10 - 15% quartzito	1	250,50	250,00	249,50	<b>250,00</b>	125,50	124,50	124,50	<b>124,83</b>	63,5	63	63	<b>63,17</b>
	2	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63	63	63	<b>63,00</b>
	3	250,50	250,50	250,50	<b>250,50</b>	125,00	125,00	125,00	<b>125,00</b>	63,5	63	63	<b>63,17</b>
	4	250,00	250,00	250,50	<b>250,17</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63,5	63	63	<b>63,17</b>
	5	249,00	250,00	251,00	<b>250,00</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63,5	62,5	63	<b>63,00</b>
	6	250,00	250,00	249,50	<b>249,83</b>	125,00	125,00	125,00	<b>125,00</b>	63,5	63	62,5	<b>63,00</b>
	7	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63,5	63,5	63	<b>63,33</b>
	8	249,00	250,00	251,00	<b>250,00</b>	124,50	125,00	125,00	<b>124,83</b>	63	63,5	62,5	<b>63,00</b>
	9	250,50	250,00	251,00	<b>250,50</b>	124,50	124,50	125,50	<b>124,83</b>	62,5	63	62,5	<b>62,67</b>
	10	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	124,50	124,50	125,50	<b>124,83</b>	63,5	62,5	63	<b>63,00</b>
1:6 - 100% solo	1	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	125,50	124,50	124,50	<b>124,83</b>	63	63	63	<b>63,00</b>
	2	250,00	250,00	250,00	<b>250,00</b>	125,50	124,50	124,50	<b>124,83</b>	63	63	63	<b>63,00</b>
	3	249,00	250,00	250,50	<b>249,83</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	62,5	63	63	<b>62,83</b>
	4	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	125,00	125,50	124,50	<b>125,00</b>	63,5	62,5	63	<b>63,00</b>
	5	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	62,5	62,5	62,5	<b>62,50</b>
	6	250,50	250,00	249,50	<b>250,00</b>	124,50	125,00	125,00	<b>124,83</b>	63	63,5	62,5	<b>63,00</b>
	7	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	125,00	125,00	125,00	<b>125,00</b>	63	63	63	<b>63,00</b>
	8	250,00	250,00	250,00	<b>250,00</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	62,5	62,5	62,5	<b>62,50</b>
	9	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	124,50	124,50	125,50	<b>124,83</b>	63,5	62,5	63	<b>63,00</b>
	10	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	125,00	124,50	124,50	<b>124,67</b>	63	62,5	64	<b>63,17</b>

Traço	CP	Comprimento (mm)				Largura (mm)				Altura (mm)			
		1	2	3	média	1	2	3	média	1	2	3	média
1:6 - 30% quartzito	1	251,00	250,00	250,00	<b>250,33</b>	125,00	125,50	124,50	<b>125,00</b>	63	63,5	62,5	<b>63,00</b>
	2	250,50	250,00	251,00	<b>250,50</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63,5	62,5	63	<b>63,00</b>
	3	249,50	250,50	250,50	<b>250,17</b>	125,00	125,00	125,00	<b>125,00</b>	63	63,5	62,5	<b>63,00</b>
	4	250,00	250,00	250,00	<b>250,00</b>	124,50	125,50	124,50	<b>124,83</b>	63,5	63	63	<b>63,17</b>
	5	249,00	250,00	250,50	<b>249,83</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63	63	63	<b>63,00</b>
	6	250,50	250,50	250,50	<b>250,50</b>	125,00	125,00	125,00	<b>125,00</b>	62,5	62,5	62,5	<b>62,50</b>
	7	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63,5	62,5	63	<b>63,00</b>
	8	249,00	250,00	251,00	<b>250,00</b>	124,50	124,50	125,50	<b>124,83</b>	62,5	63	62,5	<b>62,67</b>
	9	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	124,50	125,00	125,00	<b>124,83</b>	63	63,5	62,5	<b>63,00</b>
	10	250,50	250,00	251,00	<b>250,50</b>	124,50	125,50	124,50	<b>124,83</b>	63,5	63,5	63,5	<b>63,50</b>
1:6 - 15% quartzito	1	251,00	249,50	249,50	<b>250,00</b>	126,00	125,00	125,50	<b>125,50</b>	63	63	63	<b>63,00</b>
	2	249,50	250,50	250,50	<b>250,17</b>	124,50	124,50	125,50	<b>124,83</b>	62,5	63	62,5	<b>62,67</b>
	3	250,00	250,00	249,50	<b>249,83</b>	125,00	125,50	124,50	<b>125,00</b>	63,5	63	63	<b>63,17</b>
	4	250,50	250,00	251,00	<b>250,50</b>	125,50	124,50	125,00	<b>125,00</b>	63,5	63,5	63,5	<b>63,50</b>
	5	250,00	250,00	250,00	<b>250,00</b>	125,50	125,50	125,00	<b>125,33</b>	63,5	63	62,5	<b>63,00</b>
	6	250,50	250,00	249,50	<b>250,00</b>	124,50	125,50	124,50	<b>124,83</b>	63,5	63,5	63,5	<b>63,50</b>
	7	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	125,00	125,00	125,00	<b>125,00</b>	63	63	63	<b>63,00</b>
	8	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	125,00	125,00	125,00	<b>125,00</b>	63,5	63	63	<b>63,17</b>
	9	251,00	250,00	249,50	<b>250,17</b>	124,50	125,00	125,00	<b>124,83</b>	63	63,5	62,5	<b>63,00</b>
	10	250,00	249,50	250,00	<b>249,83</b>	124,50	124,50	125,50	<b>124,83</b>	62,5	63	62,5	<b>62,67</b>

**APÊNDICE B - Valores individuais de resistência a compressão simples dos corpos de prova.**

Traço	Corpo de Prova	Dimensão 1 (mm)	Dimensão 2 (mm)	Área de Trabalho (mm <sup>2</sup> )	Força aplicada (tf)	Tensão (MPa)
1:10 100% solo	1	125	123	15375	4,37	2,84
	2	125	124	15500	4,68	3,02
	3	125	127	15875	4,62	2,91
	4	125	126	15750	4,66	2,96
	5	126	124	15624	4,50	2,88
	6	121	124	15004	4,47	2,98
	7	125	124	15500	4,76	3,07
1:6 100% solo	1	125	127	15875	4,73	2,98
	2	125	126	15750	5,10	3,24
	3	122	126	15372	5,26	3,42
	4	125	124	15500	4,73	3,05
	5	125	124	15500	4,92	3,17
	6	123	125	15375	4,61	3,00
	7	125	124	15500	4,54	2,93
1:10 30% Quartzito	1	124	125	15500	3,58	2,31
	2	125	126	15750	3,59	2,28
	3	121	125	15125	3,28	2,17
	4	122	125	15250	3,64	2,39
	5	125	126	15750	3,47	2,20
	6	125	127	15875	3,70	2,33
	7	125	124	15500	3,64	2,35
1:6 30% Quartzito	1	125	126	15750	4,61	2,93
	2	125	125	15625	4,30	2,75
	3	122	125	15250	4,10	2,69
	4	122	125	15250	4,27	2,80
	5	125	124	15500	4,40	2,84
	6	125	126	15750	4,28	2,72
	7	124	125	15500	4,43	2,86
1:10 15% Quartzito	1	125	125	15625	4,09	2,62
	2	124	125	15500	4,36	2,81
	3	124	126	15624	4,22	2,70
	4	126	125	15750	4,16	2,64
	5	125	126	15750	4,10	2,60
	6	125	126	15750	4,17	2,65
	7	125	126	15750	4,22	2,68
1:6 15% Quartzito	1	125	124	15500	3,67	2,37
	2	123	125	15375	3,77	2,45
	3	121	125	15125	3,87	2,56
	4	126	125	15750	3,76	2,39
	5	126	125	15750	3,80	2,41
	6	125	124	15500	3,86	2,49
	7	122	125	15250	3,64	2,39