

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS DA CIDADE  
DE PORTO VELHO NA PRODUÇÃO DE CONCRETOS**

**ARMIN GINO BOERO COSTA**

**Manaus**

**2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ARMIN GINO BOERO COSTA

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS DA CIDADE  
DE PORTO VELHO NA PRODUÇÃO DE CONCRETOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Materiais e Componentes de Construção.

Orientador: Prof. Dr. Joao de Almeida Melo Filho.

Manaus

2017

Ficha Catalográfica  
Catalogação na fonte pela Biblioteca Central da  
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Boero Costa, Armin Gino

B672u Utilização de resíduos cerâmicos da cidade de Porto Velho na  
produção de concretos / Armin Gino Boero Costa. – Manaus, 2017.

117f.; il. color, 31 cm.

Orientador: Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal  
do Amazonas.

1. Resíduos cerâmicos 2. Concretos 3. Concretos com resíduos  
cerâmicos 4. Adição pozolânica I. Melo Filho, João de Almeida (Orientador)  
II Universidade Federal do Amazonas III. Título

ARMIN GINO BOERO COSTA

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS DA CIDADE  
DE PORTO VELHO NA PRODUÇÃO DE CONCRETOS

Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-graduação em Engenharia Civil  
da Universidade Federal do Amazonas,  
como requisito parcial para a obtenção  
do título de Mestre em Engenharia Civil.  
Área de concentração: Materiais e  
Componentes de Construção.

Aprovada em 31 de janeiro de 2017

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Joao de Almeida Melo Filho, Presidente.  
Universidade Federal do Amazonas

---

Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos  
Universidade Federal do Amazonas

---

Prof. Dr. José Carlos Calado Sales Júnior  
Universidade Federal do Amazonas

## AGRADECIMENTOS

A Natureza por ter proporcionado os materiais que conduziram aos desejos de avançar em conhecimentos, naquilo que se faz no cotidiano, na arte de edificar. Embora quando mal-humorada ou confrontada surpreende e reage para mostrar a fragilidade das ações dos construtores que, no entanto, embirram inutilmente em querer subestimá-la, em vez de compreendê-la.

A minha mãe Creuza Barrozo da Costa, *in memoriam*, que sempre foi assertiva em colocar a importância da educação como instrumento indutor de transformação, absorção de conhecimento e superação.

A minha família pelo incentivo, interesse, apoio e compreensão para continuar aprendendo.

Ao Prof. Melo Filho, por direcionar o trabalho pretendido, para algo efetivamente relevante e pertinente, cujo significado ou sentido pode-se inferir como útil ou prático, como deve ser a engenharia.

Aos professores da UFAM, que ministraram as disciplinas do curso, que contribuíram para lembrar alguns conteúdos adormecidos no tempo e ensinar muitos outros e novos conhecimentos.

A FARO e seus funcionários pela ousadia, através da UFAM, em dar um salto no ensino da engenharia no Estado de Rondônia, superando as dificuldades, criando oportunidades e realizando sonhos.

Ao Prof. Hércules, *in memoriam*, artífice do curso, pelo entusiasmo e viabilização do curso, quando haviam obstáculos pessoais a serem transpostos.

A convivência fraternal com os colegas durante o transcorrer do curso de mestrado, pelo companheirismo solidário e solidificação da amizade e pela permuta e colaboração de informações saudáveis.

**“Na verdade, a palavra *concreto* vem do termo em Latim *concretus*, que significa crescer junto.”**

**(Povindar Kumar Mehta e Paulo José Melaragno Monteiro).**

## RESUMO

O presente trabalho propõe avaliar a substituição parcial do cimento Portland por resíduos de tijolos cerâmicos moídos, originários da região oleira de Porto Velho/RO, para a produção de concretos. Para isso, foram produzidos concretos com os teores de 0%, 10%, 20% e 30%, em peso, de resíduos de tijolos argila calcinada em substituição ao cimento Portland. Ensaios de resistência mecânicas à compressão e tração por compressão diametral foram realizados nos concretos produzidos. Os resultados foram satisfatórios quando a adição pozolânica foi de 20% em substituição ao material aglomerante, neste ato as perdas da resistência à compressão situaram-se próximas de 8% aos 28 dias pós moldagem. O mesmo deve ser observado quanto a resistência à tração por compressão diametral cujos resultados foram muito próximos em todas as amostras e singular quando da substituição de cimento Portland por resíduos de tijolos moídos no percentual de 20%. Os demais ensaios: granulometria, módulo de finura, massa específica dos agregados, absorção de água, índice de vazios, massa específica dos concretos foram complementos, embora necessários, para determinar a caracterização e o conhecimento da durabilidade da mistura formulada. Com base em resultados de ensaios laboratoriais é aceitável a substituição parcial do cimento por resíduos de tijolos cerâmicos calcinados e moídos, mesmo com perdas parciais de propriedades da resistência mecânica.

Palavras-chaves: tijolos queimados, concreto, adição pozolânica.

## **ABSTRACT**

The present work proposes to evaluate the partial replacement of Portland cement by residues of ground ceramic bricks, originating in the Porto Velho / RO, for concrete production. For this, concrete were produced with the contents of 0%, 10%, 20% and 30% by weight of clay residues calcined clay replacing the Portland cement. Mechanical strength tests on compression and diametric compression traction were carried out on the concretes produced. The results were satisfactory when the pozzolanic addition was 20% instead of the binder material. At this time, the compressive strength losses were close to 8% at 28 days after molding. The same should be observed for the diametric compression tensile strength whose results were very close in all samples and unique when replacing Portland cement with ground brick residues in the percentage of 20%. The other tests: granulometry, modulus of fineness, specific mass of the aggregates, water absorption, voids index, specific mass of the concretes were complements, although necessary, to determine the characterization and knowledge of the durability of the formulated mixture. Based on the results of laboratory tests it is acceptable to partially replace the cement with residues of calcined and ground ceramic bricks, even with partial losses of properties of the mechanical resistance.

**Key words:** burned bricks, concrete, pozzolanic addiction.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática de camadas argilominerais.....	6
Figura 2 – Estrutura cristalina da caulinita.....	7
Figura 3 – Estrutura cristalina da illita.....	8
Figura 4 – Estrutura cristalina da montmorilonita.....	8
Figura 5 – Comparação entre as principais escalas de dimensões de partículas em sólidos.....	9
Figura 6 – Resíduos de blocos cerâmicos.....	18
Figura 7 – Forno padrão para queima de tijolos cerâmicos.....	20
Figura 8 – Pátio de armazenamento de material argiloso para cerâmica vermelha, Cerâmica Santa Catarina.....	22
Figura 9 – Blocos de cerâmica vermelha utilizados na const. de alvenaria.....	23
Figura 10 – Mapa de localização das áreas de exploração de argila.....	24
Figura 11 – Tubulação da draga no Rio Candeias, retirando material arenoso e água para o pátio de estocagem para procedimento de secagem.....	26
Figura 12 – Mapa de localização das principais áreas produtoras de areia.....	27
Figura 13 – Vista da produção de uma mina de granito em processo de britagem.....	29
Figura 14 – Posicionamento dos corpos de prova para aplicação da carga e determinação da resistência à compressão.....	44
Figura 15 – (a) Máquina de ensaios e (b) Posicionamento dos corpos de prova na e determinação da resistência à tração por compressão diametral .....	45
Figura 16 – Equipamento de TGA - Laboratório Físico-químico UFAM/AM.....	46
Figura 17 – RTCM da Cerâmica JK: Curva granulométrica e percentual de solo.....	49
Figura 18 – RTCM da Cerâmica Santa Catarina: Curva granulométrica e percentual de solo.....	49
Figura 19 – RTCM da Cerâmica Brasil: Curva granulométrica e percentual de solo.....	49
Figura 20 – Gráficos de TG/DTG de pastas de cimento e resíduos cerâmico...57	
Figura 19 – Diagrama de dosagem dos concretos de cimento Portland.....	71
Figura 21 – Diagrama de dosagem típico de uma família de concreto de mesmos materiais e mesma consistência.....	72
Figura 22 – Diagrama de Dosagem com a curva de custo no quarto quadrante, correlacionando resistência a compressão e custo de concreto por m <sup>3</sup> .....	73

# LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Propriedades dos principais elementos constituintes das argilas...	10
Quadro 2 – Composição mineralógica média típica de um clínquer de cimento..	14
Quadro 3 – Relação de percentuais de perdas das indústrias de cerâmica vermelha.....	19
Quadro 4 – Percentuais de perdas das indústrias por tipo de forno.....	20
Quadro 5 – Resumo da produção de tijolos das microrregiões.....	25
Quadro 6 – Dimensões das britas produzidas.....	29
Quadro 7 – Classificação normativa das pozolanas.....	31
Quadro 8 – Requisitos químicos para as pozolanas.....	31
Quadro 9 – Requisitos físicos para as pozolanas.....	32
Quadro 10 – Fontes dos resíduos cerâmicos.....	39
Quadro 11 – Métodos de ensaios.....	40
Quadro 12 – Elementos normativos para definição da dosagem.....	41
Quadro 13 – Resumo das dosagens dos concretos com substituição parcial de cimento por resíduos de tijolos cerâmicos moídos (RTCM).....	42
Quadro 14 – Corpos de prova para ensaios conforme a origem do RTCM.....	43
Quadro 15 – Resistência à compressão axial dos corpos de prova.....	50
Quadro 16 – Resistência mecânica à tração por compressão diametral – 1º Ensaio – 28º dia.....	52
Quadro 17 – Resistência mecânica à tração por compressão diametral – 2º Ensaio – 3º dia.....	53
Quadro 18 – Resistência mecânica à tração por compressão diametral – 2º Ensaio – 7º dia.....	54
Quadro 19 – Resistência mecânica à tração por compressão diametral – 2º Ensaio – 28º dia.....	54
Quadro 20 – Resultados dos ensaios de durabilidade dos concretos.....	55
Quadro 21 – Abatimento recomendado para vários tipos de construção.....	74
Quadro 22 – Classes de consistência para o concreto.....	75
Quadro 23 – Classes de agressividade e a qualidade do concreto.....	76
Quadro 24 – Condições de preparo do concreto.....	78

# LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

AASTHO – American Association of State Highway and Transportation Officials.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ACI – American Concrete Institute.

AFGC – Association Francaise de Génie Civil (fusão em 1998 das AFPC e AFREM).

ASTM – American Society for Testing and Materials.

a.C. – antes de Cristo.

CSI – Cement Sustainability Initiative do World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

cm – centímetro.

m<sup>2</sup>/g – metro quadrado por grama, unidade de superfície específica.

mm – milímetro.

µm – micron metro, a milionésima parte do metro (10<sup>-6</sup>).

M.I.T. – Instituto de Tecnologia de Massachusetts.

MPa – megapascal.

NBR – Norma Brasileira.

nm – nanômetro, a bilionésima parte do metro (10<sup>-9</sup>).

Al – alumínio

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – tri óxido de alumínio – alumina.

Ca(OH)<sub>2</sub> – hidróxido de cálcio.

CH – hidróxido de cálcio. (Notação cimentícia).

CO<sub>2</sub> – dióxido de carbono – gás carbônico.

CP – cimento Portland.

C-S-H – silicato de cálcio hidratado.

Fe – ferro.

H – hidrogênio.

H<sub>2</sub>O – água.

K – potássio.

IP – Índice de Plasticidade.

IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto.

LL – Limite de Liquidez.

LP – Limite de Plasticidade.

Mg – magnésio.

O – oxigênio.

OH – hidroxila.

Si – silício.

SiO<sub>2</sub> – dióxido de silício – sílica.

SNIC – Sindicato da Indústria Nacional do Cimento.

°C – grau Celsius, medida de temperatura, no Sistema Internacional (SI).

GJ – giga joule, unidade de energia mecânica ou trabalho, no Sistema Internacional (SI).

RILEM – Rede Internacional de Laboratórios de Ensaios de Materiais.

RTCM – resíduos de tijolos cerâmicos moídos.

# SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE QUADROS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS.....	xi
SUMÁRIO.....	xiii
1.0 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Justificativa.....	2
1.2 – Objetivos.....	3
1.2.1 – Objetivo geral.....	3
1.2.2 – Objetivos específicos.....	3
1.3 – Estrutura do trabalho.....	4
2.0 – REVISAO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 – Características das argilas.....	6
2.1.1 – Características química e mineral da argila.....	6
2.1.2 – Caracterização física da argila.....	9
2.1.3 – Produtos industriais de argilas como matéria-prima.....	11
2.2 – Evolução tecnológica do cimento.....	13
2.3 – Resíduo de tijolo cerâmico.....	17
2.4 – Materiais de construção da região de Porto Velho.....	21
2.4.1 – Argilas e tijolos cerâmicos.....	22
2.4.2 – Areia natural lavada.....	26
2.4.3 – Brita – rocha industrializada.....	28
2.5 – Reação pozolânica.....	30
2.6 – Concreto e argamassa.....	33
2.7 – Dosagem do concreto.....	36
3.0 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1 – Materiais – descrição.....	38
3.1.1 – Cimento.....	38
3.1.2 – Areia.....	38
3.1.3 – Brita.....	38
3.1.4 – Água.....	39
3.1.5 – Cerâmica vermelha.....	39
3.2 – Métodos e ensaios.....	40

3.2.1 – Caracterização dos materiais.....	40
3.2.2 – Definição da dosagem racional.....	40
3.2.3 – Resíduo de tijolo cerâmico moído.....	43
3.2.4 – Resistência à compressão.....	44
3.2.5 – Resistencia à tração por compressão diametral.....	44
3.2.6 – Absorção de água, índice de vazios e massa específica.....	45
3.2.7 – Ensaio de Termogravimetria.....	46
4.0 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1 – Características dos materiais.....	47
4.1.1 – Areia lavada natural.....	47
4.1.2 – Brita – rocha industrializada.....	47
4.1.3 – Resíduos de tijolos cerâmicos moídos.....	48
4.2 – Caracterização física e mecânica dos concretos.....	50
4.2.1 – Resistência mecânica à compressão axial.....	50
4.2.2 – Resistência à tração por compressão diametral.....	52
4.2.3 – Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica.....	55
4.2.4 – Resultados dos ensaios de Termogravimetria.....	57
4.2.5 – Considerações sobre os ensaios.....	58
5.0 – CONCLUSÕES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
ANEXOS.....	68
ANEXO A – Fundamentos sobre a dosagem do concreto.....	69
ANEXO B – Tabelas de referência adotada na dosagem do concreto.....	79
ANEXO C – Memória da dosagem do concreto para ensaio.....	83
ANEXO D – Dosagem base e com adições de RTCM.....	85
ANEXO E – Ensaio dos agregados – brita 1 e areia natural lavada.....	86
ANEXO F – Ensaio de determinação da massa específica, absorção de água e índice de vazios.....	88
ANEXO G – Ensaio de resistências à compressão e tração por compressão diametral.....	91
ANEXO H – Ensaio dos resíduos de tijolos moídos para massa real e granulometria por sedimentação.....	96
ANEXO I – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	99

# 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma atividade humana que remonta aos seus primórdios civilizatórios pela necessidade básica de proteção, quando exposto as intempéries naturais, proteção contra outros predadores e obtenção de utensílios. Isaia (2010), considera que a argila foi o primeiro material manipulado intencionalmente pelo homem ao redor do oitavo milênio a.C., por meio de operação de queima, que transformava um solo coeso, moldável e úmido em outro sólido com resistência. Dessa forma, tornou-se possível a fabricação de utensílios domésticos e outros artefatos que tiveram grande impacto sobre a vida da sociedade daquela época, constituindo-se a cerâmica, “coisa queimada”, num marco inicial civilizatório.

Melo Filho (2012), informa que também outros animais manipularam os mesmos materiais argila e madeira (fibras) para se protegerem contra as intempéries e predadores. Realce para pássaros e castores. Destaca-se como evolução o ancestral tijolo de adobe (composto de terra crua misturado com palha seca, e exposto ao tempo), material de construção ainda atualmente utilizado em regiões carentes.

Para Isaia (2010), as cerâmicas tradicionais são produtos de custo relativo baixo e apresentam como desvantagem massa relativamente elevada, consequência derivada da densidade dos compostos a base de sílica. Das cerâmicas tradicionais a mais relevante e representativa para a construção civil é a cerâmica vermelha responsável pela produção de telhas, tijolos, manilhas e blocos.

Segundo De Santis (2012), nos últimos anos do século XIX e início do XX houve um processo de especialização nas empresas cerâmicas, o que gerou uma separação entre olarias (produtoras de tijolos e telhas) e “cerâmicas” (produtoras de itens mais “sofisticados”, como manilhas, tubos, azulejos, louças, potes, talhas etc.).

A matéria-prima para a obtenção dos produtos cerâmicos, resultantes do processamento da argila, são minerais dos mais abundantes na

crosta terrestre. Destaque para o óxido de silício ( $\text{Si}_x\text{O}_y$ ), conhecidos como silicatos, que estão presentes em minerais que pela abundância desses materiais na natureza, chegam a somar cerca de 75% dos componentes minerais presentes na crosta terrestre, e, conseqüentemente, pelo seu amplo emprego como matéria-prima de materiais de construção (CASCUDO, CARASEK, HASPARYK, 2010).

Conforme Kazmierczak (2010), “As cerâmicas são obtidas a partir do tratamento térmico de materiais inorgânicos, não metálicos, em temperaturas elevadas. Caso da cerâmica vermelha, a matéria-prima utilizada para a fabricação é a argila.”

## 1.1 Justificativa

O crescimento da população bem como o aumento das áreas urbanas e as infraestruturas complementares exigirão quantidades crescentes de materiais de construção, especialmente os estruturais, para atender essas necessidades. Isto implica na contínua exploração de jazidas de matérias-primas e seu conseqüente processamento.

Para Metha e Monteiro (2014), o concreto é o produto industrial mais utilizado pela sociedade, e em 2010 a produção anual atingiu 33 bilhões de toneladas, o que consumiu cerca 3,7 bilhões de toneladas de clínquer de cimento Portland e 27 bilhões de toneladas de agregados, bem como 2,7 bilhões de toneladas de água e alguma quantidade de aditivos e energia consumida na sua elaboração, cerca de 4 GJ por tonelada de cimento, é responsável ainda pela emissão global de 7% de  $\text{CO}_2$  na atmosfera.

A indústria cimenteira tem absorvido rejeitos industriais dos mais diversos segmentos da atividade econômica, seja para aquecimento de forno, através de pneus usados e descartados, e como adições minerais, ao clínquer Portland, resultantes de rejeitos siderúrgicos – escória de alto-forno e resíduos de carvão mineral utilizados em termoelétricas – cinza volante.

Enquanto que John (2011), entende que a produção de materiais cimentícios implica no fluxo constante de uma grande quantidade de materiais, e estudos de fluxos dos materiais são ferramentas fundamentais para entendimento, não apenas dos impactos ambientais, mas também para planejamento setorial e estudos econômicos.

Outra singularidade é o que representa a indústria da construção civil, como a sua fábrica é o canteiro de obras, não obstante parte significativa dos seus componentes construtivos advirem de fábricas convencionais estabelecidas, caracterizando-se como uma indústria que sofre o ônus de ser uma fonte permanente de desperdício e ao mesmo tempo absorvedora natural de mão de obra desqualificada, portanto, a conjugação de dois fatores deletérios nas atividades humanas, mas desafiador para superar as vicissitudes.

Diante da abordagem geral de atividades da indústria da construção, o presente estudo é um esforço complementar, naquilo que é do conhecimento especializado do assunto, a propor uma contribuição no âmbito local ou regional, do uso de resíduos de tijolos cerâmicos, obtidos na indústria local, entendido como material pozolânico, como adição mineral em produtos cimentícios, tendo cimento Portland como aglomerante.

Delimitado na verificação da capacidade do resíduo de tijolo cerâmico moído reagir com componente – portlandita – do aglomerante na mistura para obtenção de concretos.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Verificar a viabilidade técnica do aproveitamento de resíduo de tijolo cerâmico moído produzido na cidade de Porto Velho/RO em substituição parcial do cimento Portland na confecção de concreto.

### 1.2.2 Objetivos específicos:

- Caracterizar os materiais de jazidas de argilas utilizadas na fabricação dos tijolos cerâmicos da região de Porto Velho/RO.

- Caracterizar o resíduo cerâmico calcinado como material pozolânico, quanto aos requisitos químicos e físicos, segundo as normas técnicas ABNT NBR 5752:2014 e NBR 12653:2014.
- Determinar os traços de concreto e argamassa para adição mineral de resíduos cerâmicos de tijolos nas proporções de 10%, 20% e 30%, em substituição parcial ao cimento Portland.
- Avaliar o desempenho, principalmente quanto a resistência mecânica dos concretos dosados, com base aglomerante de cimento Portland.

### 1.3 Estrutura do trabalho

A elaboração do trabalho consiste na seguinte disposição:

No 1º Capítulo contém uma breve exposição do assunto no aspecto global, com sua justificativa temporal e circunstancial em manifestas preocupações com o desperdício, o consumo extraordinário, a preservação e a reciclagem dos recursos naturais.

O capítulo 2º abrange informações concisas sobre a história do cimento, conceitos gerais sobre o concreto, a natureza do resíduo de tijolo cerâmico como material pozolânico, portanto reativo, e matérias básicas de construção da região de Porto Velho, com menções de estudos diversos, feitos por estudiosos do assunto, com intenções similares, inclusive resultados e sua inclusão em compósitos de materiais cimentícios.

Para o 3º Capítulo são abordados os materiais utilizados, obtidos no mercado da construção civil de Porto Velho e os métodos laboratoriais experimentais adotados para respaldar e entender o processo de obtenção do compósito.

Quanto ao 4º Capítulo da dissertação estão descritos e discutidos os resultados obtidos nos exames laboratoriais a que foram submetidos os materiais da dosagem e o compósito obtido.

O 5º Capítulo corresponde às conclusões sobre as experiências efetuadas e pelos materiais manipulados.

Em seguida tem-se a relação bibliográfica consultada para atender a dissertação.

E estão nos anexos conceitos básicos da dosagem, as tabelas complementares de composição da dosagem e ensaios realizados sobre os materiais e traços dimensionados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

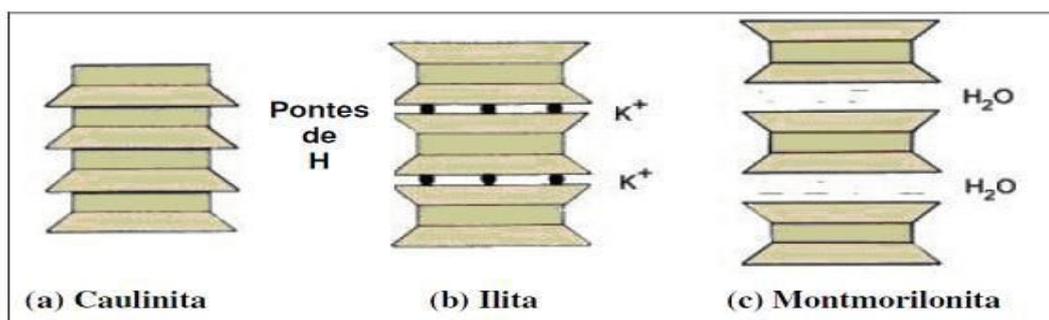
### 2.1 Características das argilas

#### 2.1.1 Características química e mineral da argila

A argila é um material natural, terroso, de baixa granulometria (com elevado teor de partículas com diâmetro inferior a  $2\ \mu\text{m}$ ), que apresenta plasticidade quando misturado com quantidades adequadas de água. As argilas são provenientes da decomposição de rochas. São constituídas por argilominerais, podendo conter entre outros minerais como quartzo, feldspato, mica, pirita e hematita, além de matéria orgânica e outras impurezas.

Os maiores grupos de argilominerais encontrados na natureza são a caulinita, a illita e a montmorilonita. A argila caulinita é utilizada para confecção de materiais refratários, enquanto as argilas illita e a montmorilonita são mais adequadas para a fabricação de cerâmica vermelha.

Os principais elementos constituintes dos argilominerais são a alumina, os compostos de cálcio e magnésio, a matéria orgânica, a sílica, silicatos e fosfatos e os sais solúveis. A Figura 1 apresenta as estruturas cristalinas das argilas. E que também são responsáveis por propriedades representativas, ou seja, plasticidade, viscosidade e resistência mecânica.

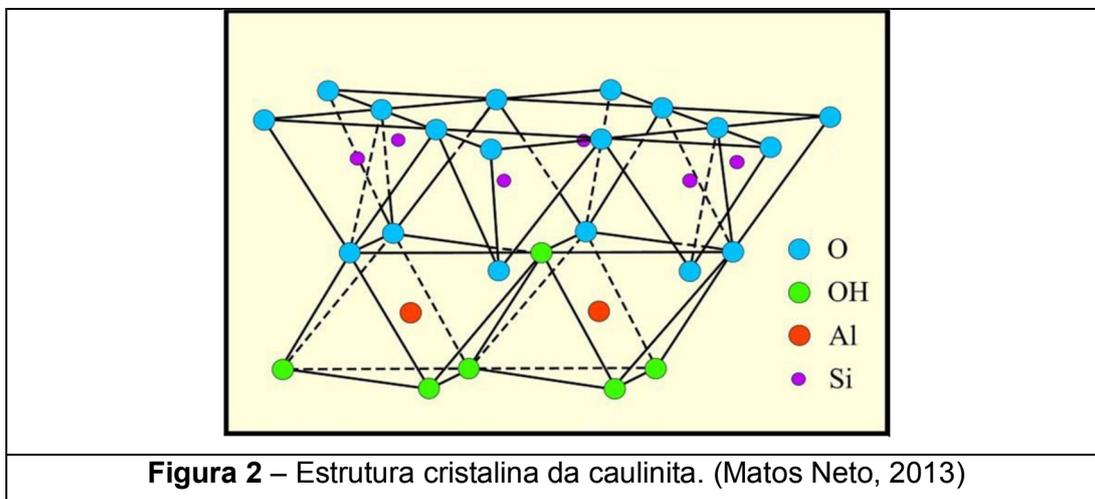


**Figura 1** – Representação esquemática de camadas argilominerais. (Matos Neto, 2013)

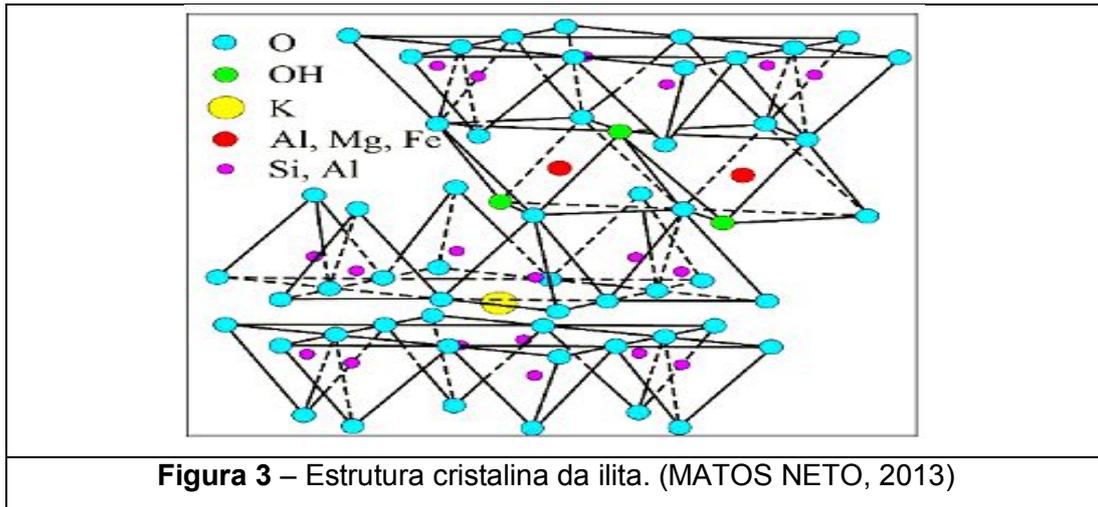
No exame microscópico das argilas são estruturas laminares superpostas que nos grupos minerais encontrados se diferenciam nas camadas

que formam, que determinam os padrões encontrados e definem suas características e propriedades.

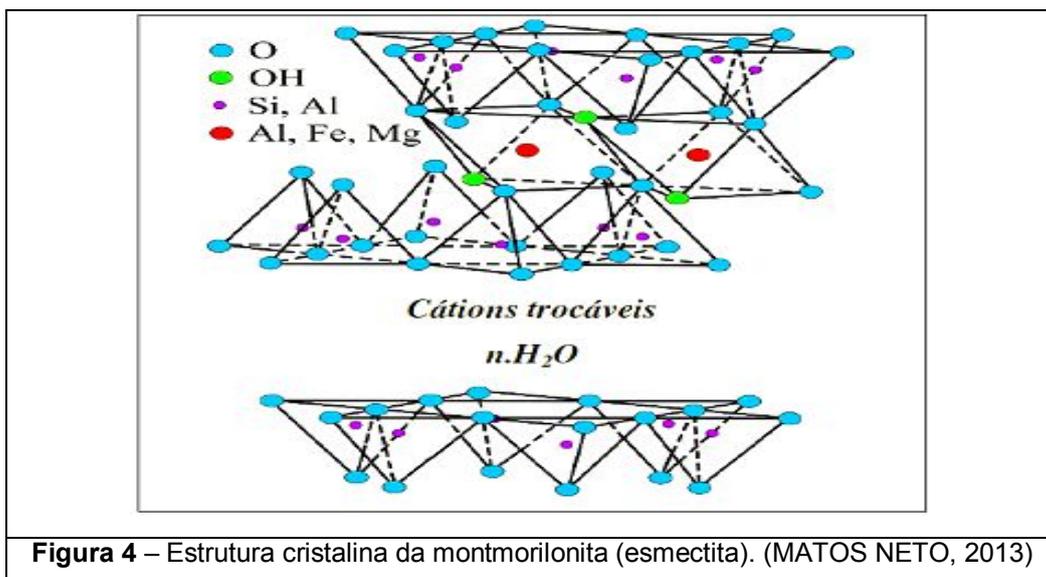
**Caulinita** – A norma ABNT NBR 6502:1995 informa ser um alumínio silicato hidratado, caracterizado por estrutura lamelar formada pelo empilhamento regular de camadas de sílica e alumínio. As lamelas de argila são compostas de uma camada de tetraedros de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) ligada a outra camada de octaedros de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), constituindo uma estrutura tipo 1–1, como representada na Figura 2. Apresenta  $20 \text{ m}^2/\text{kg}$  de superfície específica, logo é uma argila de baixa atividade. É estável na presença de água e não apresenta expansão significativa. (BARBOSA E GHAVAMI, 2010).



**Ilita** – Segundo a norma técnica ABNT NBR 6502:1995 é um argilomineral do grupo das micas hidratadas, formadas por lamelas que são constituídas por dois estratos. Origina-se das micas por degradação (perda de potássio e ganho de água), sem modificações estruturais. A estrutura espacial, conforme a Figura 3, as lamelas são formadas por uma camada octaédrica de alumina envolvida por duas camadas tetraédricas de sílica, constituindo uma estrutura tipo 2–1. Íons de magnésio ou de ferro podem substituir, em parte, o alumínio da camada central, assim como íons de alumínio podem substituir o silício na camada silicosa. Tem a superfície específica de  $80$  a  $100 \text{ m}^2/\text{kg}$ , logo é uma argila de média atividade. Não são estáveis em contato com a água, sendo um pouco expansiva. (BARBOSA E GHAVAMI, 2010). Diferenciam-se das montmorilonita por possuírem mais alumínio que silício, (GONCALVES, 2005).



**Montmorilonita** – Consta na norma técnica ABNT NBR 6502:1995, ser um argilomineral formado por lamelas constituídas por um estrato de octaedros de alumínio entre dois estratos de tetraedros de sílica. Mas dentro da camada octaédrica central, os íons de alumínio podem ser permutados por íons de outros elementos químicos, como magnésio, ferro, manganês, níquel. As lamelas são fracamente ligadas eletricamente, e os íons que ligam a estrutura de argila não são mais de potássio, porém cátions de sódio, de cálcio e moléculas de água. A água penetra com facilidade entre as lamelas, portanto, não são estáveis na presença de água. Apresenta notável expansão em contato com a água. Dispõe de 800 m<sup>2</sup>/kg de superfície específica, logo o grão é menor que as caulinitas, então é argila de alta atividade. A Figura 4, mostra o desenho espacial atômico cristalino das esmectitas. (BARBOSA E GHAVAMI, 2010).



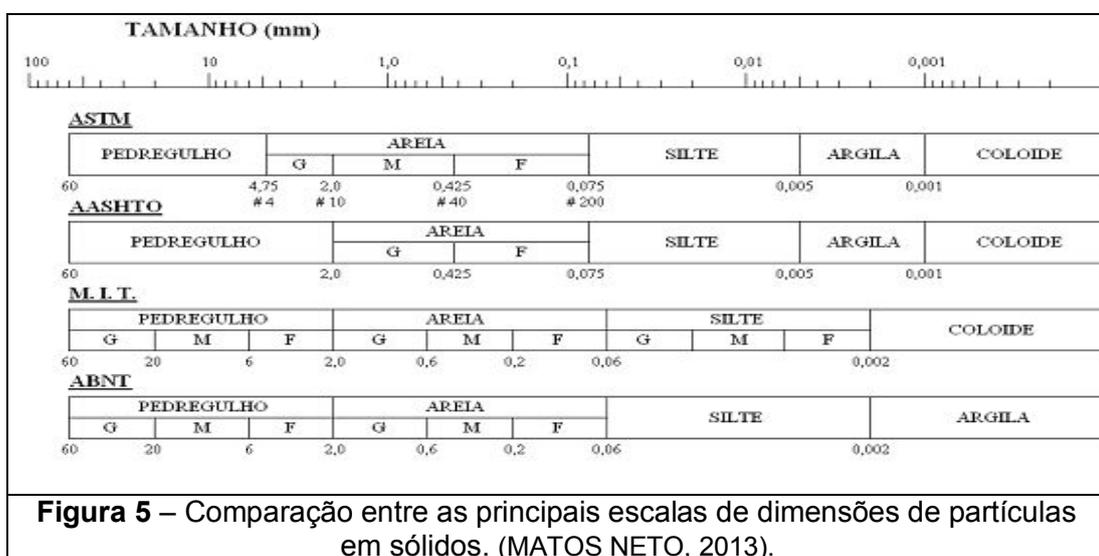
Dentre os demais minerais existentes na argila, são comuns o quartzo, os compostos de ferro (existentes em argilas para cerâmica vermelha, mais de 5% da composição química), os carbonatos, a mica e os feldspatos.

## 2.1.2 Caracterização física da argila

A caracterização física da argila é realizada a partir da determinação da distribuição granulométrica e dos índices de plasticidade da argila.

### Distribuição granulométrica da argila:

A matéria-prima utilizada para a produção de cerâmica vermelha é constituída, geralmente, por partículas com dimensões entre 50 nm e 1 cm. A fração inferior a 2 µm, denominada fração argilosa, é a que exerce maior influência nas propriedades da cerâmica vermelha. A classificação granulométrica da argila é estabelecida conforme a referência da fonte, a norma técnica ABNT NBR 6502:1995, define a argila como solo de granulação fina, constituído por partículas com dimensões menores que 0,002 mm, apresenta coesão e plasticidade. As dimensões dos diferentes tipos de solos, que são materiais provenientes da decomposição de rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, pode ou não conter matéria orgânica, constituídos pelas argilas, siltes, areias e pedregulhos, constantes da Figura 5, conforme as fontes normativas de referência que regulam estes tipos de materiais.



## Plasticidade da argila:

Na definição de Kazmierczak (2010), plasticidade é a propriedade que um sistema rígido possui de se deformar, sem se romper quando submetido a uma determinada força, e de manter essa deformação após a retirada da força.

Para Kazmierczak (2010), a plasticidade é fundamental para as argilas destinadas a produção de cerâmica vermelha, uma vez que elas, normalmente, são moldadas por extrusão. Mas seus elementos constituintes básicos, como relacionados no Quadro 1, podem influenciar a deformação das argilas, portanto sua plasticidade, tipo a sílica livre.

Na fabricação da cerâmica vermelha, procura-se determinar a mínima quantidade de água necessária para permitir uma moldagem adequada, uma vez que teores excessivos de água poderão gerar elevadas contrações durante as etapas de secagem e queima (resultando em deformações e fissuras) e um aumento da porosidade da cerâmica, com conseqüente perda de resistência mecânica e aumento de permeabilidade a água.

**Quadro 1** – Propriedades dos principais elementos constituintes das argilas

Elementos	Principais propriedades
Alumina	Propicia estabilidade dimensional em temperaturas elevadas.
Carbonato e sulfato de cálcio e magnésio	Resultam em expansão volumétrica, e agem como fundentes.
Matéria orgânica	Resultam em retração, fissuras durante os processo de sazonalamento e queima e diferenças de coloração em um mesmo componente cerâmico.
Sílica livre	Diminui a retração durante os processos de sazonalamento e queima; reduz a plasticidade da argila.
Silicatos e fosfatos	São fundentes, alguns aumentam a resistência da cerâmica.
Sais solúveis	Propiciam o aparecimento de eflorescências nos componentes cerâmicos.

Fonte: Produtos de Cerâmica Vermelha, Kazmierczak, C.S., Materiais de Construção, Ibracon (2010).

### 2.1.3 Produtos para construções de argilas como matéria-prima

O material industrial obtido pelo processamento elementar da argila é o tijolo cerâmico, muito utilizado na construção civil, seja como elemento essencial de vedação e compartimentação de ambientes, como, também, quando designado como bloco assume o caráter estrutural, ou seja, como elemento de sustentação da construção, conforme for seu dimensionamento e o material cerâmico utilizado neste padrão construtivo.

No aspecto estrutural o tijolo concorre com o bloco de concreto, a diferença está na normatização e no emprego do cimento Portland, o que não ocorre com o tijolo cerâmico, por ser constituído apenas de argila, ou se precisar da adição de outros tipos de solos como o silte ou a areia, desde que não comprometa às características básicas de moldagem e coesão, isto é, propriedades de plasticidade inerentes às argilas.

A produção de tijolos cerâmicos é uma indústria convencional e presentes nos aglomerados urbanos, cujas matérias-primas utilizadas são de fácil obtenção, e na região de Porto Velho ocorre em abundância. Os materiais básicos usados na sua fabricação são argila e água, que após manipulação básica, restrita a limpeza, ou seja, retirada de materiais orgânicos e outros componentes inconvenientes, são homogeneizados com água e passados na “maromba”, equipamento extrusivo e de prensagem para dar forma transversal e consistência e ainda o corte para definir o comprimento do produto. Em seguida são colocados a secar, ao ar livre, em prateleiras rústicas sob coberturas, próximos aos fornos para aproveitar o calor. Conduzidos ao forno para a queima, que se dá em 3 etapas: a 1ª é o aquecimento dura de 8 a 13 horas e chega 650°C; na 2ª a temperatura atinge a 1200°C, é a fase das reações que conferem as propriedades do tijolo e se mantém por alguns dias, para uniformizar a temperatura alta no forno; e em 3º o resfriamento gradativo, de 24 a 36 horas, conforme as olarias cujos os tijolos foram utilizados nesta pesquisa.

Os resíduos de tijolos moídos podem ser utilizados como adição em concreto e argamassa. Tidos como integrantes dos materiais pozolânicos

artificiais, por se tratarem de materiais cerâmicos moídos, realce para o estado finamente moído, são estudados há tempos em concreto e foram denominados de cimento vermelho de Potter, o qual era utilizado nas obras expostas a ação das águas, sendo elas de origem marinhas ou não. (ZAMPIERI, 1993).

Segundo Zampieri (1993), as pozolanas de argilas calcinadas são produtos artificiais obtidos pela calcinação de materiais argilosos específicos. A reatividade desses materiais é devida a desordem provocada no retículo cristalino dos argilominerais, pelo aquecimento dos mesmos. O tipo e teor dos argilominerais presentes no material de partida e as condições de calcinação são, portanto, fatores fundamental para a qualidade da pozolana obtida.

Para Zampieri (1993), o termo “pozolana” tem sido utilizado para designar materiais de origens e características mineralógicas diversas, os quais entretanto atendem a dois requisitos básicos:

- Reagem com hidróxido de cálcio – CH (portlandita) em condições normais de temperatura e pressão;
- Desenvolvem, a partir dessa reação, produtos com propriedades cimentícias e insolúveis em água.

Também Zampieri (1993) diz que a máxima atividade pozolânica da caulinita é obtida pela calcinação a temperaturas entre 550°C a 950°C.

Entretanto, argilas e folhelhos não apresentarão uma reatividade considerável com cal a menos que as estruturas cristalinas dos minerais argilosos presentes sejam destruídas por tratamento térmico. Temperaturas da ordem de 600 a 900°C, em fornos rotativos movidos a óleo, gás ou carvão podem ser necessárias. A atividade pozolânica do produto normalmente se deve a estrutura amorfa ou desordenada de aluminossilicato de argila resultante do tratamento térmico. Metacaulinita é uma pozolana de reatividade intensificada por calcinação e pelo processo de moagem do material calcinado. ***Deve-se ter claro que o tratamento térmico de argilas e folhelhos, que contém quantidades grandes de quartzo e feldspato, não produzem uma boa***

***pozolana. Em outras palavras, a pulverização de blocos de argila queimada feitos de qualquer argila pode não produzir uma adição mineral adequada para concreto*** (METHA e MONTEIRO, 2014, grifei).

## 2.2 Evolução tecnológica do cimento

Para Neville e Brooks (2013), os antigos romanos foram, os primeiros a utilizarem um concreto (palavra de origem latina) baseado em um cimento hidráulico, que é um material que endurece pela ação da água. Essa propriedade e a característica de não sofrer alterações químicas pela exposição à água ao longo do tempo são as mais importantes e contribuíram para difundir o uso do concreto como material de construção. O cimento romano caiu em desuso, e somente em 1824 o cimento moderno, conhecido como cimento Portland, foi patenteado por Joseph Aspdin, um construtor de Leeds.

Continuam Neville e Brooks (2013), cimento Portland é o nome dado ao cimento obtido pela mistura íntima de calcário, argila ou outros materiais silicosos, alumina e materiais que contenham óxido de ferro. Essa mistura é queimada a temperatura de clínquerização, sendo o material são baseadas nestes princípios: nenhum material, além de gipsita (sulfato de cálcio), água e agentes de moagem, deve ser adicionado após a queima.

Enquanto que Mehta e Monteiro (2014), destacam o papel exercido pela obtenção industrial do cimento e suas consequências para o meio ambiente em que o cimento Portland, o principal aglomerante hidráulico usado nas misturas do concreto moderno, é um produto industrializado que é grande consumidor de energia 4 GJ/tonelada.

A fabricação de uma tonelada de clínquer de cimento Portland, libera em média 1 tonelada de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. A produção mundial anual é estimada em quase 4 bilhões de toneladas de cimento, sendo o cimento Portland a sua maior parte, é responsável por cerca de 5 a 7% do total de emissões de CO<sub>2</sub> no mundo. (SNIC, 2015).

Na abordagem sucinta de Battagin (2011), o principal constituinte do cimento Portland é o clínquer Portland, material resultante da calcinação a aproximadamente 1450°C de uma mistura de calcário e argila e eventuais corretivos químicos de natureza silicosa, aluminosa ou ferrífera. Como forma de proporcionar a formação de compostos hidráulicos e conferir propriedade ligante do cimento Portland.

Para a fabricação do clínquer Portland, o material de partida deve conter, em sua composição química, os óxidos principais do clínquer, quais sejam: CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. O calcário (75% a 80%) e a argila (20% a 25%) são as matérias-primas comuns do clínquer. Eventuais aditivos corretivos, como o minério de ferro, a areia, a bauxita, são utilizadas.

Após a obtenção dos componentes minerais desenvolve-se então a britagem das matérias-primas, isto é, moagem e homogeneização, com posterior queima por volta de 1450°C em forno rotativo, em seguida de resfriamento rápido no resfriador industrial. Está obtido o clínquer. Cujas composição mineral, química e denominação trivial estão no Quadro 2.

Dois tipos principais de processo de homogeneização para posterior calcinação e obtenção do clínquer são empregados: os processos via úmida e por via seca. No processo de via úmida há adição de 40% de água, gerando uma pasta, o que requer maior consumo energético na calcinação. O processo por via seca, embora mais complexo, consome cerca da metade do poder calorífico necessário para o forno via úmida. A via seca representa 90% dos fornos no Brasil, informa o (SNIC, 2015).

**Quadro 2** – Composição mineralógica média típica de um clínquer de cimento Portland, (A NONAT 2014).

Constituinte	Notação cimentícia	Fórmula bruta em óxidos	% em massa das diferentes fases do clínquer	Nome simplificado
Silicato tricálcico	C <sub>3</sub> S	Ca <sub>3</sub> SiO <sub>5</sub>	60 – 65	Alita
Silicato dicálcico	C <sub>2</sub> S	Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	10 – 20	Belita
Aluminato tricálcico	C <sub>3</sub> A	Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	8 – 12	Celita
Ferro aluminato tetracálcico	C <sub>4</sub> AF	Ca <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> Fe <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	8 – 10	Brownmillerita

Fonte: Durabilidade do Concreto – A hidratação dos cimentos. A Nonat (2014), adaptado.

Obtido o clínquer Portland, cujas dimensões médias variam de 2 a 25 mm, e após ser moído e misturado com uma pequena quantidade de sulfato de cálcio ou gesso ou gipsita, em torno de 1 a 5%. A composição mineral determina como resultado o cimento Portland comum, ou cimento anidro, que é um pó composto de partículas angulares com dimensões que variam normalmente de 1 a 50  $\mu\text{m}$ .

Neville e Brooks (2013), depreendem que os silicatos alita e belita são os compostos mais importantes, pois são responsáveis pela resistência da pasta de cimento hidratada. A celita no cimento é indesejável, pois contribui pouco ou nada para a resistência, exceto nas primeiras idades, e quando a pasta endurecida por ser atacado por sulfatos, formando o sulfoaluminato de cálcio (etringita) que pode causar a desagregação do concreto. A brownmillerita também não afeta o comportamento do cimento hidratado, mas pode reagir com a gipsita para formar o sulfoferrito de cálcio que pode acelerar a hidratação dos silicatos.

O cimento é um material seco, finamente pulverizado, que por si só não é um aglomerante, mas desenvolve propriedade aglomerante como resultado de hidratação (isto é, de reações químicas entre os minerais do cimento e água).

Silicatos de cálcio hidratados formados durante a hidratação do cimento Portland são os principais responsáveis por sua característica aglomerante e são estáveis no ambiente aquoso. (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Enquanto que A Nonat (2014), informa que o cimento é um material de tal modo usual que todos pensam conhecer. É empregado, de fato, para produzir o concreto, o material de construção mais utilizado no mundo. A razão está no seu baixo custo, na facilidade de lançamento e disponibilidade praticamente universal. É suficiente, de fato, misturar um pouco do pó com água, areia e brita para se obter, a temperatura ambiente e em algumas horas, um material endurecido. Todos os processos físico-químicos na base dessa transformação não são completamente conhecidos, sendo objeto de pesquisas.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), a água normalmente está presente em todo tipo de deterioração, e a facilidade com que penetra nos sólidos porosos determina a taxa de deterioração. No concreto, o papel da água tem de ser visto sob uma perspectiva adequada, porque, como é um ingrediente necessário para as reações da hidratação do cimento e atua como agente facilitador da mistura dos componentes do concreto, a água está presente desde o início. Gradualmente, dependendo das condições ambientais e da espessura do elemento de concreto, a maior parte da água evaporável (toda água capilar e uma parte da água adsorvida) é perdida, deixando os poros vazios e não saturados.

Christofolli (2010), interpreta que o termo “pega” se refere a fase inicial de endurecimento da pasta de cimento. O começo desta fase, denominado de início de pega, marca o estado em que a pasta perde a plasticidade e se torna não trabalhável. Da mesma forma as operações de lançamento, adensamento e acabamento dos concretos e argamassas podem ser orientadas através deste indicador. O tempo de pega é determinado nas normas brasileiras (NBR NM 65) pelo aparelho de Vicat, que mede o tempo após a adição de água na pasta, quando uma agulha de 1 mm<sup>2</sup> de área fica a 4 mm do fundo de um recipiente padrão sob a força exercida por 300 g de massa.

Com a formação dos sólidos microestruturais da pasta de cimento hidratada, após a cura, são constituídos componentes que representam as quatro principais fases sólidas na matriz cimentícia, como apresentam e discorrem Mehta e Monteiro (2014), sobre estas quatro fases predominantes que qualificam a composição funcional do cimento Portland como aglomerante.

- **Silicato de cálcio hidratada** – C-S-H – gel de tobermorita
- **Hidróxido de cálcio** – CH – portlandita
- **Sulfoaluminato de cálcio** – CASH – etringita
- **Grãos de clínquer não hidratado**

Para Mehta e Monteiro (2014), a resistência se encontra na parte sólida de um material, assim, vazios são prejudiciais a resistência. Logo a

relação água/cimento é importante na determinação tanto da porosidade da matriz e, portanto, na resistência do concreto. Mas fatores como adensamento e condições de cura (grau de hidratação do cimento), mineralogia e dimensão do agregado, tipos de aditivos, adições, condições de umidade e geometria do corpo de prova, tipo de tensão e velocidade de carregamento podem, também, ter efeito importante na resistência.

Desde o ano de 1888, data provável do início incipiente da fabricação do cimento Portland no Brasil, segundo Battagin (2011), ou do ano de 1924, tido como o marco da implantação da indústria brasileira de cimento, pois até então o consumo dependia exclusivamente do produto importado. Embora crescente a produção de cimento experimentou períodos de estagnação, especialmente em anos das décadas de 1980 e 1990, para atingir em 2014 a produção de mais de 71 milhões de toneladas, (SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, 2016), o que representa um consumo per capita aproximado de 370 kg/hab./ano.

## 2.3 Resíduo de tijolo cerâmico

Conforme descreve Melo Filho (2012), de maneira condensada, mas abrangente, que os pesquisadores tem verificado que a substituição de parte do cimento por aditivos minerais (microssílica, cinza volante, metacaulinita, resíduo cerâmico e outros) que tenham atividade pozolânica proporcionam uma estrutura de poros mais densa e, em consequência, aumento na resistência ao ataque químico, na resistência a compressão e na impermeabilidade nos componentes a base de cimento. A principal finalidade dessas adições minerais é promover reações pozolânicas, as quais consomem o hidróxido de cálcio (CH) formando o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), e atuar como *filler* aumentando a densificação da matriz.

Enquanto que, Goncalves (2005), informa diretamente que o uso de resíduos de tijolos cerâmicos como substituto parcial do cimento para argamassas e concretos tem sido objeto de recentes estudos por diversos autores. Variáveis importantes na avaliação do potencial dos resíduos são o tipo

de argila utilizado e o seu processo de produção. O tipo de argila utilizada é importante, uma vez que isto é o que define as composições químicas e mineralógicas dos resíduos. Com relação ao método de produção, a temperatura de calcinação, o tempo de residência e a uniformidade da temperatura no interior dos fornos podem afetar significativamente as características dos resíduos. Desta forma, a interação entre o tipo de argila utilizada, a temperatura e o tempo de residência são as variáveis que determinam o nível de atividade pozolânica do resíduo gerado. As indústrias cerâmicas brasileiras utilizam como matéria-prima, basicamente, as argilas ilíticas e portanto, a composição química dos resíduos gerados pode não apresentar grandes variações.

Como existe uma preocupação de âmbito internacional quanto a utilização da argila calcinada residual manifesto por Torgal e Jalali (2011), que ocorre na Europa os resíduos gerados pela indústria cerâmica ascendem a valores entre 3–7% da sua produção global, isto corresponde grosso modo a vários milhões de toneladas de argila calcinadas, que anualmente são levadas a depósitos em escombrelas, que são depósitos estéreis de rejeitos minerais sem valor econômico. E concluem que os resultados obtidos mostram que os betões (concretos) com substituição parcial de cimento por resíduos cerâmicos moídos apresentam desempenho melhorado em termos da sua durabilidade. A Figura 6 mostra descarte de cerâmica vermelha que possibilita potencial de reciclagem.



**Figura 6** – Resíduo de blocos cerâmicos. Fonte: Hansen *et al.* (2015).

Para Sales e Alferes Filho (2014), levantamento feito com os ceramistas dos municípios de Ituiutaba e Monte Carmelo, no Triângulo Mineiro (Minas Gerais), resultou em um percentual de quebra do produto que alcançou 15% da produção total. Além disso, esse estudo indicou, como percentual mínimo possível de geração de resíduos, nessas indústrias, alcança a quantidade total de 3%. Outros autores (Senthamarai e Monaharan, 2005), chegam a estimar cerca de 30% da produção é descartada como resíduos. E ainda que em pesquisa realizada no Estado do Rio de Janeiro, em 2004, a pedido da Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER), em conjunto com organizações paraestatais como SEBRAE, SENAI, SINDICER-RJ, chegaram a um percentual de perdas na indústria cerâmica de 10%, embora o universo pesquisado alcançasse 27,59% das empresas existentes na época. Há ainda a relação com o tipo de forno para determinar perdas de produção na indústria da cerâmica vermelha, como consta no Quadro 4.

Embora os dados sobre os resíduos na produção de cerâmica vermelhas sejam divergentes e díspares variando de 1,6 a 30%, diante das informações contidas no Quadro 3, são uma referência para ser utilizado na análise e poder inferir que se trata de um volume de dimensões consideráveis, que merece a atenção quanto a utilização destes rejeitos, que via de regra, são destinados as escombreiras ou depósitos de estéreis mineral.

**Quadro 3** – Relação de percentuais de perdas das indústrias de cerâmica vermelha.

<b>Autor</b>	<b>Geração de resíduo cerâmico calcinado (%)</b>
Dias (2004)	30
Vieira, Souza e Monteiro (2004)	10
Viera (2005)	10
Saboya (2000) apud Désir et.al (2005)	10
Gonçalves (2005)	30
Senthamarai e Monaharan (2005)	30
Sindicer/RS (2008)	15
EELA (2013)	20
Sales e Alferes Filho (2014)	1,6
Torgal e Jalali (2011) – Europa	3 a 7
Cerâmicas de Porto Velho (2015)	3

Fonte: Aplicação de Resíduo Cerâmico Calcinado como Pozolana – Uma Revisão Bibliográfica – Hansen *et al.* (2015) – Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. Adaptado.

Outra referência, segundo Hansen *et al.* (2015), são rejeitos oriundos dos tipos de fornos utilizados para obtenção da cerâmica vermelha, que de acordo com o formato pode influir nas perdas durante o processo de queima, o que resulta no Quadro 4, a proporcionar dados que conferem a relação desperdício e tipo de forno. Em Porto Velho os fornos têm a forma abobadado redondo sobre uma base retangular de tijolos maciços com argamassa feitos nos próprio local e do mesmo material do tijolo comercial.

**Quadro 4** – Percentuais de perdas das indústrias de cerâmica por tipo de forno.

Relação entre forno e geração de resíduo							
Tipo de forno	Caieiras	Caipira	Abobada redondo	Câmaras	Hoffmann	Cedan	Túnel
Autor	Dias (2004)			EELA (2013)			
Resíduo cerâmico (%)	30	10 – 20	~ 2	~ 2	~ 1	~ 1	< 1

Fonte: Aplicação de Resíduo Cerâmico Calcinado como Pozolana – Uma Revisão Bibliográfica – Hansen *et al.* (2015) – Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. Adaptado.

O simples descarte não é uma atitude conveniente, dada as possibilidades que o material, considerado como perda, pode ser aproveitado, no mesmo segmento industrial. Conforme Sales e Alferes Filho (2014), a reciclagem desses resíduos possibilita na construção civil: a produção de pó de cerâmica vermelha moída, que, dotado de atividade pozolânica, pode se constituir numa adição ativa para concretos e argamassas, e substituir parcialmente o aglomerante (cimento e cal). A Figura 7 mostra o forno abobadado padrão para queima tijolos cerâmicos, cuja fonte energética é descarte de madeira das serrarias da região.



**Figura 7** – Forno padrão para queima de tijolos cerâmicos da Cerâmica JK, (2015).

Objeto intencional de uso como adição mineral ao concreto e argamassa, como substituto parcial do aglomerante o resíduo cerâmico na forma de tijolo moído – RTCM, processo de obter a argila calcinada, como lembrado por Carles-Gibergues e Hornain, (2014), no contexto de abordagem sobre a durabilidade do concreto com “**Tijolo moído**: Bektas *et al.* mostraram que este material, já utilizado pelos romanos como pozolana artificial, e igualmente apto a combater os efeitos da reação álcali-agregado. A substituição de 35% de cimento por tijolo moído em argamassas contendo areias reativas provocou reduções de expansão de 78% a 81%.”

Gonçalves (2005), confirma que concreto contendo mistura binária de resíduo cerâmico (20%) apresentou: maior capacidade de deformação; não influenciou a resistência a compressão do concreto aos 28, 90 e 180 dias; redução até 12% no módulo de elasticidade; não houve variação na resistência à tração por compressão diametral e nem na flexão do concreto, independente da relação a/mc; não influenciou na porosidade total; redução na penetração de íons cloreto e também de água; maior resistência ao ataque químico por sulfato de magnésio; redução na retração por secagem e perda de massa. O uso parcial do RTCM, em substituição do cimento, para a produção do concreto e argamassa é viável tecnicamente.

## 2.4 Materiais de construção da região de Porto Velho

Como todos os materiais utilizados na dosagem dos concretos objetos da experiência do estudo são originários da zona urbana de Porto Velho e adjacências, foi consultado o documento elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM – Residência Porto Velho em 2013, autoria catalogada de Oliveira *et al.* (2013), que fizeram levantamento geral de materiais básicos de construção civil na região de Porto Velho, denominado Materiais de Construção Civil da Folha Porto Velho no qual é traçado o diagnóstico sobre a natureza mineralógica, tipo de uso, caracterização do material, dimensões das jazidas, potencialidades de produção e consumo, bem como dos impactos ambientais decorrentes da exploração.

### 2.4.1 Argilas e tijolos cerâmicos

No âmbito da região de Porto Velho foram identificadas dois tipos de usos para as argilas: na primeira para a produção de cerâmica vermelha, concentrada na produção de tijolos e lajotas, exemplificada na Figura 8. E uma segunda como aplicação na indústria do cimento local do Grupo Votorantim, que dispõe de “duas minas em operação, uma próxima ao município de Candeias do Jamari, e outra no km 4 da BR-319, na margem esquerda do Rio Madeira.”



**Figura 8** – Pátio de armazenamento de material argiloso para cerâmica vermelha. Cerâmica Santa Catarina. Com descarte de tijolos pós extrusão – não queimados (2015).

Informa ainda Oliveira *et al.*, (2013) que os principais depósitos de argilas são de origem sedimentar e estão relacionados aos litotipos da Cobertura Indiferenciada e Formação Rio Madeira. As empresas ceramistas se concentram próximo a área urbana, demarcadas na Figura 10, mais especificamente em 4 microrregiões:

- Microrregião da área urbana de Porto Velho, a norte do perímetro urbano;
- Microrregião do ramal 21 de abril, a nordeste da cidade;
- Microrregião do ramal 13 de setembro, ao sul da urbe;
- Microrregião da BR 364, a leste da malha urbana.

Foi verificado nos ensaios dos tijolos queimados que em intervalos de temperaturas de 950°C a 1250°C ocorria maior sinterização dos produtos. Indicaram ainda a elevação da retração linear de queima, da densidade aparente e da resistência mecânica a flexão. Ocorreram a redução de absorção de água e de porosidade aparente. Características típicas de pozolana reativa. (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

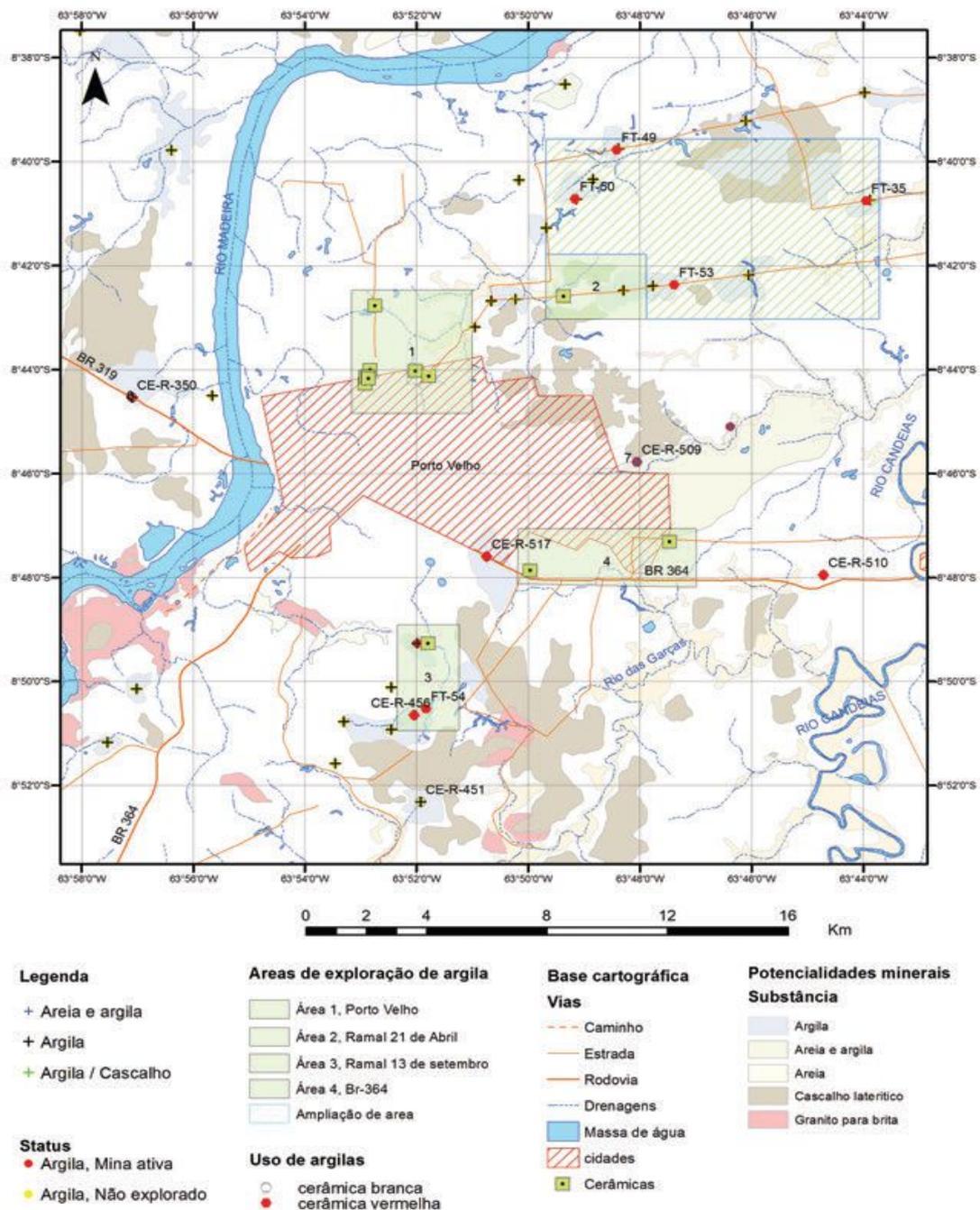


**Figura 9** – Blocos de cerâmica vermelha utilizados na construção civil da Cerâmica Santa Catarina (2015).

São quatro as principais jazidas de argilas existentes e utilizadas para produção de tijolos cerâmicos na cidade de Porto Velho, com potencial de atender a região, dispostas e numeradas na Figura 10, que abrange a malha urbana e adjacências, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, também plotou as quatro áreas, coloração esverdeada, onde se localizam não somente as jazidas, como ainda a concentração de empresas industriais de cerâmicas produtoras de tijolos e lajotas.

Foram registradas 16 unidades de produção de tijolos na região, devidamente organizadas, com equipamentos de processamento industrial, que abastecem as cidades de Porto Velho e Candeias do Jamari. O tipo de produção das cerâmicas vermelhas estão representados por tijolos e blocos como mostra a figura 9, que são produtos da Cerâmica Santa Catarina.

São utilizadas cerca de 1,75 a 2 toneladas de argila para produção de 1.000 unidades de tijolos. E os materiais produzidos estão relacionados predominância de tijolos de 6 furos em dois tamanhos: normal (9x14x19 cm) e antigo (9x14x18 cm), lajotas (laje pré-moldado) e tijolos de 8 e 12 furos e ainda o tijolo maciço, que são produzidos em menor escala.



**Figura 10** – Mapa de localização das áreas de exploração de argila.  
 Fonte: Materiais de Construção Civil da Folha Porto Velho (2013).

A produção de tijolos na região de Porto Velho é estimada em 17.400 mil unidades anuais, com base no Quadro 5, o que implica na geração de resíduos na ordem de 300 toneladas por ano, isto considerado apenas o percentual em 1% de perda, o que é plausível, pois é inferior, ao estimado pela indústria em 3% constante do Quadro 3, para as cerâmicas de Porto Velho.

O combustível utilizado para alimentação dos fornos é conhecido como “sarrafo”, provenientes de madeira, como visto na Figura 7. Outra opção de combustível é a lenha, para atender o tipo de forno adotado, abobado redondo, que tem restrições ambientais, por ser obtido de mata nativa. (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

**Quadro 5** – Resumo da produção de tijolos das microrregiões

<b>Microrregiões</b>	<b>Produtos</b>	<b>Unidades produzidas (milheiros / mês)</b>
<b>Área Urbana de Porto Velho</b>	Tijolos de 6, 8 e 12 furos	400
<b>Ramal 21 de Abril</b>	Tijolos de 6, 8 e 12 furos	500
<b>Ramal 13 de Setembro</b>	Tijolos de 6, 8 e 12 furos	300
<b>BR-364</b>	Tijolos de 6 e 8 furos	250
<b>Total</b>	Tijolos	1450

Fonte: Materiais de Construção Civil da Folha Porto Velho (2013).

As reservas de argilas apropriadas para produção de cerâmica vermelha estimadas, segundo Oliveira *et al.*, (2013), são para reservas totais em 54,89 milhões de toneladas e reservas lavráveis preditas em 27,44 milhões de toneladas, que mantidas as condições de exploração e produção atual apontam para uma reserva mineral do solo argiloso de 3.000 anos.

Não foi considerado, nesta hipótese de projeção de exploração e consumo, a área da margem esquerda do Rio Madeira como possível potencial fonte de matéria-prima, bem como outras formações sedimentares ou aluvionares de argilas nas proximidades da área urbana.

## 2.4.2 Areia natural lavada

Conforme a norma técnica ABNT NBR 6502:1995, “a areia é um solo não coesivo e não plástico formado por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2,0 mm.” E classificada conforme a granulometria em areia fina, areia média e areia grossa, conforme consta na Figura 5.

A região de Porto Velho é abastecida principalmente, conforme estudos publicados por Oliveira *et al.*, (2013), e mostrado na Figura 11 oriundo de empresas que extraem areia do rio Candeias, no município de Candeias do Jamari. Outra área com importante exploração deste insumo e a estrada dos Periquitos, situada na zona leste de Porto Velho.

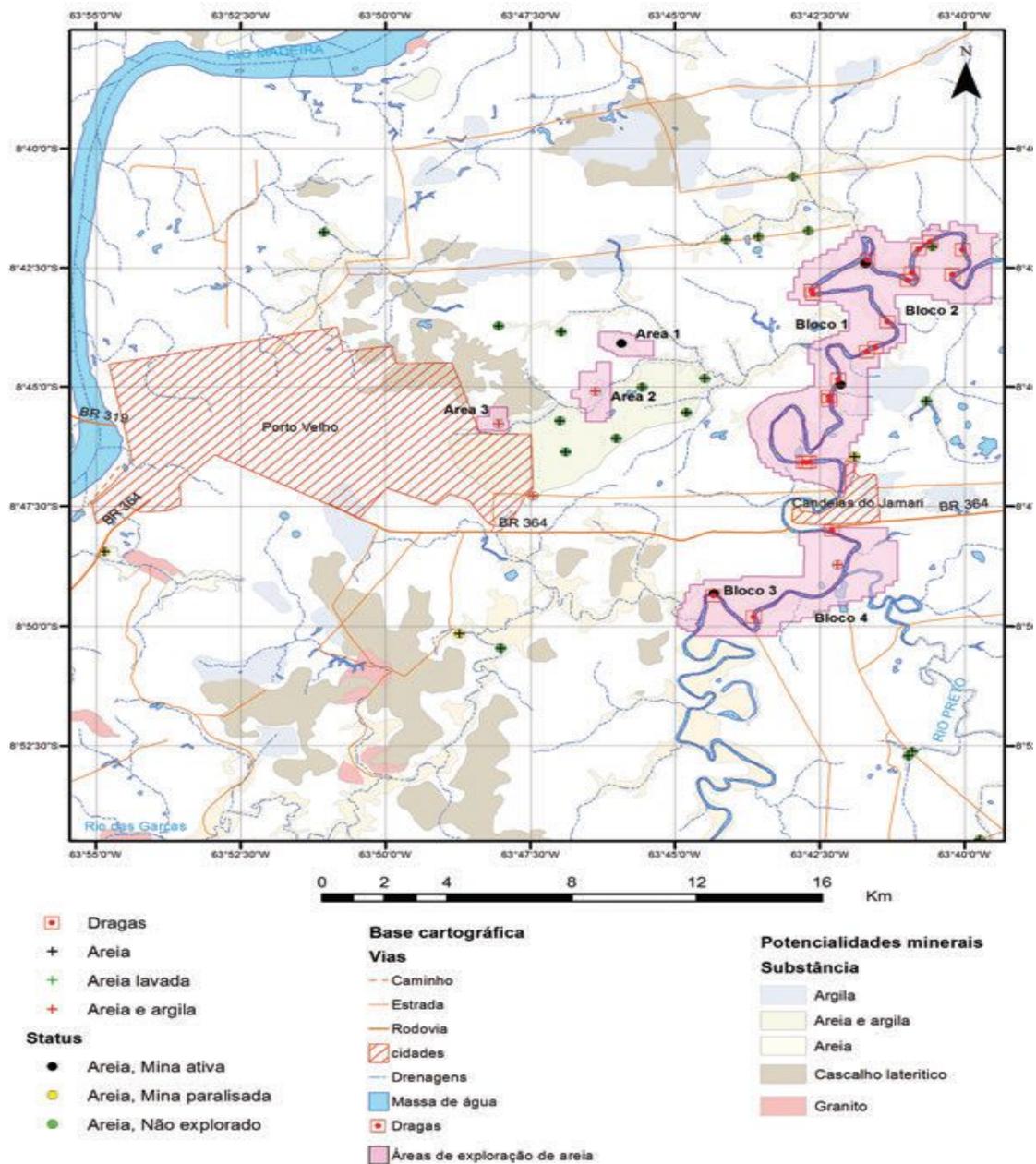


**Figura 11** – Tubulação de draga no Rio Candeias, retirando material arenoso e água para o pátio de estocagem para procedimento de secagem.

Fonte: Materiais de Construção Civil da Folha Porto Velho (2013).

Para Oliveira *et al.* (2013), a principal jazida de areia da cidade de Porto Velho e adjacências caracteriza-se como um depósito de planície aluvionar das frentes de lavra, apresentam cor clara com impregnações ferruginosas, mineralogia composta com predomínio de quartzo e feldspato e conformação dos grãos arredondados a subarredondados.

A areia dos depósitos aluvionares do Rio Candeias apresentam grãos de muito finas a grossas, embora predominem as areias médias, estas variações é devida a heterogeneidade granulométrica das jazidas sedimentares. A areia natural lavada utilizada nessa pesquisa é originaria da principal jazida da região a bacia do Rio Candeias em Porto Velho, conforme a Figura 12.



**Figura 12** – Mapa de localização das principais áreas produtoras de areia.  
 Fonte: Materiais de Construção Civil da Folha Porto Velho (2013).

Como mostra a Figura 12, as jazidas de areias se concentram em trechos bem definidos como blocos do Rio Candeias, a extensão da jazida é de 70 km do leito do rio e 35 km de trecho lavrável, distante cerca de 23 km do núcleo urbano de Porto Velho, embora succionada por bombas, e representada na Figura 11, diretamente do leito do rio e depositada nas margens, de onde é embarcada para entrega direta.

As areias produzidas não dispõe de nenhum processo de limpeza e seleção ou mesmo peneiramento, para definir sua granulometria, a classificação é visual, isto se fará no canteiro de obras, não obstante se denominar, comercialmente, de areia lavada para concreto e argamassa.

A produção anual média de areia, segundo o DNPM, está em 200 mil toneladas. As reservas estimadas através de cálculo meramente preditas, tomando como base uma saturação de 50% do leito do rio, remete a uma capacidade de reposição mínima anual da ordem de 17,850 milhões de toneladas, de acordo com OLIVEIRA *et al.*, (2013). Avaliação considerada apenas para as jazidas aluvionares e sedimentares do Rio Candeias.

#### 2.4.3 Brita – rocha industrializada

Conhecida na composição do concreto como agregado graúdo, a brita atende a região de Porto Velho e municípios adjacentes e ainda estados próximos como Acre e Amazonas. Oliveira *et al.* (2013), identifica que tem origem em jazidas expressivas de rochas graníticas afloradas e estáveis, espalhadas em 6 minas de exploração em locais distintos e nas adjacências da zona urbana.

A produção do material processado se concentra nos seguintes tipos de Britas 0, 1 e 2 e em menores quantidades Brita 3 e 4, além de rejeitos ou sobras do processo de britagem como o pedrisco e o pó de brita, que poderia assumir a produção na condição de areia artificial, embora não utilizada para este fim.

O processo de produção é mecanizado, embora o padrão tecnológico seja rústico e sem a preocupação de evitar danos ambientais localizados, como retratado pela Figura 13, em uma mina lavrável, distante cerca de 50 km da área urbana de Porto Velho, situada às margens da Rodovia BR 364, sentido Cuiabá.



**Figura 13** – Vista da produção de uma mina de granito em processo de britagem.  
Fonte: Materiais de Construção Civil da Folha Porto Velho (2013).

Para efeitos de esclarecimentos desta classificação nominal o Quadro 6 informa as dimensões das britas produzidas pelas pedreiras da região de Porto Velho, comparadas sob o aspecto normativo ABNT NBR 7211:2009, e sua condição comercial como produto ofertado no mercado da construção civil de Porto Velho.

**Quadro 6** – Dimensões das britas produzidas

<b>PEDRA BRITADA NUMERADA</b>				
ABERTURA DE PENEIRAS DE MALHAS QUADRADAS (mm)				
<b>NBR-7211:2009</b>		<b>Número</b>	<b>Padrão Comercial</b>	
<b>Mínima</b>	<b>Máxima</b>		<b>Mínima</b>	<b>Máxima</b>
-	-	Brita 0	4,8	9,5
4,8	12,5	Brita 1	9,5	19
12,5	25	Brita 2	19	38
25	50	Brita 3	38	50
50	76	Brita 4	50	76
76	100	Brita 5	-	-

Fonte: Materiais de Construção Civil da Folha Porto Velho (2013).

A produção anual das 6 minas em operação foram estimadas em 230.000 m<sup>3</sup>, de acordo com o estudo feito pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, sendo que a jazida mais produtiva é a da Cachoeira de Santo Antônio que representa quase 60% da produção estimada para o ano de 2013.

## 2.5 – Reação pozolânica

Como assevera Dal Molin (2011), o uso de adições minerais na construção civil é anterior a invenção do cimento, principalmente um material de origem vulcânica, na forma de cinzas. E onde não havia cinza vulcânica disponível, surgem outras adições, como a **argila calcinada moída**. Atualmente as adições minerais normalmente utilizadas são resíduos provenientes de outras indústrias, que seriam descartados em grandes quantidades em locais impróprios, gerando riscos de contaminação do solo e fontes de água. Pode-se reduzir o consumo de energia pela incorporação das adições minerais. A poluição ambiental gerada pode ser atenuada com o uso de adições minerais, principalmente na redução de emissão de CO<sub>2</sub>, no processo de produção do cimento.

Para Mehta e Monteiro (2014), aditivos e adições são definidos como materiais que não sejam agregados, cimento e água, e que adicionados ao concreto imediatamente antes ou durante a mistura. Adições minerais, como pozolanas (material contendo sílica reativa), podem reduzir a fissuração por tensões térmicas no concreto massa.

Segundo a norma técnica ABNT NBR 12653:2014, materiais pozolânicos são materiais silicosos ou silicoaluminosos que, sozinhos, possuem pouca ou nenhuma propriedade ligante mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio a temperatura ambiente, formam compostos com propriedades ligantes.

Há pozolanas naturais ou artificiais, e entre as naturais estão as **argilas calcinadas** que são materiais provenientes de calcinação de certas argilas submetidas a temperaturas, em geral, entre 500°C e 900°C, de acordo

com o Quadro 7, onde foi sublinhado e grifado, com atividade pozolânica. (ABNT NBR 12653:2014).

**Quadro 7 – Classificação normativa das pozolanas**

Classificação	Tipos de materiais predominantes
<b>Classe N</b>	Pozolanas naturais e artificiais que obedecem aos requisitos da Norma Técnica ABNT NBR 12653:2014, como certos materiais vulcânicos de caráter petrográfico ácido, cherts silicosos, terras diatomáceas e <u>argilas calcinadas</u> .
<b>Classe C</b>	Cinzas volantes produzidas pela queima de carvão mineral em usinas termoelétricas, que obedecem aos requisitos da Norma Técnica ABNT NBR 12653:2014.
<b>Classe E</b>	Quaisquer pozolanas, não contempladas nas classes N e C, que obedecem aos requisitos da Norma Técnica ABNT NBR 12653:2014.

Fonte: Norma técnica ABNT NBR 12653:2014. (Adaptado).

A mesma norma técnica ABNT NBR 12653:2014, estabelece requisitos químicos e físico-mecânicos, conforme os Quadros 8 e 9, em que os parâmetros são postos como mínimos ou máximos a serem atendidos, por tipos de materiais como os relacionados no Quadro 7, e assim estarem em condições de serem utilizados em substituição parcial do cimento Portland, e ainda como condições para aceitação e rejeição dos produtos pozolânicos.

**Quadro 8 – Requisitos químicos para as pozolanas**

Valores em porcentagem (%)

Propriedades	Classe de material pozolânico			Método de ensaio (*)
	N	C	E	
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	≥ 70	≥ 70	≥ 50	ABNT NBR NM 22
$\text{SO}_3$	≤ 4	≤ 5	≤ 5	ABNT NBR NM 16
Teor de umidade	≤ 3	≤ 3	≤ 3	ABNT NBR NM 24
Perda ao fogo	≤ 10	≤ 6	≤ 6	ABNT NBR NM 18
Álcalis disponíveis em $\text{Na}_2\text{O}$	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	ABNT NBR NM 25

(\*) Os métodos de ensaios devem ser adaptados, substituindo-se o cimento Portland pelo material pozolânico.

Fonte: Tabela 1 da norma técnica ABNT NBR 12653:2014. (Adaptado).

No Anexo A como o título informativo diz que os materiais pozolânicos que atendem aos requisitos da norma técnica ABNT NBR 12653:2014, pela sua interação física e química com, o cimento Portland, modificam a reologia dos concretos, argamassas e pastas, no estado fresco e conferem propriedades especiais relacionadas a durabilidade e ao desempenho mecânico no estado endurecido.

**Quadro 9 – Requisitos físicos para as pozolanas**

Propriedade	Classe de material pozolânico			Método de ensaio
	N	C	E	
<b>Material retido na peneira 45 µm</b>	< 20%	< 20%	< 20%	ABNT NBR 15894-3 (*)
<b>Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias, em relação ao controle</b>	≥ 90%	≥ 90%	≥ 90%	ABNT NBR 5752
<b>Atividade pozolânica com cal aos sete dias</b>	≥ 6 MPa	≥ 6 MPa	≥ 6 MPa	ABNT NBR 5751
(*) Esse método de ensaio deve ser adaptado, substituindo-se o metacaulim pelo material pozolânico. Alternativamente, o método prescrito pela ABNT NBR 12826 pode ser utilizado desde que o material pozolânico retido na peneira de ensaio não apresente visualmente aglomerações de partículas.				

Fonte: Tabela 1 da norma técnica ABNT NBR 12653:2014. (Adaptado).

Pela pertinência a citada norma técnica informa que os materiais pozolânicos reagem com o  $\text{Ca(OH)}_2$ , proveniente da hidratação do cimento Portland, formando o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) adicional. Sua adição aos concretos, argamassas e pastas, em relação a uma referência, sem uso desses materiais e em igualdade de condições, via de regra, concorrem para:

- – aumento da resistência a compressão e a flexão ao longo do tempo;
- – redução da porosidade e permeabilidade;
- – aumento da resistência a sulfatos;
- – aumento da resistência a difusibilidade de íons cloreto;
- – mitigação da reação álcali-agregado;
- – redução da ocorrência das eflorescências;
- – aumento da resistividade elétrica.

O desempenho de materiais pozolânicos em substituição ao cimento Portland aos 28 dias é verificado através de prescrições indicadas na norma técnica ABNT NBR 5752:2014. Inclusive são definidos os materiais a serem utilizados no ensaio de verificação, como o tipo de cimento – CP II-F-32, areia normal, água, mistura, dosagem, condições de cura e determinação da carga de ruptura a compressão. É preciso mencionar que a reação pozolânica produz ainda o aluminato de cálcio hidratado (C-A-H) e pozolana residual.

A verificação de algumas destas alterações das propriedades do concreto e argamassas foi constatado, de forma categórica, por Melo Filho (2012), quando em suas conclusões observou que a substituição de 50%, em massa, de cimento Portland por metacaulinita foi suficiente para o consumo total do hidróxido de cálcio presente na matriz. Embora o objetivo, neste aspecto, seja eliminar o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , ou portlandita, que seria deletério as fibras longas de sisal tratada e adicionada em até 10% a argamassa cimentícia, cujo desempenho a tração direta quanto na flexão foi melhor. Não obstante, continua Melo Filho (2012) os compósitos livres de CH apresentaram excelente resistência ao processo de envelhecimento por molhagem e secagem, as amostras registraram elevada resistência mecânica e tenacidade.

## 2.6 Concreto e argamassa

Mehta e Monteiro (2014) consideram o concreto é o produto industrializado mais utilizado pela humanidade. O concreto não é tão duro nem tão resistente quanto o aço; por que então, é tão utilizado como material de engenharia? Há ao menos três razões principais.

- **A primeira razão** refere-se a excelente resistência do concreto à água. Diferente da madeira e do aço comum, a capacidade do concreto de enfrentar a ação da água sem grave deterioração torna-o um material ideal para construção de estruturas, para controle, armazenamento e transporte da água.
- **O segundo motivo** para o amplo uso do concreto é a facilidade com o qual elementos estruturais podem ser obtidos através de

uma variedade de formas e tamanhos. E a flexibilidade dimensional.

- **O terceiro motivo** para a popularidade do concreto entre os engenheiros é o baixo custo, normalmente, e a rápida disponibilidade do material para uma obra, em relação a outros materiais. E ainda é um material que não corrói, não precisa de tratamento superficial e sua resistência aumenta com o tempo. É resistente ao fogo. Protege inclusive o aço embutido para melhorar seu desempenho.

Os ingredientes típicos em misturas de concreto de uso geral são: os materiais cimentícios, compostos de cimento Portland e um ou mais materiais cimentícios suplementares, que podem ser as cinzas volantes de centrais termelétricas, a escória granulada de alto-forno da produção de ferro-gusa, o calcário pulverizado ou pó de calcário das pedreiras, e as pozolanas naturais ou calcinadas; agregados miúdos e graúdos; água; e um ou mais aditivos químicos.

Para Mehta e Monteiro (2014) o concreto é um material compósito que consiste, essencialmente, de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregado. No concreto de cimento hidráulico, o aglomerante é formado de uma mistura de cimento hidráulico e água.” Entretanto, muitas de suas características não seguem as regras das misturas. Apesar da simplicidade da tecnologia da produção de concreto, a microestrutura do produto é altamente complexa. E comparada a outros materiais de construção como aço, plásticos e cerâmicas, a microestrutura do concreto não é uma propriedade estática do material. Isso se deve ao fato de que dois dos três componentes da microestrutura, denominados matriz da pasta de cimento e zona de transição na interface entre agregado e pasta de cimento, mudam com o tempo. ***Na verdade, a palavra concreto vem do termo em Latim concretus, que significa crescer juntos.*** (Grifei).

A resistência de um concreto depende do volume dos produtos de hidratação do cimento que continuam a se formar por vários anos, resultando em

um aumento gradual da resistência. Dependendo da exposição ao meio ambiente, soluções penetrantes da superfície para o interior do concreto algumas vezes dissolvem os produtos de hidratação do cimento causando um aumento da porosidade, o que reduz a resistência e a durabilidade do concreto.

Por outro lado, quando os produtos de interação se recristalizam dentro dos poros e microfissuras, pode ocorrer um aumento de resistência e durabilidade do material.

Enquanto Helene e Andrade (2010) descrevem que na mistura do concreto, o cimento Portland, com a água forma uma pasta mais ou menos fluída, dependendo do percentual de água adicionado. Essa pasta envolve as partículas de agregados com diversas dimensões para produzir um material, que, nas primeiras horas, apresenta-se em um estado capaz de ser moldado em formatos das mais variadas formas geométricas. Com o tempo, a mistura endurece pela reação irreversível da água com o cimento, adquirindo resistência mecânica capaz de torná-la um material de excelente desempenho estrutural, sob os mais diversos ambientes de exposição.

A proporção entre os diversos constituintes é buscada pela tecnologia do concreto, para atender simultaneamente as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade necessárias para o transporte, lançamento e adensamento, condições estas que variam caso a caso.

A fluidez da pasta, constituída de cimento e água, dependerá, essencialmente, da distribuição granulométrica do cimento e da quantidade de água adicionada, que é expressa pela relação água/cimento. **A relação água/cimento é determinante para definir a qualidade dos concretos e das argamassas.** A qualidade potencial do concreto depende da relação água/cimento e do grau de hidratação. São esses os dois principais parâmetros que regem as propriedades de absorção capilar da água, de permeabilidade por gradiente de pressão de água ou de gases, de difusividade da água ou dos gases, de migração elétrica dos íons, assim como, todas as propriedades

mecânicas, tais como: módulo de elasticidade, resistência à compressão, à tração, fluência, relaxação, abrasão e outras.

A qualidade efetiva do concreto na obra deve ser assegurada por um correto procedimento de mistura, transporte, lançamento, adensamento, cura e desmoldagem. Que implicarão no desempenho das propriedades de difusividade, permeabilidade e absorção capilar de água e gases.

O profissional de engenharia deve ter conhecimento de que a durabilidade, a resistência à compressão, a relação água/cimento, o consumo de cimento e o abatimento do concreto tem uma interdependência entre si, ou seja, um parâmetro que não pode estar dissociado do outro. Deve ser visto como um conjunto harmônico. (HELENE e ANDRADE, 2010).

Figueiredo (2011) ao argumentar sobre a constituição do concreto, descreve que o concreto de cimento Portland, já é por si só um composto formado de várias fases: a pasta de cimento, os agregados miúdos, os graúdos e **os poros**. E o único material estrutural que é normalmente processado pelos próprios engenheiros civis de modo atender as exigências de engenharia, tanto para as condições de aplicações, como para o seu comportamento no estado endurecido. Assim, é possível obter uma grande variação de suas propriedades em função do tipo de componentes principais e de suas proporções, bem como da utilização de uma grande variedade de aditivos e adições.

## 2.7 Dosagem do concreto – conceitos gerais

Trata-se da decisão do tipo de concreto ou argamassa que se vai adotar na construção de uma edificação, assim o projetista especifica um valor de resistência à compressão mínima a ser seguida. Em geral o concreto para fins estruturais a resistência mecânica exigida é alcançada após 28 dias. E, para se obter uma mistura satisfatória que atenda o especificado de projeto, os procedimentos dos diversos métodos a serem seguidos, devem atender especificações empíricas obtidas de normas técnicas, que são prescrições de resultados obtidos experimentalmente.

Mehta e Monteiro (2014) de forma assertiva inferem que a dosagem do concreto é o processo de obtenção da combinação correta de cimento, agregados, água, adições e aditivos, para produzir o concreto de acordo com as especificações dadas. Curiosamente deduzem que “**esse processo é considerado uma arte, mais do que uma ciência.**” (Grifei).

Mas que resumem ser o *objetivo geral da dosagem* como a seleção dos componentes adequados entre os materiais disponíveis e determinar a combinação mais econômica que produzirá o concreto com certas características mínimas de desempenho. Ou seja, o objetivo da dosagem é obter uma mistura de concreto que satisfaça os requisitos de desempenho ao *menor custo possível*. (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

Assim Tutikian e Helene (2011), consideram que um estudo de dosagem deve ser realizado visando obter uma mistura ideal e mais econômica, numa determinada região e com os materiais ali disponíveis, para atender uma série de requisitos, e atualizações normativas, que relaciona como:

- Resistência mecânica (MPa);
- Trabalhabilidade (mm);
- Durabilidade (anos);
- Deformabilidade (GPa);
- Sustentabilidade (kg/MPa).

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Materiais – descrição

Todos os materiais utilizados nas dosagens dos concretos objetos da experiência do estudo são originários da zona urbana de Porto Velho e adjacências, para os quais são traçados os diagnósticos sobre a natureza mineralógica, tipo de uso, caracterização do material. Por óbvio os materiais como o cimento que é industrializado ou tratados como a água tem suas origens bem definidas e são ofertados ao mercado sem restrições.

#### 3.1.1 Cimento

O cimento utilizado nos traços dosados foi adquirido no mercado comercial de Porto Velho, embalado em saco de 50 kg, fabricado pela indústria Votorantim Cimentos S.A., a cerca de 7 quilômetros da cidade, sendo do tipo cimento Portland composto tipo CP II Z, classe 32.

#### 3.1.2 Areia natural lavada

As areias produzidas na região de Porto Velho não dispõe de nenhum processo de limpeza e seleção ou mesmo peneiramento, para definir sua granulometria, a classificação e visual, isto se fará no canteiro de obras, não obstante se denominar, comercialmente, de areia lavada.

A areia natural lavada utilizada como agregado miúdo foi adquirida no mercado comercial de materiais de construção da cidade de Porto Velho e é originária da principal jazida da região a bacia do Rio Candeias.

#### 3.1.3 Brita – rocha industrializada

Do material rochoso industrializado optou-se em utilizar somente a brita 1, embora haja disponibilidade de britas dos padrões tipo 0 e 2, que são as mais comercialmente produzidas e em menores quantidades de britas 3 e 4, além de rejeitos ou sobras do processo de britagem como o pedrisco e o pó de brita, que poderiam assumir na condição de areia artificial, embora não foram utilizadas para esta finalidade.

### 3.1.4 Água

A água para hidratação do compósito foi obtida da empresa concessionária de abastecimento hidráulica da cidade – CAERD, portanto líquido de natureza potável, sem restrições, para utilização em concreto e argamassa, permitido pela norma técnica ABNT NBR 15900:2009.

### 3.1.5 Cerâmica vermelha

A obtenção da argila calcinada foi obtida a partir do tijolo, produto cerâmico mais comum, o material a ser utilizado na substituição do cimento, onde foi adquirido das seguintes cerâmicas: Cerâmica JK Ltda., Cerâmica Santa Catarina Ltda. e Cerâmica Brasil Ltda.

Constituindo como áreas de exploração cerâmica – fabricação de tijolos, conforme o mapa constante da Figura 10.

Quanto a localização das cerâmicas pesquisadas, estas estão nas localidades mencionadas no Quadro 10, que também informa a localização geográfica por coordenadas, todas dentro da área urbana da cidade de Porto Velho, e o endereço das fontes de obtenção do material – resíduos de tijolos cerâmicos moídos – RTCM – para substituição parcial do aglomerante na dosagem do concreto.

**Quadro 10 – Fontes dos resíduos cerâmicos.**

Material utilizado na experiência – argila de jazida e calcinada				
Origem do material	Endereço	Coordenadas		Produto
<b>Cerâmica JK Ltda.</b>	Av. Rio Madeira, 7223	8°42'45" S	63°52'48" O	Tijolos
	Bairro Nova Esperança			
<b>Cerâmica Santa Catarina Ltda.</b>	Av. Guaporé, 6334	8°43'56" S	63°51'59" O	Tijolos
	Bairro Aponiã			
<b>Cerâmica Brasil Ltda.</b>	Estrada 13 de Setembro, S/N	8°48'37" S	63°52'02" O	Tijolos
	Colônia dos Japoneses			

Tipo de forno das cerâmicas pesquisadas: abobadada sobre base retangular de alvenaria de tijolos cerâmicos maciços.

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 – Caracterização dos materiais

Os ensaios laboratoriais foram feitos na empresa Betontech e estão apresentados no Quadro 11.

**Quadro 11** – Métodos de ensaios

Propriedades	Método de ensaio
Agregados	NBR 7211:2009 – Agregados para concreto.
Absorção de água por imersão	NBR 9778:2009 – Argamassa e concreto – Determinação da absorção de água.
Índice de vazios	NBR 9778:2009 – Argamassa e concreto – Determinação do índice de vazios.
Massa específica	NBR 9778:2009 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da massa específica.
Resíduos de tijolos cerâmicos moídos	NBR 6502:1965 – Rochas e solos. NBR7181:2016–Solo-Análise granulométrica.

### 3.2.2 Definição da dosagem racional e experimental

Elaborada a dosagem com base primária na norma técnica ABNT NBR 12655:2015, bem como em fontes de outros conteúdos normativos, inclusive da American Concrete Institute – ACI, conforme consta no Quadro 12, são a base técnica para definir a dosagem de referência, e das substituições parciais por tijolos moídos.

Pertinente a observação normativa primordial NBR 12655:2015, que o cálculo da dosagem do concreto deve ser feito com os mesmos materiais e condições semelhantes aquelas obras. Tendo em vista as prescrições do projeto e as condições de execução.

Se deve ter presente que o cálculo da dosagem do concreto deverá ser refeito cada vez que for prevista uma mudança de marca, tipo ou classe de cimento, na procedência e qualidade dos agregados e demais materiais. (NBR 12655:2015).

**Quadro 12** – Elementos normativos para definição da dosagem.

Concreto – dados para dosagem racional e experimental		
Propriedades	Método – especificação	Padrão
Elemento estrutural convencional	NBR 8953:2015	C30 S100
Resistência característica	NBR 8953:2015	$f_{ck} = 30$ MPa
Condição de preparo	NBR 12655:2015	A – desvio padrão $s_d = 4$
Relação água e cimento	NBR 12655:2015	Classe de agressividade II
Resistência de dosagem	NBR 12655:2015	$f_{cmj} = 36,6$ MPa
Dosagem (C : Ar : B : Ag)	ACI 201 / 211 / 318 / 322	450 : 760 : 880 : 205

- 1) Concreto para elementos estruturais com lançamento convencional C30 S100, Quadros 10 e 11;
- 2) Resistência característica do concreto –  $f_{ck} = 30,0$  MPa, opção construtiva;
- 3) Condição de preparo do concreto – A – desvio-padrão –  $s_d = 4,0$ , Quadro 13;
- 4) Resistência média do concreto a compressão aos 28 dias –  $f_{cmj} = 36,6$  MPa;
- 5) Dimensão máxima do agregado  $D_{máx.}$  19 mm – brita 1;
- 6) Concreto sem ar incorporado;
- 7) Módulo de finura da areia = 2,845 – ensaio laboratorial – areia natural média;
- 8) Consumo de água: abatimento 100 mm e dimensão do agregado 19 mm – 205 l;
- 9) Relação água / cimento –  $a/c = 0,454$ , por interpolação linear, portanto inferior aos 0,60 do Quadro 12, para classe de agressividade ambiental tipo II (ambiente urbano);
- 10) Consumo de cimento –  $C = 450$  kg/m<sup>3</sup>, tipo CP II 32, marca Itaú, fabricante Votorantim – Porto Velho (massa específica média –  $\gamma_{cmédia} = 3100$  kg/m<sup>3</sup>);
- 11) Consumo do agregado graúdo,  $D_{máx.} = 19$  mm, em função do módulo de finura do agregado miúdo MF = 2,845, o que confere um volume de agregado graúdo seco de  $0,6155 \times 1430 = 880,165$  kg/m<sup>3</sup>.

Dados de ensaios para os agregados:

11.1) brita 1:

- 1) massa específica –  $\gamma_{bmédia}$  = 2610 kg/m<sup>3</sup> e
- 2) massa unitária solta = 1430 kg/m<sup>3</sup>,

11.2) areia natural lavada média:

1) massa específica –  $\gamma_{amédia}$  = 2600 kg/m<sup>3</sup> e

2) massa unitária solta = 1470 kg/m<sup>3</sup>. (Anexo IV).

Pelo método do volume absoluto, tem-se:

Volume deslocado pela água = 205/1,0 = 205,000 dm<sup>3</sup>

Volume deslocado pelo cimento = 450/3,1 = 145,658 dm<sup>3</sup>

Volume deslocado pela brita 1 = 880,165/2,61 = 337,228 dm<sup>3</sup>

Volume deslocado pelo ar = 2% = 20,000 dm<sup>3</sup>

Total = 707,886 dm<sup>3</sup>

Volume deslocado pela areia = 1000 – 707,886 = 292,114 dm<sup>3</sup>

12) Consumo em massa de areia = 292,114 x 2,60 = 759,496 kg/m<sup>3</sup>;

13) Dosagem base corrigida com ajuste da umidade (SSS) dos agregados:

<u>Método</u>	<u>Cimento</u>	<u>Areia</u>	<u>Brita 1</u>	<u>Água</u>
Volume (kg/m <sup>3</sup> )	450	760	880	205
Massa (kg/m <sup>3</sup> )	1,00	1,73	1,97	0,41

14) Dosagem com substituição de cimento por resíduo cerâmico a substituição parcial do cimento Portland se fez nas proporções de 10%, 20% e 30% em massa, como consta no Quadro 13, isto em relação a dosagem base.

**Quadro 13** – Resumo da dosagem do concreto com substituição parcial de cimento Portland por resíduos de tijolos cerâmicos moídos (RTCM).

<b>Dosagem do concreto – C30 S100 – com substituição parcial de cimento por resíduo tijolo cerâmico moído</b>				
<b>Material</b>	<b>Quantidades da dosagem</b>			
	<b>Dosagem Base</b>	<b>Substituição do cimento em massa (kg)</b>		
		10,00%	20,00%	30,00%
<b>Cimento</b>	<b>450</b>	<b>405</b>	<b>360</b>	<b>315</b>
<b>Resíduo cerâmico (RTCM)</b>	<b>0</b>	<b>45</b>	<b>90</b>	<b>135</b>
<b>Areia média</b>	760	760	760	760
<b>Brita 1</b>	880	880	880	880
<b>Água</b>	205	205	205	205
<b>Total</b>	<b>2295</b>	<b>2295</b>	<b>2295</b>	<b>2295</b>

\*RTCM – resíduo de tijolo cerâmico moído.

### 3.2.3 – Resíduo de tijolo cerâmico moído

O resíduo cerâmico foi proveniente de tijolos coletados em cerâmicas e triturados e cominuídos manualmente, após a fragmentação na forma de pó. A análise do RTCM se deu quanto a massa real dos grãos e a granulometria por sedimentação. Os materiais trabalhados separadamente por origem, foram secos em estufa para eliminação de qualquer vestígios de umidade, para então serem utilizados como substitutos parciais do cimento. Uma vez que foram utilizadas nos traços teores de 10%, 20% e 30% para substituir parcialmente o aglomerante na dosagem e verificação do desempenho básico da mistura do compósito. O enquadramento do material foi como um tipo de pozolana Classe N da norma técnica ABNT NBR 12653:2014.

Os traços foram executados nos dias – 28 e 29/10/2015, conforme Quadro 14, onde constam 12 corpos de prova para cada traço dosado, perfazendo a quantidade de 120 amostras para serem utilizados nos ensaios previstos para análise dos compósitos.

**Quadro 14** – Corpos de prova para ensaios conforme a origem do RTCM.

<b>Montagem dos corpos de prova com a dosagem estabelecida</b>						
<b>Origem do material</b>	<b>Data</b>	<b>Quantidade de corpos de prova moldados</b>				<b>Total</b>
		<b>Sem adição</b>	<b>Adição de argila calcinada</b>			
			<b>10,00%</b>	<b>20,00%</b>	<b>30,00%</b>	
<b>Base</b>	<b>28/10/2015</b>	12				12
<b>Cerâmica JK Ltda.</b>	<b>29/10/2015</b>		12	12	12	36
<b>Cerâmica Santa Catarina Ltda.</b>	<b>29/10/2015</b>		12	12	12	36
<b>Cerâmica Brasil Ltda.</b>	<b>28/10/2015</b>		12	12	12	36
<b>Total</b>		12	36	36	36	<b>120</b>

RTCM – resíduo de tijolo cerâmico moído.

A moldagem dos corpos de prova seguiu as orientações contidas na norma ABNT NBR 5738:2015. Os corpos de prova foram cilíndricos metálicos com diâmetro de 10 cm e altura 20 cm, portanto o dobro da altura, conforme prescrição normativa. Foram utilizados 2 corpos de prova para cada resultado.

### 3.2.4 – Resistência à compressão

Para os ensaios de resistência à compressão utilizou-se a norma ABNT NBR 5739:2007 e as idades constantes da sua tabela 1. A prensa hidráulica utilizada é da marca Solotest, série 33047/15, aferido e calibrado em 21/09/2015, conforme o certificado 40321-15. Na figura 17 pode ser visualizado um corpo de prova posicionado para o rompimento a compressão.



**Figura 14** – Posicionamento dos corpos de prova na máquina de ensaios para aplicação da carga e determinação da resistência à compressão.

A seção 6.1 da NBR 5739:2007, informa o cálculo da resistência à compressão deve ser calculada através da seguinte expressão:

$$f_c = 4 F / \pi D^2 \quad \text{Equação. 01}$$

onde:

$f_c$  é a resistência à compressão, em megapascals (MPa);

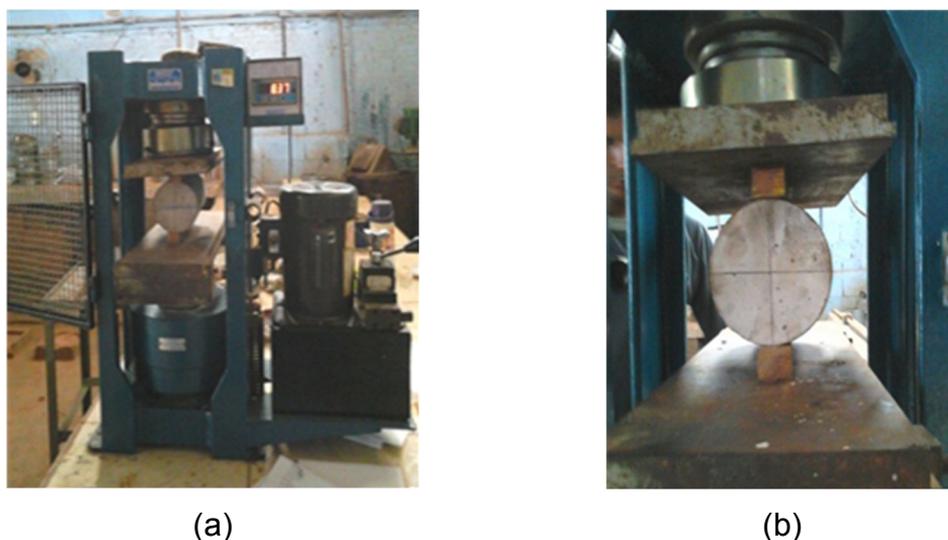
F é a força máxima no ensaio, expresso em newtons (N);

D é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm);

### 3.2.5 – Resistência à tração por compressão diametral

Os ensaios foram conduzidos conforme consta na norma técnica ABNT NBR 7222:2011 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência a tração, na situação específica de tração por compressão diametral, com uso de 2 corpos de prova cilíndricos, por opção realizados aos 28º dias pós moldagem, para o 1º ensaio. No 2º ensaio foram rompidos 4 corpos de prova

para os dias 3º, 7º e 28º pós moldagem. A prensa hidráulica é da marca Solotest e EMIC, ambas aferidas, como mostra a figura 18(a) e os corpos de prova foram posicionados sobre taliscas de madeira como consta na figura 18(b).



**Figura 15** – (a) Máquina de ensaios e (b) Posicionamento dos corpos de prova para aplicação da carga e determinação da resistência à tração por compressão diametral.

A resistência à tração por compressão diametral foi calculada pela expressão, conforme a seção 6.1 da norma técnica ABNT NBR 7222:2011.

$$f_{ct, sp} = 2 F / \pi d l \quad \text{Equação. 02}$$

onde:

$f_{ct, sp}$  é a resistência à tração por compressão diametral, expressa com três algarismos significativos, em megapascals (MPa);

F é a força máxima no ensaio, expresso em newtons (N);

d é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm);

l é comprimento do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

### 3.2.6 – Absorção de água, índice de vazios e massa específica

Os meios utilizados para conhecer a capacidade do concreto endurecido ter a qualidade necessária de potencial de durabilidade e capaz de resistir a agressividades, por penetração de água e outros agentes deletério, se deu através dos ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica de acordo com a norma técnica ABNT NBR 9778:2009. Foram examinados 2 corpos de prova para definição de cada resultado.

### 3.2.7 – Ensaio de Termogravimetria

A análise térmica foi realizada após 28 dias do preparo das amostras, pelo equipamento modelo – SDT-Q600 da fabricante TA INSTRUMENTS (ver figura 16), com taxa de aquecimento constante de 10°C/min, e temperatura até 1000°C, com fluxo de nitrogênio de 30 ml/min, com massa da amostra de 10 mg, e cadinho de alumínio aberto.



**Figura 16** - Equipamento de TGA - Laboratório Físico-químico UFAM/AM.

As análises (TG/DTG) foram feitas em pastas contendo 50% de Cimento Portland Comum com suplementações e 50% do resíduo cerâmico de uma olaria da região de Porto Velho, para verificação do consumo do hidróxido de cálcio. As misturas possuindo granulometria dos materiais de argilas passados nas peneiras de 200 mesh, comparados com a matriz de cimento de referência.

A partir daí se observa as quantidades incorporadas ao cimento, para investigar o consumo do hidróxido de cálcio gerado na evolução das reações de hidratação do cimento com as argilas calcinadas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Características dos materiais

#### 4.1.1 Areia natural lavada

Os ensaios laboratoriais feitos na empresa Betontech, com o agregado miúdo – Anexo E.2 Ensaio do agregado miúdo – areia natural lavada, e conforme especificações da norma técnica ABNT NBR 7211:2009, observados na análise do material os conteúdos constantes do seção 5.0, utilizado na dosagem, apresentaram os seguintes resultados:

a) massa unitária:	1,47 kg/dm <sup>3</sup> ;
b) massa específica:	2,60 kg/dm <sup>3</sup> ;
c) teor de argila:	isento;
d) materiais pulverulentos:	0,5%;
e) impurezas orgânicas:	< 300 ppm;
f) módulo de finura:	2,845 (inserção – zona ótima);
g) diâmetro máximo:	4,8 mm; e
h) coeficiente de vazios:	43,74%.

São dados obtidos e registrados pelo laboratório como um agregado miúdo tipo areia natural e mediante sua caracterização constitui-se de uma areia média de boa qualidade, composta por grãos duros, estáveis, compactos e limpos, portanto, dentro da zona ótima (Tabela 2 e 3 – NBR 7211:2009), portanto, é adequada para utilização em argamassa e concreto.

Com estes resultados, especialmente a **massa unitária** e **módulo de finura** usados para determinação da dosagem das amostras do concreto objeto de estudo.

#### 4.1.2 Brita 1 – rocha industrializada

Os ensaios laboratoriais feitos na empresa Betontech, com o agregado graúdo – Anexo E.1 Ensaio do agregado graúdo – brita 1, material granular inerte básico de opção para compor a dosagem do compósito, e conforme especificações da norma técnica ABNT NBR 7211:2009, na seção 6.0,

utilizado como balizador na avaliação laboratorial os resultados conseguidos foram os seguintes:

a) massa unitária:	1,43 kg/dm <sup>3</sup> ;
b) massa específica:	2,61 kg/dm <sup>3</sup> ;
c) teor de argila:	isento;
d) materiais pulverulentos:	0,8%;
e) absorção:	0,64%;
f) impurezas orgânicas:	< 300 ppm;
g) módulo de finura:	6,576;
h) diâmetro máximo:	19 mm; e
i) coeficiente de vazios:	45,34%.

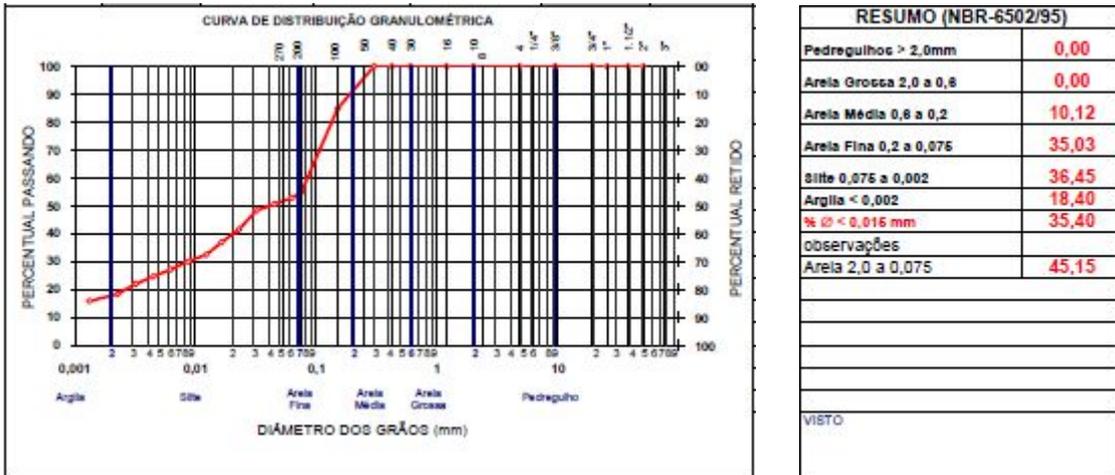
Pelo demonstrado nas características do material ensaiado e compilados pelo laboratório trata-se de um agregado graúdo tipo brita 1 e mediante sua caracterização mineralógica constitui-se de uma rocha granítica, estável, dura, compacta e limpa, que mediante processo industrial de fragmentação em jazida, através de peneiras graduadas, obteve-se a brita 1, inserida na avaliação normativa como um padrão de agregado graúdo de boa qualidade e adequado para utilização em concretos.

Foram destes resultados, especialmente a **massa unitária** e **massa específica**, utilizados para definição da dosagem.

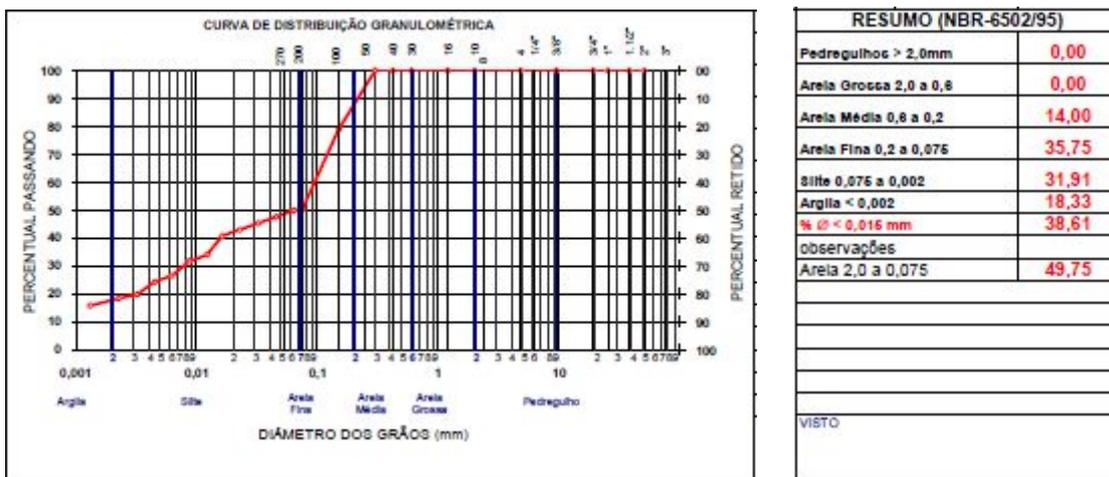
#### 4.1.3 – Resíduos de tijolos cerâmicos moídos (RTCM)

Para os resíduos de tijolos cerâmicos moídos (RTCM) utilizados como substitutos parciais do cimento Portland CII Z, na dosagem determinada, tiveram suas constituições e granulometrias determinadas por peneiramento e sedimentação em conformidade com as normas técnicas ABNT NBR 6502:1995 para encontrar os intervalos de graduações dos tipos de solos, conforme os seus grãos e a NBR 7181:2016 para execução da análise granulométrica dos solos, apresentados em resumo nas figuras 17, 18 e 19, conforme os tipos de tijolos moídos coletados nas respectivas indústrias cerâmicas objetos de pesquisas. A quantidade de areia fina é significativa e atinge mais de 45% nas 3 amostras de

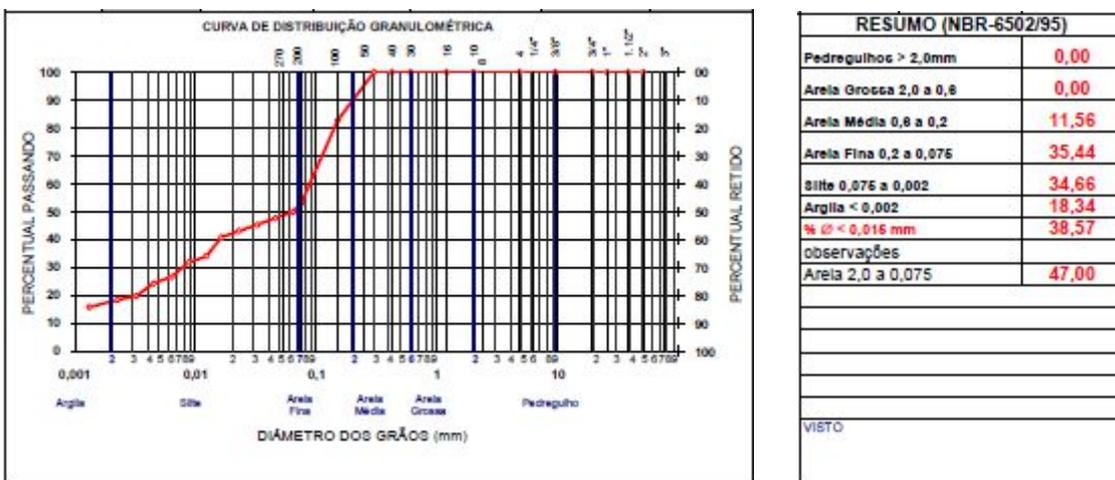
RTCM. O que pode alterar os resultados das propriedades do material obtido, em especial os relacionados à resistência. *Vide Anexo H.*



**Figura 17** – RTCM da Cerâmica JK – Curva granulométrica e percentual de solos.  
Fonte: Anexo H.3 – Ensaio de resíduos de tijolo moídos da Cerâmica JK.



**Figura 18** – RTCM da Cer. Sta. Catarina – Curva granulométrica e percentual de solo  
Fonte: Anexo H.2 – Ensaio de resíduos de tijolo moídos da Cerâmica Santa Catarina.



**Figura 19** – RTCM da Cerâmica Brasil – Curva granulométrica e percentual de solo  
Fonte: Anexo H.1 – Ensaio de resíduos de tijolo moídos da Cerâmica Brasil.

## 4.2 – Caracterização física e mecânica dos concretos

### 4.2.1 – Resistência mecânica à compressão axial

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão para todas as dosagens elaboradas, seja do traço base de referência, como das substituições parciais de cimento Portland por tijolo queimado moído (RTCM), estão apresentados no Quadro 15. Que são as médias das resistências do rompimento de 2 corpos de prova, para cada idade considerada.

**Quadro 15 – Resistência à compressão axial dos corpos de prova.**

<b>Resistência à compressão axial (MPa)</b>					
Origem do material	Idade de ensaio (dia)	Base de referência	Dosagem		
			Tijolo cerâmico moído (RTCM*)		
			10%	20%	30%
Concreto base (referência)	3	23,4			
	7	28,2			
	28	29,5			
	91	<b>33,4</b>			
Cerâmica JK Ltda.	3		23,1	17,6	13,9
	7		24,2	20,5	14,0
	28		<b>26,8</b>	26,7	20,3
	91		26,8	<b>27,0</b>	<b>21,4</b>
Cerâmica Santa Catarina Ltda.	3		21,8	18,8	15,9
	7		22,9	19,4	16,6
	28		29,2	27,0	<b>23,5</b>
	91		<b>30,0</b>	<b>29,4</b>	23,5
Cerâmica Brasil Ltda.	3		18,1	14,9	11,3
	7		21,2	19,5	16,1
	28		23,6	<b>27,4</b>	17,6
	91		<b>29,6</b>	27,1	<b>23,5</b>
<b>Análise estatística dos ensaios</b>					
Desvio padrão dos ensaios (s) - 28 dias			2,81	<b>0,35</b>	2,95
Desvio padrão dos ensaios (s) - 91 dias			1,74	1,36	<b>1,21</b>
Média dos ensaios (MPa) - 28 dias			26,53	<b>27,03</b>	20,47
Média dos ensaios (MPa) - 91 dias			<b>28,80</b>	27,83	22,80
Coeficiente de variação - CV (%) - 28 dias			11	<b>1</b>	14
Coeficiente de variação - CV (%) - 91 dias			6	<b>5</b>	<b>5</b>

\*RTCM – resíduo de tijolo cerâmico moído. Os resultados são a média do rompimento de 2 corpos de provas.

Na análise dos resultados obtidos, foi verificado que os concretos produzidos com a dosagem de referência apresentaram resistência à compressão média aos 3 dias de 23,4 MPa. Com a adição de resíduos de tijolos

cerâmicos moídos (RTCM), constatou-se que os concretos apresentaram redução em sua resistência para todos os teores estudados. Quanto maior o teor de substituição (30%), menor foi a resistência (40%) em relação ao traço base de referência. Esse comportamento nas primeiras idades é previsível, e justificado pelo fato de que as velocidades de reações, nas primeiras idades, entre o material pozzolânico na forma de resíduo de tijolo cerâmico queimado moído com componentes da pasta cimentícia, é mais lenta. E, quanto maior a quantidade de RTCM, em substituição ao aglomerante, menor são as resistências mecânicas à compressão nesta etapa inicial.

Situação similar acontece quando observados os resultados obtidos no 7º dia pós moldagem, em que o desempenho dos concretos com adição pozzolânica apontaram diferenças expressivas na resistência à compressão em relação a dosagem base, em todos os percentuais de substituição parcial de RTCM, por cimento Portland no traço definido.

Na idade do 28º dia com a adição de 20% de RTCM em substituição parcial ao cimento Portland teve um desempenho médio de resistência à compressão de 27 MPa, o que corresponde a uma perda também média de 8,37%, em relação ao traço base, este foi o melhor desempenho uniforme das dosagens experimentadas.

Como foram rompidos corpos de prova com 91 dias, pós moldagem, a verificação da resistência a compressão deram resultados, com substituição parcial de cimento Portland por RTCM, superiores em mais de 8% aos que foram aferidos no 28º dia. E nesta mesma comparação o traço de referência teve um acréscimo de resistência no 91º dia pós moldagem, com um desempenho em mais de 11% em relação ao 28º dia.

Quanto aos parâmetros desvio padrão e coeficiente de variação os melhores resultados obtidos na experiência foram na adição de RTCM em 20%, em para a dispersão (s) alcançou 0,35 e 1,36 seja no 28º dia e como no 91º, respectivamente. E coeficiente de variação apresentou 1% no dia 28 e 5% para o dia 91, e quanto mais próximo de zero melhores são os resultados.

#### 4.2.2 – Resistência mecânica à tração por compressão diametral

Os resultados do ensaio de tração na compressão diametral são mostrados no quadro 16, quanto ao 1º ensaio realizado. Nesta etapa se deu por disponibilidade de material e para melhor indicação de avaliação, optou-se em romper no 28º dias pós moldagem, com 2 corpos de prova para cada ensaio.

**Quadro 16** – Resistência à tração por compressão diametral – 1º Ensaio – 28º dia.

<b>Resistência à tração por compressão diametral (MPa) - 1º Ensaio</b>					
Origem do material	Idade de ensaio (dia)	Dosagem			
		Base de referência	Tijolo cerâmico moído (RTCM*)		
			10%	20%	30%
Concreto base (referência)	28	2,61			
Cerâmica JK Ltda.			4,91	3,78	3,73
Cerâmica Santa Catarina Ltda.			1,85	3,15	3,99
Cerâmica Brasil Ltda.			3,11	2,73	2,54
<b>Análise estatística dos ensaios</b>					
Desvio padrão dos ensaios (s)			1,54	0,53	0,77
Média dos ensaios (MPa)			3,29	3,22	3,42
Coefficiente de variação - CV (%)			47	16	23

\*RTCM – resíduo de tijolo cerâmico moído. Os resultados são a média do rompimento de 2 corpos de provas.

Os resultados relevantes estão na adição de 20% de RTCM, em patamar médio superior de 23,37% da resistência a tração por compressão diametral da dosagem base, não obstante haverem 2 resultados superiores para a adição de 10% de argila calcinada das 3 diferentes adições.

E, ao inferir o desvio padrão das amostras com os percentuais de substituição parcial em 20% do aglomerante por argila calcinada moída (RTCM) apresentou uma dispersão inferior ( $s = 0,53$ ), às outras substituições, que apresentaram desvios superiores ( $s = 1,54$  para 10% e  $s = 0,77$  para 30%).

O coeficiente de variação corrobora a substituição de 20% de RTCM por aglomerante ao apresentar o menor coeficiente, em 16%, em relação aos outros tipos de adição, o que quantifica a precisão e a homogeneidade da análise experimental das amostras, em relação as outras amostras.

Para melhor avaliação do teste de resistência mecânica à tração por compressão diametral foi realizado novos ensaios para a dosagem determinada e nas condições de substituições de cimento Portland por resíduos de tijolos cerâmicos moídos (RTCM) nas proporções de 10%, 20% e 30%.

**Quadro 17** – Resistência à tração por compressão diametral – 2º Ensaio – 3º dia.

<b>Resistência à tração por compressão diametral (MPa) - 2º Ensaio</b>					
Origem do material	Idade de ensaio (dia)	Dosagem			
		Base de referência	Tijolo cerâmico moído (RTCM*)		
			10%	20%	30%
Concreto base (referência)	3	2,90			
Cerâmica JK Ltda.		2,30	1,70	1,80	
Cerâmica Santa Catarina Ltda.		2,50	2,40	2,00	
Cerâmica Brasil Ltda.		2,80	2,60	1,90	
<b>Análise estatística dos ensaios</b>					
Desvio padrão dos ensaios (s)			0,25	0,47	0,10
Média dos ensaios (MPa)			2,53	2,23	1,90
Coeficiente de variação - CV (%)			10	21	5

**Quadro 18** – Resistência à tração por compressão diametral – 2º Ensaio – 7º dia.

<b>Resistência à tração por compressão diametral (MPa) - 2º Ensaio</b>					
Origem do material	Idade de ensaio (dia)	Dosagem			
		Base de referência	Tijolo cerâmico moído (RTCM*)		
			10%	20%	30%
Concreto base (referência)	7	3,30			
Cerâmica JK Ltda.		2,90	2,60	2,40	
Cerâmica Santa Catarina Ltda.		3,00	2,90	2,50	
Cerâmica Brasil Ltda.		2,50	3,00	2,60	
<b>Análise estatística dos ensaios</b>					
Desvio padrão dos ensaios (s)			0,26	0,21	0,10
Média dos ensaios (MPa)			2,80	2,83	2,50
Coeficiente de variação - CV (%)			9	7	4

**Quadro 19** – Resistência à tração por compressão diametral – 2º Ensaio – 28º dia.

<b>Resistência à tração por compressão diametral (MPa) - 2º Ensaio</b>					
Origem do material	Idade de ensaio (dia)	Dosagem			
		Base de referência	Tijolo cerâmico moído (RTCM*)		
			10%	20%	30%
Concreto base (referência)	28	3,80			
Cerâmica JK Ltda.		3,50	3,20	2,70	
Cerâmica Santa Catarina Ltda.		3,70	3,80	3,70	
Cerâmica Brasil Ltda.		4,20	3,70	3,00	
<b>Análise estatística dos ensaios</b>					
Desvio padrão dos ensaios (s)			0,36	0,32	0,51
Média dos ensaios (MPa)			3,80	3,57	3,13
Coeficiente de variação - CV (%)			9	9	16

Nesta etapa de avaliação da resistência mecânica à tração por compressão diametral, quando foram examinados 120 corpos de provas, com a utilização dos mesmos tipos de materiais básicos sejam agregados como aglomerante (CPII Z), e na mesma dosagem determinada, foram mensurados resultados apreciáveis com as substituições parciais do aglomerante por resíduos de tijolos cerâmicos moídos (RTCM).

Os rompimentos de corpos de provas para o 3º e 7º dias, Quadros 17 e 18 respectivamente, apresentaram resultados médios superiores aos parâmetros históricos médios, para o concreto de média resistência, que a literatura técnica indica (Mehta e Monteiro (2014), Neville e Brooks (2013)) quando comparados com os ensaios da resistência à compressão axial, Quadro 15. Que variam entre 8% a 11%, reduzindo-se ao longo do tempo. Houve acréscimos de resistência, passou no valor médio no 3º dia de 2,53 MPa, para substituição do aglomerante em 10% por RTCM, para 2,83 MPa na idade do 7º dia, em que o RTCM foi de 20%, o que representa um aumento de resistência à tração em mais de 10%, no entanto, quando comparados com o concreto base de referência 2,90 MPa e 3,30 MPa, foram inferiores, para as idades respectivas. Embora na performance estatística, em ambas as condições de idade os resultados foram congruentes quando a substituição se deu em 30% de RTCM.

Por relevância o 28º dia, Quadro 19, pós moldagem são os resultados mais observados e, neste 2º ensaio foram superiores aos 3º e 7º dias, a média ficou em 3,80 MPa, que é igual a referência base, acréscimo de mais de 13%. E superiores aos obtidos no 1º ensaio, Quadro 16, que apresentaram 2,61 MPa para o traço de referência e 3,29 MPa na substituição de aglomerante em 10% de RTCM, o que pode ser atribuído a maior quantidade de corpos de prova utilizados no 2º ensaio.

O desempenho estatístico pode ser destacado na substituição de RTCM por cimento Portland o percentual de 20% foi o melhor resultado no 28º dia, seja pelo desvio padrão  $s = 0,32$ , como pelo coeficiente de variação em 9%, não obstante a melhor média tenha sido quando do uso de 10% de RTCM, mas a diferença em relação a substituição de 20% de RTCM, foi inferior a 6%.

#### 4.2.3 – Absorção de água, índice de vazios e massa específica

Os ensaios cujos resultados encontram-se, no Quadro 20, atenderam os requisitos presentes na norma técnica ABNT NBR 9778:2009.

**Quadro 20 – Resultados dos ensaios de durabilidade dos concretos.**

Ensaio de Absorção de água, Índice de vazios e Massa específica							
Origem do material	Idade de ensaio (dia)	Ensaio	Unid.	Dosagem			
				Base de referência	Tijolo cerâmico moído (RTCM*)		
					10%	20%	30%
Concreto base (referência)	28	Absorção de água	%	3,4			
		Índice de vazios	%	7,6			
		Massa específica	g/cm³	2,443			
Cerâmica JK Ltda.	28	Absorção de água	%		3,3	<b>4,9</b>	3,9
		Índice de vazios	%		7,5	<b>10,8</b>	8,6
		Massa específica	g/cm³		2,431	<b>2,479</b>	2,437
Cerâmica Santa Catarina Ltda.	28	Absorção de água	%		3,9	<b>4,2</b>	3,5
		Índice de vazios	%		8,7	<b>9,3</b>	7,8
		Massa específica	g/cm³		2,456	<b>2,457</b>	2,428
Cerâmica Brasil Ltda.	28	Absorção de água	%		3,4	3,4	<b>3,8</b>
		Índice de vazios	%		7,6	7,6	<b>8,5</b>
		Massa específica	g/cm³		2,430	2,428	<b>2,434</b>
Análise estatística dos ensaios							
		Absorção de água	%				
Desvio padrão dos ensaios (s)					0,32	0,75	<b>0,21</b>
Média dos ensaios (MPa)					<b>3,53</b>	4,17	3,73
Coeficiente de variação - CV (%)					9	18	<b>6</b>
		Índice de vazios	%				
Desvio padrão dos ensaios (s)					0,67	1,60	<b>0,44</b>
Média dos ensaios (MPa)					<b>7,93</b>	9,23	8,30
Coeficiente de variação - CV (%)					8	17	<b>5</b>
		Massa específica	g/cm³				
Desvio padrão dos ensaios (s)					0,01	0,03	<b>0,00</b>
Média dos ensaios (MPa)					2,44	2,45	<b>2,43</b>
Coeficiente de variação - CV (%)					1	1	<b>-</b>

\*RTCM – resíduos de tijolos cerâmicos moídos.

Os dados apropriados nos ensaios, para todas as amostras, foram no 28 dia após a moldagem, idade referência para obtenção dos resultados que liberam o carregamento e utilização das estruturas, para um tipo de concreto tidos como de uso corrente ou padrão.

Na absorção de água os resultados variam na média de 3,53% a 4,17%, isto para as substituições de RTCM de 10% e 20%, respectivamente. Enquanto que a dosagem base de referência foi obtido 3,4%. A dispersão foi pequena,  $s = 0,75$ , embora coeficiente de variação resultou em 18, o que não é um bom dado, isto para a substituição parcial de cimento Portland em 20%.

O índice de vazios para a dosagem base foi 7,6%, e nas substituições parciais de RTCM de 10% e 20% apresentaram nos intervalos médios de 7,93% e 9,23%, respectivamente. A análise estatística mais aceitável é da substituição de cimento Portland por RTCM em 30% que apresentou para o desvio padrão de  $s = 0,44$  e coeficiente de variação de 5%.

Quanto a massa específica dos concretos examinados os dados médios obtidos nos ensaios ficaram muito próximos entre si, variando nas casas centesimais, logo sem expressão relevante, o que foi corroborado pelo desvio padrão e coeficiente de variação que se aproximaram de zero.

Os parâmetros comparativos para determinar a durabilidade de um concreto de uso corrente ou normal foram obtidos na literatura acadêmica especializada, dada a ausência de elementos normativos reguladores.

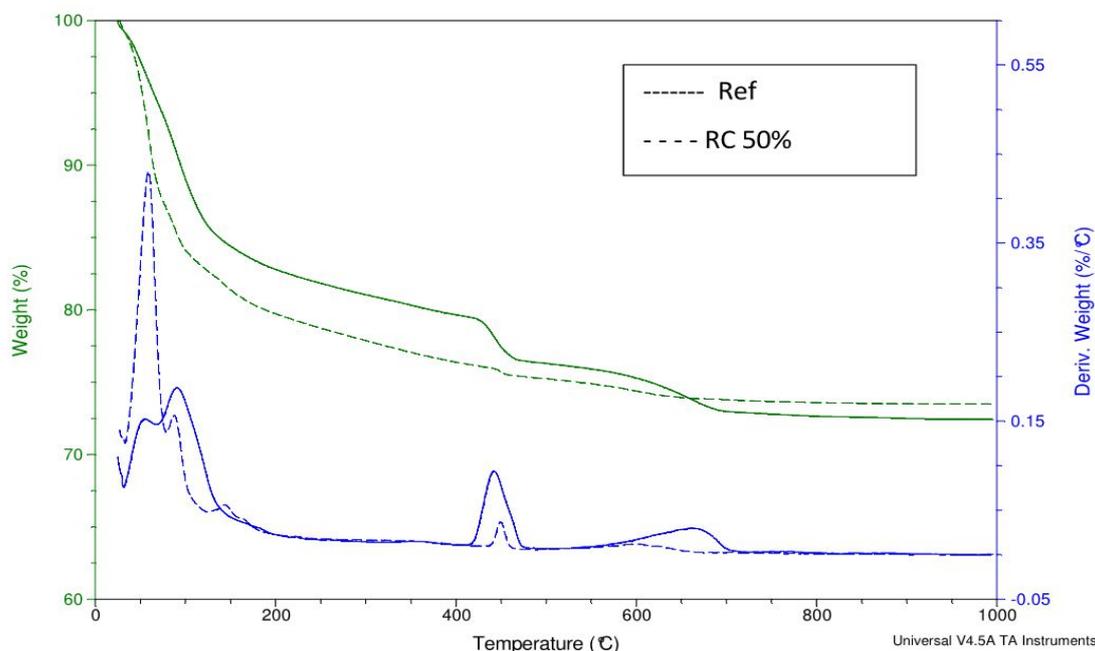
1º Helene e Medeiros (2004), informam que a absorção de água inferior a 4,5% e o índice de vazios inferior a 11%, nas mesmas condições de ensaio, são considerados concretos duráveis adequados a ambientes agressivos e úmidos.

2º Olliver e Torrenti (2014), apresentam como indicador de durabilidade a porosidade à água o limite de 20% para o concreto de uso corrente, conforme o método de ensaio utilizado pelo AFREM (associação francês que fundiu-se com a AFPC para criar a AFGC que é do grupo da RILEM).

A absorção de água como o índice de vazios apresentaram em todos os ensaios patamares de resultados inferiores às referencias mencionadas, portanto, são reguladores da durabilidade do concreto, por reduzirem o ingresso de agentes agressivos no interior do material.

#### 4.2.4 – Resultados dos ensaios de Termogravimetria

Os gráficos das análises de TG/DTG estão apresentados na figura 20. São apresentadas curvas referentes as pastas de referência (água e cimento) e as pastas RC50 (pasta com 50% de resíduo em pó da cerâmica Santa Catarina).



**Figura 20** – Gráficos de TG/DTG de pastas de cimento e resíduos cerâmico.

Para todas as pastas observa-se as transições de perda de massa no intervalo entre 35°C a 200°C. Esses picos são referentes à perda de massa em relação à água livre da mistura. Na segunda transição, entre as temperaturas de 400°C a 500°C, ocorre a desidroxilação do hidróxido de cálcio (CH). Nessa faixa, verifica-se que a pasta com substituição apresenta uma redução do pico do hidróxido de cálcio. Enquanto que para a pasta de cimento puro, esse teor chegou a 2,45%, para a mistura com uma substituição parcial de 50% do cimento pelo resíduo cerâmico, o teor ficou com apenas 0,30% aos 28 dias de cura, uma diminuição de cerca de 88% no teor de hidróxido de cálcio. Esses resultados indicam que o resíduo pozolânico apresentou uma boa atividade pozolânica na matriz cimentícia. A terceira transição pode-se constatar a fase de calcita relacionada ao carbonato de cálcio, que também apresentou uma diminuição desse componente, provavelmente, também decorrente da atividade pozolânica do resíduo cerâmico.

#### 4.2.4 – Considerações sobre os ensaios

Dos resultados em termos de resistência, observou-se uma condição já bastante conhecida, que a cinética da reação entre a pozolana e o cimento é lenta, e que os resultados das primeiras idades não são alentadores.

Todas as cerâmicas visitadas dispunham de termômetros, junto aos fornos, a obtenção destas temperaturas são através do uso de madeira, fonte energética primária, descartada pelas serrarias existentes na cidade, que são serragem de toras de árvores próximas a casca, material ainda não aproveitável pelo segmento industrial. Com a obtenção dos produtos cerâmicos mais comuns e trivial – tijolos – que após a moagem, através de processo manual, para serem incorporados nas dosagens em substituição parcial do cimento Portland.

Os resultados apresentaram propriedades mecânicas, nos traços em que houve a substituição parcial de cimento por RTCM, inferiores ao traço base de referência, cita-se a resistência do concreto à compressão em que a dosagem mais favorável foi aquela em que a substituição do cimento Portland se deu em 20% de RTCM e que a perda de resistência à compressão situou-se em 8,3%. Este tipo de resistência é a principal referência de avaliação dos concretos.

No que diz respeito aos ensaios dos concretos sobre a absorção de água e índices de vazios apresentaram resultados médios de 4,17% e 9,23% respectivamente, que são patamares para qualificar os concretos, com substituição parcial de cimento por argila calcinada – RTCM, como um tipo de concreto de uso corrente durável.

Para os ensaios de granulometria por sedimentação dos tijolos moídos – RTCM coletados apresentaram um percentual médio de presença de areia média e fina expressivo, em todas as três amostras, em mais de 45%, o que implica na presença de mineral de quartzo, prejudicando a reação

pozolânica, portanto, qualquer possibilidade de acréscimos nas resistências mecânicas aferidas.

Quanto a resistência mecânica à tração por compressão diametral, como foram feitos dois ensaios e em períodos diferentes e quantidades de corpos de provas distintos. Para efeito comparativo apenas os rompimentos de corpos de provas no 28º dia são apreciados. No 1º ensaio os resultados médios das dosagens com substituições são superiores a referência base em mais de 23%. Quanto ao 2º ensaio a mesma relação foram iguais em 3,80 Mpa. Confirma a referência histórica de variação entre 8 e 11% da resistência à compressão, e que decresce ao longo do tempo, o 1º ensaio foi de 9,66% e no 2º mais de 12,65%, logo próximos a referência. As substituições de RTCM em 20% por aglomerante são os melhores. Como são boas as aferições obtidas implicam que podem ser construídas peças de concreto com melhores desempenhos quanto as deformações, sejam imediatas ou ao longo do tempo.

O melhor desempenho do uso de resíduos de tijolos cerâmicos moídos utilizados na experiência foi, pelos resultados apresentados quanto a resistência à compressão axial, os produzidos pela Cerâmica Santa Catarina.

Em relação aos resultados apresentados pela resistência mecânica à tração por compressão diametral o melhor desempenho dos resíduos de tijolos cerâmicos – RTCM utilizados foi para o material oriundos da Cerâmica JK.

No que diz respeito aos principais ensaios que definem a durabilidade do concreto os melhores resultados obtidos são os concretos feitos com RTCM da Cerâmica Brasil, que mais se aproximaram do traço base e foram uniformes em todas as substituições parciais. Embora os resultados dos ensaios são tão próximos em todos os materiais cerâmicos coletados, que a diferenciação para fixar a melhor atividade reativa das cerâmicas calcinadas e moídas são pouco significativas em grandezas.

## 5 CONCLUSÕES

Logrou-se obter resultados bons quanto ao uso de resíduos de tijolos cerâmicos moídos (RTCM), produzidos na região oleira da cidade de Porto Velho, em substituição parcial do cimento Portland para produção de concretos convencionais ou de resistências normais.

Os melhores resultados foram obtidos quando se fez a substituição do cimento Portland em 20% em massa por cerâmica vermelha ou tijolos moídos – RTCM, e também ficou constatado as perdas de resistência mecânica à compressão axial, quando a adição mineral pozolânica de substituição foram nas quantidades em 10% e 30% nos resultados em relação ao traço base, como é esta propriedade a principal referência de avaliação e ainda a mais citada do concreto e argamassa, em quaisquer situações construtivas, não invalida a possibilidade de utilização.

Mesmo com as perdas de resistência à compressão, como principal referência das propriedades dos concretos com adições de RTCM, a verificação laboratorial da absorção de água e índices de vazios e massa específica demonstraram tratar-se de compósito possivelmente durável, com a possibilidade de ser usado em ambientes agressivos ou inóspitos, cujo efeito proporcionado foi semelhante a um fíler, pelo preenchimento de poros e vazios. Há a necessidade de verificação quanto a durabilidade a longo prazo.

O resíduo de tijolo cerâmico moído – RTCM confirmou ser uma alternativa para substituição parcial de cimento Portland na produção de concreto e argamassa, mas apresentou um baixo grau de atividade pozolânica, sem reação aparente com a portlandita, resultante da hidratação do cimento Portland, embora tiveram resultados que corresponderam a produção de um concreto que responda com eficiência as deformações construtivas, especialmente de peças (vigas) que transponham vãos, isto representado pela resistência mecânica à tração por compressão diametral, cujas experiências

realizadas, em relação ao traço base de referência, foram superiores ou iguais, cuja verificação laboratorial foram em duas etapas distintas.

Portanto, é possível a substituição parcial de cimento Portland por resíduo de tijolos cerâmicos moídos (RTCM), em percentuais de 20%, para fabricação de argamassas e concreto, que pelos parâmetros aferidos em laboratório são produtos duráveis, restando aferir a viabilidade do impacto, no processo de moagem do tijolo cerâmico, que configura o maior entrave na adoção, sem restrições, do processo de substituição, mesmo que seja como material suplementar.

Embora seja como um assunto pesquisado na utilização do mesmo material, argila calcinada, como cerâmica vermelha, na produção de tijolos, de expressivo uso na construção civil, mas que quando finamente moído, e usado como substituto parcial do cimento Portland, é por demais conhecidos em outras regiões e agora também em Porto Velho e na sua área de influência regional.

Restando para aceitação do material e como componente da construção, da cerâmica vermelha finamente moída, a demonstração da viabilidade econômica e a divulgação do processo tecnológico para fora do âmbito acadêmico, até para não se tornar apenas mais uma concepção técnica exótica restrita a meios limitados de iniciados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Disponível em [www.abcp.org.br](http://www.abcp.org.br). Panorama do Coprocessamento Brasil 2015. Acesso em 13/10/2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpo de prova, Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_ NBR 5739: Concreto – Ensaio a compressão de corpo de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_ NBR 5752: Materiais Pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias, Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_ NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_ NBR 6502: Rochas e solos – Terminologia, Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_ NBR 7181: Solo – Análise granulométrica, Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_ NBR 7211: Agregados para concreto Especificação, Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_ NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão, Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_ NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência a tração, Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_ NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_ NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência, Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_ NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_ NBR 12653: Materiais pozolânicos – Requisitos, Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_ NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_ NBR 14724: Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação, Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_ NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos, Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_ NBR NM 65: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega, Rio de Janeiro, 2003.

ÂNGULO, S.C. E FIGUEIREDO, A.D.: Concreto com Agregados Reciclados. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2011. v. 2, cap. 47, p. 1731 – 1768.

BARBOSA, N.P.; GHAVANI, K.: Terra Crua para Edificações. In ISAIA, C.G.: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2010. v. 2, cap. 48, p. 1565 – 1598.

BATTAGIN, A.F.: Cimento Portland. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2011. v. 1, cap. 06, p. 185 – 232.

CABRAL, E.M., DE SÁ, R.J., VIEIRA, R.K., VASCONCELOS, R.P.: Utilização de massas cerâmicas na produção de agregado sintético de argila calcinada para uso em concreto. Artigo. Cerâmica 54 (2008) 404-410. Manaus. 2008.

CAPMAS, A.: Prólogo: Concreto e desenvolvimento sustentável. In OLLIVER, J.P.; VICHOT, A.: Durabilidade do Concreto: Bases científicas para formulação de concretos duráveis de acordo com ambiente. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 1ª ed. 2014. cap. 1, p. 3 – 13.

CHRISTÓFOLLI, J.L.: Estudo de argilas calcinadas para produção de cimento Portland pozolânico na região de Curitiba, Paraná – Brasil. 2010. 157 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2010.

CALMON, J.L.: Resíduos Industriais e Agrícolas para a Construção Civil. In ISAIA, C.G.: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2010. v. 2, cap. 51, p. 1619 – 1688.

CARLES-GIBERGUES, A.; HORNAIN H.: A durabilidade do concreto frente as reações expansivas de origem endógena. In OLLIVER, J.P.; VICHOT, A.: Durabilidade do Concreto: Bases científicas para formulação de concretos duráveis de acordo com ambiente. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 1ª ed. 2014. parte 2, cap. 10, p. 327 – 432.

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; HASPARYK, N.P.: Microestrutura dos Materiais Cerâmicos. In ISAIA, C.G.: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2010. v. 1, cap. 11, p. 325 – 354.

CORDEIRO, C.G., DÉ SIR, J.M.: Potencial de argila de Campos dos Goytacazes, RJ, na produção de pozolanas para concreto de alta resistência. Artigo. Revista Cerâmica 56, 71-76, 2010.

DAFICO, D.A.: Método de produção de cinza de casca de arroz para utilização em concreto de alto desempenho. Artigo.

DAL MOLIN, D.C.C.: Adições Minerais. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2011. v. 1, cap. 08, p. 261 – 310.

DAL MOLIN, D.C.C.: Adições Minerais para Concreto Estrutural. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2005. v. 1, cap. 12, p. 345 – 379.

DE SANTIS, B.C.: Agregado leve de argila calcinada para uso em concreto estrutural: viabilidade da cerâmica vermelha do Estado de São Paulo. 2012. 144 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Instituto de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo. São Carlos. 2012.

DÉ SIR, J.M., DIAS, D.P., ROCH, C.A.A., DANTAS, D.R.: Avaliação da contribuição da atividade pozolânica do resíduo de tijolo moído na resistência de argamassas. Artigo. IAC-NOCMAT. Rio de Janeiro. 2005.

FARIAS FILHO, J., TOLEDO FILHO, R.D., LIMA, P.R.L.: Efeito da argila calcinada sobre a durabilidade de argamassa reforçadas com fibras curtas de sisal. Artigo. Rev. Bras. Eng. Agric. Ambiental, v.14, n.10, p.1109-1114, UA EA/UF CG. Campina Grande. 2010.

FIGUEIREDO, A.D., DE: Concreto Reforçado com Fibras. 2011. 256 f. Tese (Livre Docência). Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011.

GONÇALVES, J.P.: Desenvolvimento e Caracterização de Concretos de Baixo Impacto Ambiental Contendo Argila Calcinada e Areia Artificial. 2005. 292 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2005.

HANSEN, D.M., BREHM, F.A., MORAES, C.A.M., KULAKOWSKY, M.P.: Aplicação de Resíduo Cerâmico Calcinado como Pozolana – Uma Revisão Bibliográfica – UNISINOS. 6º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. São José dos Campos. São Paulo. Brasil. 2015.

HELENE, P.: Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2005. v. 1, cap. 1, p. 439 – 471.

HELENE, P.; ANDRADE, T.: Concreto de Cimento Portland. In ISAIA, C.G.: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2010. v. 2, cap. 29, p. 945 – 984.

HELENE, P.; MEDEIROS, M.H.F.: Estudo da Influência do *MetacaulimHP* como adição de alta eficiência em concretos de cimento Portland – EPUSP/DECC. São Paulo. 2004.

ISAIA, G.C.: A Ciência e a Engenharia de Materiais de Construção Civil. In ISAIA, C.G.: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2010. v. 1, cap. 01, p. 01 – 35.

ISAIA, G.C.: A Evolução do Concreto Estrutural. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2011. v. 1, cap. 01, p. 1 – 56.

ISAIA, C.G.: O Concreto: da Era Clássica à Contemporânea. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2005. v. 1, cap. 1, p. 1 – 43.

JOHN, V.M.: Concreto Sustentável. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2011. v. 2, cap. 50, p. 1843 – 1870.

JOHN, V.M.: Materiais de Construção Civil: Perspectivas e Desafios Futuros. In ISAIA, C.G.: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2010. v. 2, cap. 54, p. 1747 – 1759.

KAZMIERCZAK, C.S.: Produtos de Cerâmica Vermelha. In ISAIA, C.G.: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2010. v. 1, cap. 18, p. 565 – 587.

KIHARA, Y.; CENTURIONE, S.L.: O Cimento Portland. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2005. v. 1, cap. 1, p. 295 – 322.

LEVY, S.M.: Materiais Reciclados na Construção Civil: In ISAIA, C.G.: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2010. v. 2, cap. 52, p. 1689 – 1709.

MADALENA, L.N.M.: Influencia do teor em pozolana na reatividade e nas características mecânicas de argamassas. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa. 2013.

MARCONI, M.A., LAKATOS, E.M.: Metodologia do Trabalho Científico. 7ª Edição, Editora Atlas S.A. São Paulo. 2011.

MATOS NETO, J.A. de: Caracterização de estéril argiloso para utilização como pozolana. Dissertação de Mestrado. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT da Universidade Federal de Ouro Preto. OP-MG. 2013.

MEHTA, P.K. E MONTEIRO, P.J.M.: Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2ª Edição. Nicole P. Hasparyk. Editora IBRACON. São Paulo. 2014.

MELO FILHO, J.A.: Durabilidade Química e Térmica e Comportamento Mecânico de Compósitos de Alto Desempenho Reforçados com Fibras de Sisal. Tese de Doutorado. 2012. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2012.

NEVILLE, A.M.; J.J. BROOKS: Tecnologia do Concreto. 2ª Edição. Editora Bookman. São Paulo. 2013.

NEVILLE, A.M.: Propriedades do Concreto: 5ª Edição. Editora Bookman. São Paulo. 2015.

NONAT, A.: A hidratação dos cimentos. In OLLIVER, J.P.; VICHOT, A.: Durabilidade do Concreto: Bases científicas para formulação de concretos duráveis de acordo com ambiente. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 1ª ed. 2014. parte 1, cap. 2, p. 17 – 39.

PONTES, J.M.P.N.: Reatividade de Pozolanas para Argamassas e Betões. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa. 2011.

OLIVEIRA, C.E.S. e et. al.: Projeto Materiais de Construção Civil da Folha Porto Velho, Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 1ª Edição. Porto Velho. 2013.

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Site: [www.snic.org.br](http://www.snic.org.br), acessos em 13/10/2015 e 29/04/2016.

OLLIVIER, J.P.; TORRENTI, J.M.: A estrutura porosa dos concretos e as propriedades de transporte. In OLLIVER, J.P.; VICHOT, A.: Durabilidade do Concreto: Bases científicas para formulação de concretos duráveis de acordo com ambiente. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 1ª ed. 2014. parte 1, cap. 3, p. 41 – 112.

SALES, A.T.C.; ALFERES FILHO, R. dos S.: Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto. Revista Ambiente Construído, v. 14, p. 113-125, jan./mar. Porto Alegre, 2014.

SEBASTIANY, L.D.: Avaliação de Métodos de Determinação do Potencial Pozolânico de Resíduos da Indústria Cerâmica Vermelha. 2014. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. São Leopoldo, RS, 2014.

TORGAL, P.F.; JALALI, S.: Desempenho de Betões com Substituição Parcial de 20% de Cimento Portland por Resíduos Cerâmicos Moídos. Revista Betão, Nº 27, Novembro, Lisboa, 2011.

TORRADO, V.P.: *Solos do Brasil, ESALQ*. [www.mma.gov.br/port/conama/processos/FE4582B1/PabloTorrado\\_ESALQ.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/FE4582B1/PabloTorrado_ESALQ.pdf). Acessado em 30/05/2015.

TUTIKIAN, B.; HELENE, P.: Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2011. v. 1, cap. 12, p. 415 – 452.

TUTIKIAN, B.; ISAIA, G.C.; HELENE, P.: Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2011. v. 2, cap. 36, p. 1283 – 1326.

VIEIRA, A.R.: Estudo sobre as reações pozolânicas de argilas calcinadas: contributo para o desenvolvimento de geomateriais. 2013. 201 f. Tese (Doutorado Engenharia Geológica). Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. 2013.

ZAMPIERI, V.A.: Cimento Portland Aditivado com Pozolanas de Argilas Calcinadas: Fabricação, Hidratação e Desempenho Mecânico. 1993. 251 f. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

## ANEXOS:

ANEXO A – Fundamentos sobre a dosagem dos concretos.....	69
ANEXO B – Tabelas de referência adotada na dosagem do concreto (ACI).....	79
ANEXO C – Memória da dosagem do concreto para ensaio.....	83
ANEXO D – Dosagem base e com adições de RTCM.....	85
ANEXO E – Ensaio dos agregados – brita 1 e areia natural lavada.....	86
ANEXO F – Ensaio de determinação da massa específica do concreto, absorção de água e índice de vazios.....	88
ANEXO G – Ensaio de resistências à compressão e tração por compressão diametral.....	91
ANEXO H – Ensaio dos resíduos de tijolos moídos para massa real e granulometria por sedimentação e peneiramento.....	96
ANEXO I – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	99

## **ANEXO A – Fundamentos sobre a dosagem dos concretos**

Os princípios da dosagem dos concretos relacionam condicionantes necessários para obtenção boas misturas, que correspondam a natureza dos materiais afins envolvidos, que resultem nos compósitos especificados em projeto, conforme mencionados por Tutikian e Helene, (2011) como sendo os seguintes atributos:

“1) A resistência à compressão do concreto é 95% explicada pela resistência da pasta;

2) A máxima resistência será, teoricamente, alcançada com uma pasta de cimento simples;

3) Para cada dimensão máxima característica do agregado graúdo há um ponto ótimo de resistência do concreto, crescente com a redução dessa dimensão;

4) A resistência à compressão dos concretos depende da relação água / cimento;

5) Um concreto será mais econômico quanto maior a dimensão máxima do agregado graúdo e quanto menor o seu abatimento;

6) A consistência de um concreto fresco depende da quantidade de água por m<sup>3</sup>;

7) Uma dada resistência e uma dada consistência, há uma distribuição granulométrica ótima (combinação miúdo / graúdo) e minimiza a quantidade de pasta;

8) O rendimento da relação resistência à compressão (MPa) e o consumo de cimento (kg/m<sup>3</sup>) tem um ponto ótimo máximo, para cada traço e aumenta com o crescimento da resistência, ou seja, quanto maior a resistência de um concreto, maior seu rendimento em MPa/kg.”

Tutikian e Helene (2011), por relevância e necessidade de explicação da dosagem, descrevem as três principais leis que regulam o método de elaboração racional do concreto, formuladas ao longo de quase um século de observações empíricas, e que são denominadas como as Leis Clássicas da Tecnologia do Concreto:

**1ª Lei de Abrams** (1918), resultado de diversos estudos e análises de mais 50.000 corpos de provas de concreto, Duff A. Abrams elaborou o que ficou conhecido como Lei de Abrams, introduziu ainda o conceito do “**Módulo de Finura**” para a distribuição granulométrica dos agregados, e também as noções de trabalhabilidade do concreto, e após adaptação do Modelo de Abrams por Treval Powers em 1966, o enunciado assumiu o seguinte conceito: “**a resistência de um concreto, numa determinada idade ( $f_{cj}$ ), é inversamente proporcional à relação água cimento ( $a/c$ ).**” A expressão matemática é representada como:

$$f_{cj} = \frac{k_1}{k_2^{a/c}}$$

Equação. 03

**2º Lei de Lyse** (1932), proposta por Inge Lyse em 1932, demonstrou que respeitados certos limites e mantidos os mesmos materiais, é possível considerar a massa de água por unidade de volume de concreto como principal elemento da consistência do concreto fresco, ficando assim o enunciado: “**fixados o cimento e agregados, a consistência do concreto fresco depende preponderantemente da quantidade de água por metro cúbico de concreto**” e normalmente expressa por:

$$m = k_3 + k_4 \cdot \frac{a}{c}$$

Equação. 04

**3º Lei de Priszkulnik & Kirilos** (1974): “**o consumo de cimento por metro cúbico de concreto varia na proporção inversa da relação em massa seca de agregados/cimento ( $m$ ).**” Cujas a expressão que representa é:

$$C = \frac{1000}{k_5 + k_6 \cdot m}$$

Equação. 05

Sendo os dados:

$f_{cj}$  = resistência à compressão do concreto para a idade de  $j$  dias, em MPa;

$m$  = relação em massa seca de agregados/cimento, em kg/kg;

$a/c$  = relação em massa de água/cimento, em kg/kg;

$C$  = consumo de cimento por  $m^3$  de concreto adensado em  $kg/m^3$ ;

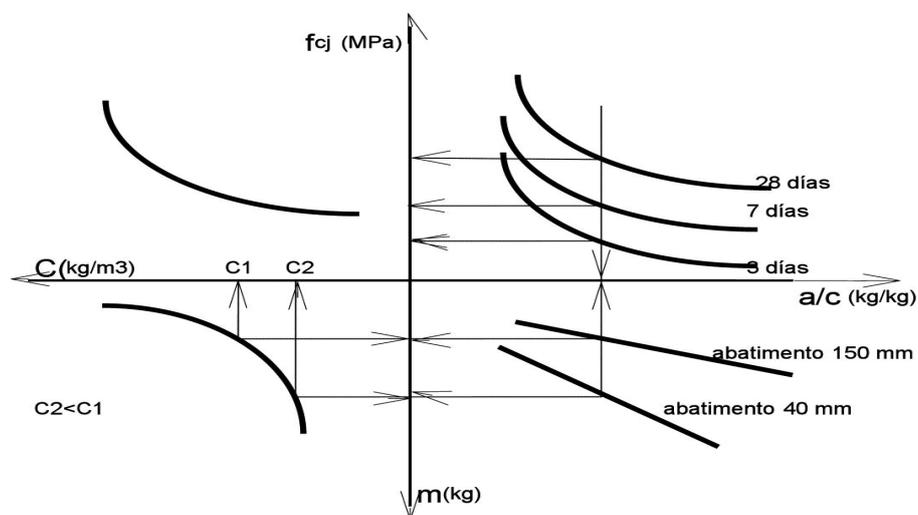
$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$  e  $k_6$  são constantes particulares de cada conjunto de mesmos materiais.

As três leis podem ser agrupados em um diagrama gráfico, em que o 1º quadrante da Figura 14, relaciona no eixo da ordenada a resistência à compressão do concreto num determinado tempo, no 3º, 7º e 28º dias, datas convencionais aceitas de maneira geral, dada a comprovação empírica, nestas datas de resultados admitidos como válidos, em função do fator água / cimento (a/c), no segmento da abscissa, representa a Lei de Abrams (1918).

No segundo quadrante da Figura 14, o fator água / cimento (a/c) se correlaciona com os agregados em massa seca, e nesta situação corresponde ao eixo da ordenada, está é a Lei de Lyse (1932). Enquanto que no terceiro quadrante a massa seca dos agregados estabelece o consumo de cimento, em relação inversa, é a representação gráfica da Lei de Priszkulnik & Kirilos (1974).

Este ordenamento gráfico, segundo Tutikian e Helene (2011), mostrado na Figura 14, foi elaborado por Priszkulnik & Kirilos em 1974, e denominado de **Diagrama de Dosagem do Concreto** que corresponde ao modelo de comportamento das misturas dos materiais necessários na produção do concreto, e que contribui para o seu entendimento.

Na Figura 14, em que conjuga as leis mencionadas e suas respectivas expressões matemáticas, com a inserção de propriedades inerentes ao concreto, cuja constituição de dosagem de materiais são as mesmas, também para a consistência, é o concreto fresco no abatimento do tronco de cone.

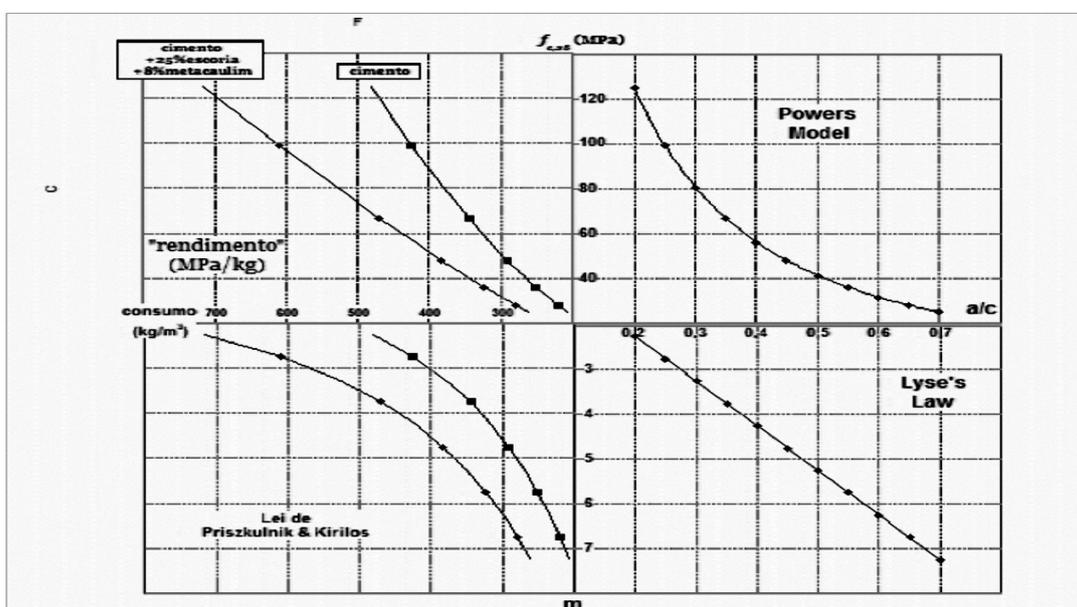


**Figura 21** – Diagrama de dosagem dos concretos de cimento Portland. (Tutikian e Helene, 2011).

Tutikian e Helene (2011) entendem que esta verificação se deve a um modelo estabelecido por uma teoria atual e abrangente das técnicas de dosagens proposta por Treval Powers em 1966, em que relacionou a resistência à compressão a paridade de outras condições e propriedades, que ficou caracterizado como **modelo de Powers**.

Como mostrado na Figura 15, que pode ser observado para uma família de concreto de mesmos materiais e consistência fluída, porém com propriedades (resistência, módulo de elasticidade, resistividade, difusibilidade, absorção de água, permeabilidade, entre outras) bem diferentes qualquer que seja o traço escolhido.

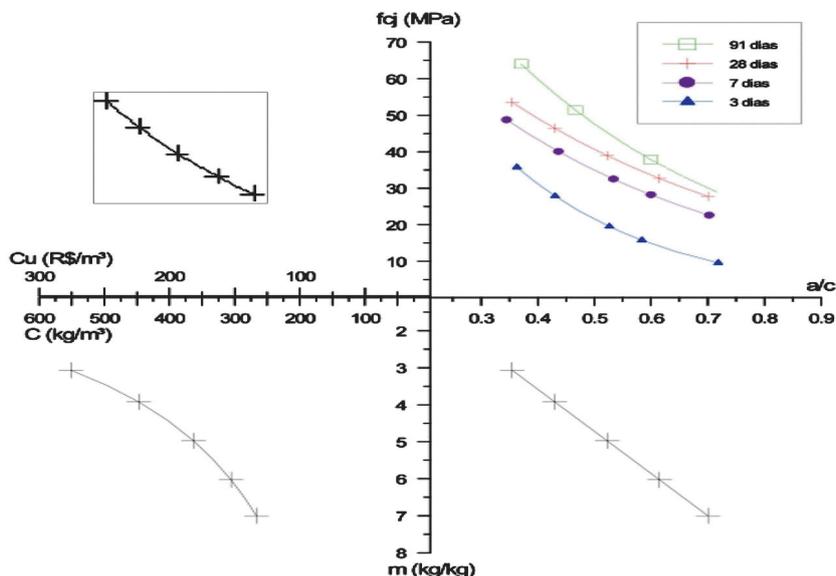
Observe-se que, no 4º quadrante, da Figura 15, a análise de sustentabilidade tanto pode ser realizada tomando-se por base o consumo total de materiais cimentícios (cimento + escória + metacaulim), quanto tomando-se por base apenas o consumo de cimento Portland, uma vez que é o clínquer o maior responsável, pela emissão de gases estufa, dos elementos constituintes do concreto, (TUTIKIAN e HELENE, 2011).



**Figura 22** – Diagrama de dosagem típico de uma família de concreto de mesmos materiais e mesma consistência. (Tutikian e Helene, 2011).

Continuam Tutikian e Helene (2011), que o avanço posterior se deu na evolução do diagrama representativo da dosagem do concreto por Helene e

Tango que introduziram no quarto quadrante o custo financeiro, conforme verificado na Figura 16, no 4º quadrante do diagrama de dosagem foi inserido na abscissa, onde consta o cimento, na parte superior, o custo financeiro do concreto por metro cúbico, caracterizado como curva de custo:



**Figura 23** – Diagrama de Dosagem com a curva de custo no quarto quadrante, correlacionando resistência à compressão e custo de concreto por metro cúbico. O gráfico deve sempre ser utilizado no sentido horário a partir da curva de custo e para aproximações. (Tutikian e Helene, 2011).

Mehta e Monteiro (2014), consideram que a dosagem do concreto pelo “método do peso é considerado menos preciso, mas não requer informações sobre a massa específica dos materiais usados na produção do concreto. O método do volume absoluto é considerado mais preciso. Ambos os métodos devem dispor das seguintes informações antes de iniciarem os cálculos:

- Granulometria dos agregados miúdos e graúdos, módulo de finura;
- Massa unitária do agregado graúdo no estado compactado seco;
- Massa específica dos materiais;
- Capacidade de absorção ou umidade livre no agregado;
- Variação aproximada da água de amassamento com o abatimento, teor de ar e granulometria dos agregados disponíveis;
- Relação entre a resistência e a razão água/cimento, para as combinações disponíveis de cimento e agregado;

- Especificações da obra, se existentes – como relação água/cimento máxima, teor de ar mínimo, abatimento mínimo, dimensão máxima característica do agregado e resistência nas primeiras idades (normalmente, a resistência aos 28 dias é especificada).

Diante destas prescrições, o que Mehta e Monteiro (2014), denominam de passos para dosagem do concreto, definido pelo Manual do Concreto Prático do American Concrete Institute – ACI (2012). Segundo menção dos autores as tabelas para dosagem do concreto foram publicadas sob permissão do ACI e estão no Anexo 2.

**Passo 1: Escolha do Abatimento.** O abatimento deve ser mencionado pelo engenheiro projetista, mas quando não for especificado, pode-se utilizar o Quadro 21, para selecionar a consistência mais seca possível, mas que possam ser facilmente lançadas e compactadas sem segregação, o que é uma recomendação da ACI. Ou ainda no Quadro 22 que contém recomendações para elaboração de concreto e sua classificação pela consistência no estado fresco estabelecido pela ABNT, através da norma técnica NBR 8953:2015.

Ambos os procedimentos foram utilizados para dosagem adotada.

**Quadro 21** – Abatimento recomendado para vários tipos de construção.

Tipo de construção	Abatimento (mm)	
	Máximo*	Mínimo
Paredes de fundações armadas e sapatas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes de vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifício	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Concreto massa	50	25

\* Pode ser aumentado em 25 mm com uso de métodos de consolidação que não a vibração

Fonte: American Concrete Institute – ACI, apud Tabela 9-1 – Mehta e Monteiro, 2014.

**Quadro 22 – Classes de consistência para o concreto**

Classe	Abatimento (mm)	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrudado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipo de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	$\geq 220$	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras
NOTA 1	De comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência, explicitando a respectiva faixa de variação do abatimento.	
NOTA 2	Os exemplos desta Tabela são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de aplicações	

Fonte: Tabela 2 – Classes de consistência da ABNT NBR 8953:2015.

Nas misturas de concreto para serem lançadas por bombas são tipicamente projetadas para abatimento entre 100 mm e 150 mm.

2) **Passo 2: Escolha da dimensão máxima do Agregado.** Em geral, a dimensão máxima do agregado graúdo deve ser a maior considerada economicamente viável e consistente com as dimensões da estrutura. O ACI recomenda que, em nenhuma hipótese, a dimensão máxima do agregado exceda um quinto da menor dimensão entre as faces da forma, um terço da profundidade das lajes, ou três quartos do espaço livre mínimo entre as armaduras.

3) **Passo 3: Estimativa do consumo de água de amassamento e do teor de ar.** Consumo da água de amassamento por volume unitário de concreto necessária para produzir um determinado abatimento depende, principalmente, da dimensão máxima das partículas do agregado e da presença ou não do ar incorporado na mistura.

4) **Passo 4: Seleção da relação água/cimento.** A recomendação é desenvolver a relação entre a resistência e a relação água/cimento para os materiais que

serão efetivamente utilizados. Embora existam tabelas com indicações de relações para dosagens experimentais. No Quadro 23 que é fornecida pela norma técnica ABNT NBR 6118/2014, estabelece patamares máximos da relação água/cimento, conforme o tipo de concreto e a classe de agressividade ambiental em que a construção está inserida.

**Quadro 23** – Classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto kg/m <sup>3</sup>	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360
CA – Componentes e elementos estruturais de concreto armado					
CP – Componentes e elementos estruturais de concreto protendido					

Fonte: Tabela 7.1 da ABNT NBR 6118:2014 e Tabela 2 da NBR 12655:2015. (Adaptado).

5) **Passo 5: Estimativa do consumo de cimento.** É obtido dividindo-se o consumo de água da mistura do **Passo 3** pela relação água/cimento (*a/c*).

6) **Passo 6: Estimativa de consumo de agregado graúdo.** Por racionalidade o volume de agregado graúdo deve ser obtido no estado seco e compactado, por volume unitário de concreto, desde que conhecido o módulo de finura (MF) do agregado miúdo (areia), conceito e fórmula introduzido por Duff Abrams em 1918, e ainda válido  $MF = 7,94 + 3,32 * \log D_{máx.}$  (Equação. 6), sendo  $D_{máx.}$  - dimensão máxima característica do agregado, referência básica para agregado miúdo – areia.

7) **Passo 7: Estimativa do consumo de agregado miúdo.** Sua quantidade é determinada por diferença, pelo “*método do peso*” ou do “*volume absoluto*”.

Para o “*método do peso*” o agregado miúdo é a diferença entre a massa específica do concreto e os pesos totais da água, cimento e agregado graúdo.

Enquanto que pelo “*método do volume absoluto*”, o volume total ocupado pelos componentes conhecidos – água, ar, cimento e agregado graúdo – é subtraído do volume unitário de concreto para que se obtenha o volume de agregado miúdo, que pode ser convertido em unidade de massa se multiplicado pela massa específica do material.

8) **Passo 8: Ajustes da umidade do agregado.** Como os agregados estocados podem estar úmidos, deve haver correção da umidade, uma vez que a condição de dosagem para o agregado é *saturado com superfície seca* (SSS). Logo há que ser corrigida a água de amassamento pela redução da quantidade, com o correspondente acréscimo de agregados.

9) **Passo 9: Ajustes na mistura experimental.** Como as quantidades de dosagem são resultados de hipotéticos cálculos teóricos, as proporções dos materiais dosados devem ser verificadas e ajustadas por meio de ensaios de laboratório, os quais consistem em pequenas amostras.

O resultado dos ensaios definirão a mistura que atenderá os critérios de projeto, essencialmente a **trabalhabilidade e resistência**.

O **abatimento** é uma referência para obtenção da dosagem esperada, pelos ensaios feitos com o intervalo de seus parâmetros extremos.

O cálculo da resistência de dosagem estabelecida pela ABNT NBR 12655:2015, é que devem atender as condições de variabilidade prevaletentes durante a construção.

Esta variabilidade medida pelo desvio-padrão  $s_d$ , é levada em conta no cálculo da resistência de dosagem, segundo a equação:

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 \times s_d$$

Equação. 07

$f_{cmj}$  = é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, expressa em megapascals (MPa);

$f_{ckj}$  = é a resistência característica do concreto à compressão, aos j dias, expressa em megapascals (MPa);

$S_d$  = é o desvio-padrão da dosagem, expresso em megapascals (MPa). Em nenhum caso, o valor do desvio-padrão pode ser menor que 2 MPa.

O cálculo da resistência de dosagem do concreto depende, entre outras variáveis, das condições de preparo do concreto, conforme resumida no Quadro 24, em que há a classificação das condições de preparo do concreto, a inserção nas classes de concreto conforme a norma técnica ABNT NBR 8953:2015 e o uso correspondente do desvio-padrão que se ajusta ao concreto desejado.

**Quadro 24 – Condições de preparo do concreto**

Condição de preparo do concreto	Aplicação	Materiais	Desvio-padrão MPa
<b>A</b>	Aplicável a todas as classes de concreto	Cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume.	<b>4,0</b>
<b>B</b>	Pode ser aplicada às classes C10 a C20	Cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume com dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume.	<b>5,5</b>
<b>C</b>	Pode ser aplicada apenas aos concretos de classe C10 e C15	Cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume e água de amassamento é medida em volume	<b>7,0</b>

Fonte: Norma técnica ABNT NBR 12655:2015 – Tabela 6 e subitem 5.6.3.1 – adaptado.

## ANEXO B – Tabelas de referência adotada na dosagem do concreto (ACI):

**TABELA 9-2 Requisitos aproximados de água e teor de ar para diferentes abatimentos e dimensão nominal máxima dos agregados.** – pág. 363.

**Consumo de água, em kg/m<sup>3</sup> de concreto, para as dimensões nominais máximas de agregado indicadas**

Abatimento, mm	9,5*	12,5*	19,0*	25,0*	37,5*	50,0* <sup>1</sup>	75,0 <sup>1</sup>	150,0 <sup>1</sup>
<b>Concreto sem ar incorporado</b>								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	–
Mais de 175*	–	–	–	–	–	–	–	–
Quantidade aproximada de ar aprisionado no concreto sem ar incorporado %	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
<b>Concreto ar incorporado</b>								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	–
Mais de 175*	–	–	–	–	–	–	–	–
Médias recomendadas do teor total de ar, %, por nível de exposição:								
Exposição amena	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5 <sup>2,3</sup>	1,0 <sup>2,3</sup>
Exposição moderada	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5 <sup>2,3</sup>	3,0 <sup>2,3</sup>
Exposição severa	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5 <sup>2,3</sup>	4,0 <sup>2,3</sup>

\* As quantidades de água de amassamento dadas para o concreto com ar incorporado se baseiam em requisitos típicos de teor total de ar, apresentados como “exposição moderada” na tabela acima.

<sup>1</sup> Os valores de abatimento para concretos que contenham agregados maiores que 37,5 mm têm base em ensaios de abatimento feitos após a remoção de partículas maiores que 37,5 mm, por peneiramento via úmida.

<sup>2</sup> No caso de concretos que contenham agregados com dimensões máximas superior a 37,5 mm, e sofreram peneiramento por via úmida antes da determinação do teor de ar, espera-se uma porcentagem de ar correspondente àquele com dimensão máxima de 37,5 mm na coluna correspondente. No entanto, os cálculos iniciais de proporção devem incluir o teor de ar como uma porcentagem do concreto integral.

<sup>3</sup> Quando se usa agregados de grandes dimensões em concreto de baixo consumo de cimento, a incorporação de ar não é necessariamente prejudicial para a resistência. Na maioria dos casos, o consumo de água de amassamento é reduzido o suficiente para compensar a perda de resistência ocasionada pela incorporação de ar. Geralmente, portanto, para essas grandes dimensões nominais máximas do agregado, deve-se considerar os teores de ar recomendados para exposição severa, ainda que haja pouca ou nenhuma exposição à umidade ou ao congelamento.

**TABELA 9-3 Relações entre a relação água / cimento e a resistência à compressão do concreto.** – pág. 364.

Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)*	Relação água / cimento, em massa	
	Concreto sem ar incorporado	Concreto com ar incorporado
40	0,42	–
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

\* Os valores são estimativas da resistência média de concretos que contenham percentuais de ar que não ultrapassem os valores mostrados na Tabela 9-2. Para uma relação água/cimento constante, a resistência do concreto é reduzida na medida em que o teor de ar é aumentado. A resistência se baseia em corpos de prova de 15 cm por 30 cm aos 28 dias de cura úmida, a  $[23 \pm 1,7]$  °C de acordo com a Seção 9 (b) da ASTM C31 – *Making and Curing Concrete Compression and Flexure Test Specimens in the Field*.

FONTE: Reproduzido sob permissão do *American Concrete Institute*.

**TABELA 9-4 Recomendações para o concreto de peso normal sujeito ao ataque por sulfato.** – pág. 364.

Exposição	Sulfato* (SO <sub>4</sub> ) hidrossolúvel no solo (% em massa)	Sulfato* (SO <sub>4</sub> ) em água (ppm)	Requisitos para materiais cimentícios	Relação água / material cimentício, máxima
Classe 0	0,00 – 0,10	0 – 150	–	–
Classe 1*	0,10 – 0,20	150 – 1.500	Tipo II ou equivalente	0,50
Classe 2	0,20 – 2,00	1.500 – 10.000	Tipo V ou equivalente	0,45
Classe 3	Acima de 2,00	Mais de 10.000	Tipo V + pozolana e/ou escória	0,40

\* O sulfato expresso como SO<sub>4</sub> está relacionado ao sulfato expresso nas análises químicas de cimento SO<sub>3</sub>, como segue  $SO_3 \times 1,2 = SO_4$ .

<sup>1</sup> Quando há presença de cloretos ou outros agentes despassivantes além do sulfato, pode ser necessária uma relação água / cimento mais baixa para reduzir o potencial de corrosão da armadura. Ver Capítulo 5.

FONTE: ACI Committee 201, Report 201.2R-08: Guide to Durable Concrete, *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 1, Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008.

**TABELA 9-5 Volume de agregado graúdo por unidade de volume de concreto.** – pág. 365.

Dimensão máxima dos agregados (mm)	Volume de agregados graúdos secos* por unidade de volume de concreto, para diferentes módulos de finura da areia			
	MF <sub>areia</sub> = 2,40	MF <sub>areia</sub> = 2,60	MF <sub>areia</sub> = 2,80	MF <sub>areia</sub> = 3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0	0,66	0,64	0,62	0,60
25,0	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50,0	0,78	0,76	0,74	0,72
75,0	0,82	0,80	0,78	0,76
150,0	0,87	0,85	0,83	0,81

\* Volumes com base nos agregados no estado compactado seco, conforme descrito na ASTM C 29, *Unit Weight of Aggregate*. Esses volumes são selecionados a partir de relações empíricas para produzir concreto com um grau de trabalhabilidade adequado para construções armadas usuais. Para se obter concreto de menor trabalhabilidade, como o necessário para a construção de pavimentos, podem-se aumentar os volumes em cerca de 10%; para um concreto com maior trabalhabilidade, como pode ser necessário quando o lançamento é por bombeamento, podem-se reduzir os volumes em até 10%.

FONTE: Reproduzido sob permissão do *American Concrete Institute*.

**TABELA 9-6 Estimativa inicial da massa específica do concreto no estado fresco.** – pág. 365.

Dimensão máxima dos agregados (mm)	Estimativa inicial da massa específica do concreto fresco* em kg/m <sup>3</sup>	
	Concreto sem ar incorporado	Concreto com ar incorporado
9,5	2.280	2.200
12,5	2.310	2.230
19,0	2.345	2.275
25,0	2.380	2.290
37,5	2.410	2.350
50,0	2.445	2.345
75,0	2.490	2.405
150,0	2.530	2.435

\* Valores calculados para dosagem de concreto de consistência média (330 kg de cimento por m<sup>3</sup>), com massa específica do agregado de 2.700 kg/m<sup>3</sup>. Consumo de água com base em valores de 75 mm a 100 mm de abatimento, conforme a Tabela 9-2. Caso desejado e se as informações necessárias estiverem disponíveis, pode-se refinar a estimativa da massa específica da seguinte forma: para cada diferença de 5 litros de água da Tabela 9-2, para 75 mm a 100 mm de abatimento, corrigir a massa específica em 9 kg/m<sup>3</sup>, corrigir a massa específica do concreto em 9 kg/m<sup>3</sup> na mesma direção; para cada 0,1 de desvio dos 2,7 no peso específico do agregado, corrigir o peso do concreto em 60 kg/m<sup>3</sup> na mesma direção.

FONTE: Reproduzido sob permissão do *American Concrete Institute*.

**TABELA 9-1 Abatimento recomendado para vários tipos de construção.** – pág. 361.

Tipos de construção	Abatimento (mm)	
	Máximo*	Mínimo
Paredes de fundações armadas e sapatas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes da vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifício	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Concreto massa	50	25

\* Pode ser aumentado em 25 mm com o uso de métodos de consolidação que não a vibração.

FONTE: Reproduzido sob permissão do *American Concrete Institute*.

Observações:

**1) Ajustes da umidade do agregado.**

Geralmente, os agregados estocados estão úmidos. Sem a correção da umidade, o valor real da relação água/cimento da dosagem de ensaio será maior do que o selecionado e os pesos na condição de saturado com superfície seca (SSS) dos agregados serão menores do que os estimados. Considera-se que as proporções determinadas têm base em condições SSS. Para misturas experimentais, dependendo da quantidade de umidade livre nos agregados, diminui-se a água de amassamento e aumentam-se correspondentemente as quantidades de agregados, como será mostrado mais adiante por meio de cálculos simples.

**2) Ajustes na mistura experimental.**

Por causa de uma série de hipóteses em que baseiam os cálculos teóricos, as proporções para os materiais a serem utilizados devem ser verificadas e ajustadas por meio de ensaios de laboratório, os quais consistem em pequenas amostras (por exemplo, 7,65 dm<sup>3</sup> de concreto). Deve-se testar o concreto no estado fresco quanto ao abatimento, trabalhabilidade (livre de segregação), massa específica e teor de ar; corpos de prova de concreto endurecido curados sob condições normalizadas devem ser ensaiados quanto à resistência na idade especificada. Após vários ensaios, quando se obtém uma mistura de acordo com os critérios desejados de trabalhabilidade e resistência, as proporções da amostra reduzida feita em laboratório são ampliadas visando à produção de quantidades necessárias para obras.

**a) Método de dosagem:**

**a.1) ACI 211.1** – *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy Weight, and Mass Concrete*. Pág. 353.

**a.2) ACI Committee 201, Report 201.2R-08:** *Guide to Durable Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2012.*

**a.3) ACI 322** – *Building Code Requirement for structural Plain Concrete*, e

**a.4) ACI 318** – *Building Code Requirements for Reinforced Concrete*. Pág. 370.

**b) Fonte: Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais** – (P.K. Mehta e P.J.M.Monteiro).

## ANEXO C – Memória da dosagem do concreto para ensaio

### Dosagem do concreto para ensaio

#### a) Método da dosagem

a.1) **ACI 211.1 – Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy Weight, and Mass Concrete. Pág. 353.**

a.2) **ACI 322 – Building Code Requirement for structural Plain Concrete, e**

a.3) **ACI 318 – Building Code Requirements for Reinforced Concrete. Pág. 370.**

b) **Fonte: Microestrutura, Propriedades e Materiais – (P.K. Mehta e P.J.M. Monteiro)**

c) **ABNT NBR 8953:2015 – Tabelas 1 e 2.**

d) **ABNT NBR 12655:2015 – Tabelas 1, 2 e 6.**

e) **Condição dos agregados: saturado com superfície seca – SSS dos agregados**

#### 1) Concreto – C30 S100

1.1 Tipo adotado – C30 S100

1.2 Resistência característica de projeto –  $f_{ck} = 30\text{MPa}$

1.3 Condição de preparo do concreto:

1.3.1 Condição A

1.3.2 Aplicável a todas as classes de concreto.

1.3.3 Cimento e agregados medidos em massa e água em volume.

1.3.4 Desvio padrão –  $Sd = 4,0\text{ MPa}$

1.3.5  $f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 \times Sd = 30 + 1,65 \times 4,0$  **36,6 MPa**

1.4 Classes de consistência – S100

1.4.1 Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto.

1.5 Os pesos na condição de saturado com superfície seca (SSS) dos agregados.

#### 2) Consumo de água

2.1 Tabela 9.2 – pág. 363

2.2 Sem ar incorporado

2.3 Agregado graúdo – brita 1 =  $\varnothing 19,0\text{ mm}$

2.4 Água =  $205\text{ kg/m}^3$  **205 kg/m<sup>3</sup>**

2.5 Ar aprisionado no concreto – 2%

#### 3) Relação água e cimento e a resistência à compressão do concreto

3.1  $f_{cmj} = 36,6\text{ MPa}$

3.2 concreto sem ar incorporado

3.3 Tabela 9.3 – 363

3.3.1 Interpolação linear –  $a / c = 0,454$  **0,454**

#### 4) Consumo de cimento

4.1 Relação água e cimento –  $a/c = 0,454$

4.2 Consumo de água –  $a = 205\text{ kg/m}^3$

4.3 Consumo de cimento –  $c = 451,54\text{ kg/m}^3$  **451,54 kg/m<sup>3</sup>**

<b>5)</b>	<b>Consumo de brita 1 – D<sub>máx</sub> = 19,0 mm</b>			
5.1	Tabela 9.5 – pág. 365			
5.2	Dimensão máxima da brita 1 – 19,0 mm			
5.3	Módulo de finura da areia – 2,845 – ensaio laboratório			
5.4	Interpolação linear – brita 1 = 0,6155			
5.5	Massa unitária da brita 1 – 1,43 kg/m <sup>3</sup> – ensaio laboratório			
5.6	consumo de brita 1 – 0,6155 x 1,43 x 1000 -		<b>880,165 kg/m<sup>3</sup></b>	
<b>6)</b>	<b>Consumo de areia</b>			
6.1	Método do volume:			
6.1.1	Volume de água – 205 / 1,00		205	
6.1.2	Volume de cimento – 451,54 / 3,1	145,6580645161		
6.1.3	Volume de brita 1 – 880,165 / 2,61	337,2279693487		
6.1.4	Ar aprisionado no concreto – 2%		20	
6.1.5	Total	707,8860338648		
6.1.6	Volume de areia – 1000 – 707,886034	292,1139661352		
6.1.7	Consumo de areia – 292,113966x2,6	759,4963119516 kg/m <sup>3</sup>		
6.2	Método do peso			
6.2.1	Tabela 9.6 – pág. 365			
6.2.2	Dimensão máxima da brita 1 – 19,0 mm			
6.2.3	Massa específica do concreto fresco			
6.2.4	Sem ar incorporado – concreto – 2.345 kg/m <sup>3</sup>			
6.2.5	Consumo de areia – 2.345 – (205+451,54+880,165)		808,295 kg/m <sup>3</sup>	
6.3	Consumo de areia adotado		<b>760 kg/m<sup>3</sup></b>	
7)	Ajuste da umidade na dosagem: para umidade acima da condição SSS (%)			
7.1	Material	Dosagem (SSS)	Correção	
			Corrigida	
	<b>Cimento</b>	451,54	-	<b>450 kg/m<sup>3</sup></b>
	<b>Areia</b>	759,49631	0,025 = 19,0	<b>760 kg/m<sup>3</sup></b>
	<b>Brita 1</b>	880,165	0,005 = 4,4	<b>880 kg/m<sup>3</sup></b>
	<b>Água</b>	205,00	205-23,4 = 182	<b>205 kg/m<sup>3</sup></b>
				<b>2295 kg/m<sup>3</sup></b>

## ANEXO D – Dosagem base e com adições de RTCM.

### ADIÇÃO DE ARGILA CALCINADA EM COMPÓSITOS DE CIMENTO PORTLAND – MATERIAIS CIMENTÍCIOS

Materiais	kg/m <sup>3</sup>	Unitário pelo cimento		<u>Substituição do cimento por RTCM</u>		
		450 kg/m <sup>3</sup>		10%	20%	30%
cimento	450	1,00	1,00	0,90	0,80	0,70
tijolo moído	–	–	–	0,10	0,20	0,30
areia	760	1,69	1,70	1,7	1,7	1,7
brita 1	880	1,96	1,95	1,95	1,95	1,95
água	205	0,456	0,46	0,46	0,46	0,46
total	2295	5,10	5,11	5,11	5,11	5,11

Materiais	<u>Quantidades nos traços (kg)</u>			
	Base	10%	20%	30%
cimento	10	9	8	7
tijolo moído	0	1	2	3
areia	17	17	17	17
brita 1	19,5	19,5	19,5	19,5
água	4,6	4,6	4,6	4,6
total	51,1	51,1	51,1	51,1

Base	<b>Corpo de prova</b>			
		10%	20%	30%
Cerâmica JK Ltda.		12	12	12
Cerâmica Santa Catarina Ltda.		12	12	12
Cerâmica Brasil Ltda.		12	12	12
Total	12	36	36	36
				120

<b>Ensaio:</b>	<b>Romper os corpos de prova</b>
	<b>Dias de cura</b>
- Resistência à compressão axial	1 / 3 / 7 / 28 / 63 / 91 / 182
- Resistência à tração por compressão diametral	28
- Absorção d'água	28
- Massa específica real	28
- Índice de vazios	28
- Granulometria de agregados para concreto	

OBS.: **RTCM – Resíduo de Tijolos Cerâmicos Moídos.**

**ANEXO E – Ensaios dos agregados – brita 1 e areia natural lavada.**

**ANEXO E.1 – Ensaios do agregado graúdo (granito) – brita 1.**

PENEIRA (mm)		PESO RETIDO	PORCENTAGEM	
			RETIDA	ACUMUL.
76				
64				
50				
38				
32				
25			-	
19			-	
12,5	683	22,6 %	22,60 %	
9,5	1231	40,7 %	63,34 %	
6,3	933,0	30,9 %	94,21 %	
4,8	146,0	4,8 %	99,04 %	
2,4			99,04 %	
1,2			99,04 %	
0,6			99,04 %	
0,3			99,04 %	
0,15			99,04 %	
FUNDO	29,0	1,0 %		<b>100%</b>
TOTAL	3022		100 %	

DESCRIÇÃO	RESULTADOS
MASSA UNITÁRIA NBR NM 53	<b>1,43 kg/dm<sup>3</sup></b>
MASSA ESPECÍFICA NBR NM 53	<b>2,61 kg/dm<sup>3</sup></b>
TEOR DE ARGILA NBR 7218	<b>Isento %</b>
MATERIAIS PULVERULENTOS NBR NM 46	<b>0,8 %</b>
ABSORÇÃO NBR NM 53	<b>0,64 %</b>
IMPUREZAS ORGÂNICAS NBR NM 49	<b>&lt; 300 ppm</b>
MÓDULO DE FINURA NBR 7211	<b>6,576</b>
DIÂMETRO MÁXIMO NBR 7211	<b>19 mm</b>
COEFICIENTE DE VAZIOS -	<b>45,34 %</b>

CURVA GRANULOMÉTRICA

O gráfico apresenta o seguinte conteúdo:

- Eixo Y:** RETIDO ACUMULADO (%), variando de 0 a 120.
- Eixo X:** ABERTURA DAS PENEIRAS (mm), com valores: 0,15, 0,3, 0,6, 1,2, 2,4, 4,8, 6,3, 9,5, 12,5, 19, 25, 32, 38, 50, 64, 76.
- Legenda:**
  - LIMITE INFERIOR (linha cinza)
  - ENSAIO (linha vermelha)
  - LIMITE SUPERIOR (linha preta)
- Observação:** A curva do ensaio começa em 100% para peneiras até 4,8 mm e desce para 0% a partir de 19 mm, permanecendo dentro dos limites estabelecidos.

OBSERVAÇÕES:

Betontech Controle Tecnológico

## ANEXO E.2 – Ensaios do agregado miúdo – areia natural lavada.

		<b>AGREGADOS PARA CONCRETO NBR 7211/05</b>																			
INTERESSADO: ARMIN BOERO																					
MATERIAL: AREIA NATURAL LAVADA		PROC. DNPM:																			
LOCAL: PORTO VELHO		CERTIFICADO No. : 002/16																			
Cord. Geogr.:		DATA DO ENSAIO : 11/01/2016																			
<b>GRANULOMETRIA</b>		<b>ENSAIOS</b>																			
PENEIRA (mm)	PESO RETIDO	PORCENTAGEM																			
		RETIDA	ACUMUL.																		
76																					
64																					
50																					
38																					
32		-																			
25		-																			
19		-																			
12,5		-																			
9,5		-																			
6,3		-																			
4,8	4,0	0,4 %	0,40 %																		
2,4	54,0	5,4 %	5,82 %																		
1,2	174,0	17,5 %	23,27 %																		
0,6	374,0	37,5 %	60,78 %																		
0,3	337,0	33,8 %	94,58 %																		
0,15	50,0	5,0 %	99,60 %																		
FUNDO	4,0	0,4 %	<b>100%</b>																		
TOTAL	997	100 %																			
		<table border="1"> <tr> <td>MASSA UNITÁRIA NBR NM 53</td> <td><b>1,47 kg/dm<sup>3</sup></b></td> </tr> <tr> <td>MASSA ESPECÍFICA NBR NM 53</td> <td><b>2,60 kg/dm<sup>3</sup></b></td> </tr> <tr> <td>TEOR DE ARGILA NBR 7218</td> <td><b>Isento %</b></td> </tr> <tr> <td>MATERIAIS PULVERULENTOS NBR NM 46</td> <td><b>0,5 %</b></td> </tr> <tr> <td>ABSORÇÃO NBR NM 53</td> <td><b>%</b></td> </tr> <tr> <td>IMPUREZAS ORGÂNICAS NBR NM 49</td> <td><b>&lt; 300 ppm</b></td> </tr> <tr> <td>MÓDULO DE FINURA NBR 7211</td> <td><b>2,845</b></td> </tr> <tr> <td>DIÂMETRO MÁXIMO NBR 7211</td> <td><b>4,8 mm</b></td> </tr> <tr> <td>COEFICIENTE DE VAZIOS -</td> <td><b>43,74 %</b></td> </tr> </table>		MASSA UNITÁRIA NBR NM 53	<b>1,47 kg/dm<sup>3</sup></b>	MASSA ESPECÍFICA NBR NM 53	<b>2,60 kg/dm<sup>3</sup></b>	TEOR DE ARGILA NBR 7218	<b>Isento %</b>	MATERIAIS PULVERULENTOS NBR NM 46	<b>0,5 %</b>	ABSORÇÃO NBR NM 53	<b>%</b>	IMPUREZAS ORGÂNICAS NBR NM 49	<b>&lt; 300 ppm</b>	MÓDULO DE FINURA NBR 7211	<b>2,845</b>	DIÂMETRO MÁXIMO NBR 7211	<b>4,8 mm</b>	COEFICIENTE DE VAZIOS -	<b>43,74 %</b>
MASSA UNITÁRIA NBR NM 53	<b>1,47 kg/dm<sup>3</sup></b>																				
MASSA ESPECÍFICA NBR NM 53	<b>2,60 kg/dm<sup>3</sup></b>																				
TEOR DE ARGILA NBR 7218	<b>Isento %</b>																				
MATERIAIS PULVERULENTOS NBR NM 46	<b>0,5 %</b>																				
ABSORÇÃO NBR NM 53	<b>%</b>																				
IMPUREZAS ORGÂNICAS NBR NM 49	<b>&lt; 300 ppm</b>																				
MÓDULO DE FINURA NBR 7211	<b>2,845</b>																				
DIÂMETRO MÁXIMO NBR 7211	<b>4,8 mm</b>																				
COEFICIENTE DE VAZIOS -	<b>43,74 %</b>																				
CURVA GRANULOMÉTRICA																					
																					
<b>OBSERVAÇÕES:</b> Agregado : Areia natural lavada, com módulo de finura da ordem de 2,85. De acordo com o módulo de finura definido, a areia analisada constituiu-se de uma areia média.																					
_____ <b>Betontech Controle Tecnológico</b>																					

## ANEXO F – Ensaios de determinação da massa específica do concreto, absorção de água e índice de vazios.

### ANEXO F.1 – Cerâmica JK

BETONTECH		BETONTECH - TECNOLOGIA PARA CONCRETO										
Registro:		Início de Ensaio:				Fim do Ensaio:						
Corpo de prova	Diâmetro	Altura	Massa (kg)				Resultados					
			Inicial (m <sub>3</sub> )	Seca (m <sub>1</sub> )	Saturada (m <sub>2</sub> )	Imersa (m <sub>4</sub> )						
8	SEM ADIÇÃO	100,0	200,0	72h				Absorção	3,4 %	Massa Esp. da Amostra Saturada	2,332 g/cm <sup>3</sup>	
				+24h	3,50	3,576	3,097	2,112	Índice de Vazios	7,6 %	Massa Específica Real	2,443 g/cm <sup>3</sup>
				+24h					Massa Específica da Amostra Seca	2,256 g/cm <sup>3</sup>		
77	CERÂMICA JK 10% tijolo moído	100,0	200,0	72h				Absorção	3,3 %	Massa Esp. da Amostra Saturada	2,324 g/cm <sup>3</sup>	
				+24h	3,57	3,535	3,053	2,081	Índice de Vazios	7,5 %	Massa Específica Real	2,431 g/cm <sup>3</sup>
				+24h					Massa Específica da Amostra Seca	2,249 g/cm <sup>3</sup>		
90	CERÂMICA JK 20% tijolo moído	100,0	200,0	72h				Absorção	4,9 %	Massa Esp. da Amostra Saturada	2,318 g/cm <sup>3</sup>	
				+24h	3,57	3,485	3,058	2,079	Índice de Vazios	10,8 %	Massa Específica Real	2,479 g/cm <sup>3</sup>
				+24h					Massa Específica da Amostra Seca	2,21 g/cm <sup>3</sup>		
100	CERÂMICA JK 30% tijolo moído	100,0	200,0	72h				Absorção	3,9 %	Massa Esp. da Amostra Saturada	2,313 g/cm <sup>3</sup>	
				+24h	3,53	3,494	3,029	2,080	Índice de Vazios	8,6 %	Massa Específica Real	2,437 g/cm <sup>3</sup>
				+24h					Massa Específica da Amostra Seca	2,227 g/cm <sup>3</sup>		
Obs: Formulas (NBR 09778/2005) $A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100$ - Absorção $I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_1} \times 100$ - Índice de Vazios $p_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_1}$ - Massa Esp. Am. Seca $p_r = \frac{m_s}{m_s - m_1}$ - Massa Esp. Real $p_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_1}$ - Massa Esp. Am. Sat.												
Vistos	Executor: Gilberto			Conferente: Gilberto Gil				Responsável: Luiz Felipe Bastos Ávila				

## ANEXO F.2 – Cerâmica Santa Catarina

Registro:		Início de Ensaio:						Fim do Ensaio:				
		Corpo de prova	Diametro	Altura	Massa (kg)			Resultados				
				-	Inicial (m <sub>s</sub> )	Seca (m <sub>s</sub> )	Saturada (m <sub>s</sub> )	Imersa (m <sub>s</sub> )				
8	SEM ADIÇÃO	100,0	200,0	72h	3,59				Absorção	3,4 %	Massa Esp. da Amostra Saturada	2,332 g/cm <sup>3</sup>
				+24h		3,576	3,697	2,112	Índice de Vazios	7,6 %	Massa Específica Real	2,443 g/cm <sup>3</sup>
				+24h					Massa Específica da Amostra Seca	2,256 g/cm <sup>3</sup>		
48	CERÂMICA ST. CATARINA 10% tijolo moído	100,0	200,0	72h	3,56				Absorção	3,9 %	Massa Esp. da Amostra Saturada	2,33 g/cm <sup>3</sup>
				+24h		3,532	3,669	2,094	Índice de Vazios	8,7 %	Massa Específica Real	2,456 g/cm <sup>3</sup>
				+24h					Massa Específica da Amostra Seca	2,243 g/cm <sup>3</sup>		
57	CERÂMICA ST. CATARINA 20% tijolo moído	100,0	200,0	72h	3,57				Absorção	4,2 %	Massa Esp. da Amostra Saturada	2,321 g/cm <sup>3</sup>
				+24h		3,506	3,653	2,079	Índice de Vazios	9,3 %	Massa Específica Real	2,457 g/cm <sup>3</sup>
				+24h					Massa Específica da Amostra Seca	2,227 g/cm <sup>3</sup>		
67	CERÂMICA ST. CATARINA 30% tijolo moído	100,0	200,0	72h	3,49				Absorção	3,5 %	Massa Esp. da Amostra Saturada	2,317 g/cm <sup>3</sup>
				+24h		3,516	3,638	2,068	Índice de Vazios	7,8 %	Massa Específica Real	2,428 g/cm <sup>3</sup>
				+24h					Massa Específica da Amostra Seca	2,239 g/cm <sup>3</sup>		
Obs: Fórmulas (NBR 09778/2005) $A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100$ - Absorção      - Massa Esp. Am. Seca $p_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i}$ - Massa Esp. Real $p_r = \frac{m_s}{m_s - m_i}$ $I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100$ - Índices de Vazios      - Massa Esp. Am. Sat. $p_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i}$												
Vistos	Executor: Gilberto					Conferente: Gilberto Gil			Responsável: Luiz Felipe Bastos Ávila			

## ANEXO F.3 – Cerâmica Brasil

BETONTECH		BETONTECH - TECNOLOGIA PARA CONCRETO										
Registro:		Início de Ensaio:					Fim do Ensaio:					
Corpo de prova	Diâmetro	Altura	Massa (kg)				Resultados					
			-	Inicial (m <sub>3</sub> )	Seca (m <sub>1</sub> )	Saturada (m <sub>2</sub> )	Imersa (m <sub>4</sub> )					
8	SEM ADIÇÃO	100,0	200,0	72h					Absorção	3,4 %	Massa Esp. da Amostra Saturada	2,332 g/cm³
				+24h	3,58	3,576	3,687	2,112	Índice de Vazios	7,6 %	Massa Específica Real	2,443 g/cm³
				+24h					Massa Específica da Amostra Seca	2,256 g/cm³		
18	CERÂMICA BRASIL 10% tijolo moído	100,0	200,0	72h					Absorção	3,4 %	Massa Esp. da Amostra Saturada	2,321 g/cm³
				+24h	3,54	3,506	3,625	2,063	Índice de Vazios	7,6 %	Massa Específica Real	2,43 g/cm³
				+24h					Massa Específica da Amostra Seca	2,245 g/cm³		
27	CERÂMICA BRASIL 20% tijolo moído	100,0	200,0	72h					Absorção	3,4 %	Massa Esp. da Amostra Saturada	2,32 g/cm³
				+24h	3,58	3,514	3,633	2,067	Índice de Vazios	7,6 %	Massa Específica Real	2,428 g/cm³
				+24h					Massa Específica da Amostra Seca	2,244 g/cm³		
39	CERÂMICA BRASIL 30% tijolo moído	100,0	200,0	72h					Absorção	3,8 %	Massa Esp. da Amostra Saturada	2,312 g/cm³
				+24h	3,51	3,481	3,614	2,051	Índice de Vazios	8,5 %	Massa Específica Real	2,434 g/cm³
				+24h					Massa Específica da Amostra Seca	2,227 g/cm³		
Obs: Fórmulas (NBR 09778/2005) - Absorção $A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100$ - Massa Esp. Am. Seca $p_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i}$ - Massa Esp. Real $p_r = \frac{m_s}{m_s - m_i}$ - Índices de Vazios $I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100$ - Massa Esp. Am. Sat. $p_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i}$												
Vistos	Executor: Gilberto			Conferente: Gilberto Gil				Responsável: Luiz Felipe Bastos Ávila				

## ANEXO G – Ensaios de resistências à compressão e tração por compressão diametral.

### ANEXO G.1 – Dosagem Base referência.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA												
DO CONCRETO À COMPRESSÃO E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738, NBR 5739 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armin Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Sem resíduo de Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
001		30	28/10/15	31/10/15	3	5		Resistência à compressão		17,98	22,9	
002		30	28/10/15	31/10/15	3	5		Sem		18,73	23,8	23,4
003		30	28/10/15	4/11/15	7	5		Sem		22,57	28,7	
004		30	28/10/15	4/11/15	7	5		Sem		21,79	27,7	28,2
005		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Sem		22,92	29,2	
006		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Sem		23,40	29,8	29,5
007		30	28/10/15	27/1/16	91	5		Sem		26,70	34,0	
008		30	28/10/15	27/1/16	91	5		Sem		25,80	32,8	33,4
009		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Resistência à tração por compressão diametral		8,26	2,63	
010		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Sem		8,11	2,58	2,61
Dados da equipe e equipamentos utilizados								Obs.:				
Equipamento: Prensa Hidráulica								1) Traço em volume;				
Marca: SOLOTEST								2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.				
Ref.: Série 33047/15								3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;				
Aferido: 21/09/2015								4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;				
Número do Certificado: 40321-15								5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.				
Técnico Executor:												
Técnico Conferente: Gilberto Gil												
Engenheiro responsável: Luiz Felipe												

### ANEXO G.2 – Cerâmica Brasil Ltda.

#### ANEXO G.2.1 – Cerâmica Brasil – Substituição de cimento – 10 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA												
DO CONCRETO À COMPRESSÃO E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738, NBR 5739 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armin Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
011		30	28/10/15	31/10/15	3	5		Resistência à compressão		14,28	18,2	
012		30	28/10/15	31/10/15	3	5		Cerâmica Brasil 10%		14,18	18,1	18,1
013		30	28/10/15	4/11/15	7	5		Cerâmica Brasil 10%		16,88	21,5	
014		30	28/10/15	4/11/15	7	5		Cerâmica Brasil 10%		16,36	20,8	21,2
015		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Cerâmica Brasil 10%		18,46	23,5	
016		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Cerâmica Brasil 10%		18,56	23,6	23,6
017		30	28/10/15	27/1/16	91	5		Cerâmica Brasil 10%		22,85	29,1	
018		30	28/10/15	27/1/16	91	5		Cerâmica Brasil 10%		23,72	30,2	29,6
019		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Resistência à tração por compressão diametral		9,64	3,07	
020		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Cerâmica Brasil 10%		9,87	3,14	3,11
Dados da equipe e equipamentos utilizados								Obs.:				
Equipamento: Prensa Hidráulica								1) Traço em volume;				
Marca: SOLOTEST								2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.				
Ref.: Série 33047/15								3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;				
Aferido: 21/09/2015								4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;				
Número do Certificado: 40321-15								5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.				
Técnico Executor:												
Técnico Conferente: Gilberto Gil												
Engenheiro responsável: Luiz Felipe												

## ANEXO G.2.2 – Cerâmica Brasil – Substituição de cimento – 20 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À COMPRESSÃO E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738, NBR 5739 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armin Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
021		30	28/10/15	31/10/15	3	5		Resistência à compressão		12,10	15,4	
022		30	28/10/15	31/10/15	3	5		Cerâmica Brasil 20%		11,25	14,3	14,9
023		30	28/10/15	4/11/15	7	5		Cerâmica Brasil 20%		15,13	19,3	
024		30	28/10/15	4/11/15	7	5		Cerâmica Brasil 20%		15,48	19,7	19,5
025		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Cerâmica Brasil 20%		21,67	27,6	
026		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Cerâmica Brasil 20%		21,39	27,2	27,4
027		30	28/10/15	27/1/16	91	5		Cerâmica Brasil 20%		21,63	27,5	
028		30	28/10/15	27/1/16	91	5		Cerâmica Brasil 20%		21,01	26,8	27,1
029		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Resistência à tração por compressão diametral		8,93	2,84	
030		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Cerâmica Brasil 20%		8,19	2,61	2,73
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:					
Equipamento: Prensa Hidráulica							1) Traço em volume;					
Marca: SOLOTEST							2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.					
Ref.: Série 33047/15							3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura					
Aferido: 21/09/2015							de corpos de prova;					
Número do Certificado: 40321-15							4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de					
Técnico Executor:							prova cilíndricos;					
Técnico Conferente: Gilberto Gil							5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistê					
Engenheiro responsável: Luiz Felipe							cia à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.					

## ANEXO G.2.3 – Cerâmica Brasil – Substituição de cimento – 30 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À COMPRESSÃO E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738, NBR 5739 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armin Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
031		30	28/10/15	31/10/15	3	5		Resistência à compressão		8,70	11,1	
032		30	28/10/15	31/10/15	3	5		Cerâmica Brasil 30%		9,03	11,5	11,3
033		30	28/10/15	4/11/15	7	5		Cerâmica Brasil 30%		12,39	15,8	
034		30	28/10/15	4/11/15	7	5		Cerâmica Brasil 30%		12,88	16,4	16,1
035		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Cerâmica Brasil 30%		13,96	17,8	
036		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Cerâmica Brasil 30%		13,65	17,4	17,6
037		30	28/10/15	27/1/16	91	5		Cerâmica Brasil 30%		18,42	23,5	
038		30	28/10/15	27/1/16	91	5		Cerâmica Brasil 30%		18,55	23,6	23,5
039		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Resistência à tração por compressão diametral		8,13	2,59	
040		30	28/10/15	25/11/15	28	5		Cerâmica Brasil 30%		7,79	2,48	2,54
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:					
Equipamento: Prensa Hidráulica							1) Traço em volume;					
Marca: SOLOTEST							2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.					
Ref.: Série 33047/15							3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura					
Aferido: 21/09/2015							de corpos de prova;					
Número do Certificado: 40321-15							4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de					
Técnico Executor:							prova cilíndricos;					
Técnico Conferente: Gilberto Gil							5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistê					
Engenheiro responsável: Luiz Felipe							cia à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.					

## ANEXO G.3 – Cerâmica Santa Catarina Ltda.

### ANEXO G.3.1 – Cerâmica Sta. Catarina – Subst. de cimento – 10 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA												
DO CONCRETO À COMPRESSÃO E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738, NBR 5739 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armim Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
041		30	29/10/15	1/11/15	3	5		Resistência à compressão		16,13	20,5	
042		30	29/10/15	1/11/15	3	5		Cerâmica Sta Catarina 10%		18,15	23,1	21,8
043		30	29/10/15	5/11/15	7	5		Cerâmica Sta Catarina 10%		18,33	23,3	
044		30	29/10/15	5/11/15	7	5		Cerâmica Sta Catarina 10%		17,59	22,4	22,9
045		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica Sta Catarina 10%		23,25	29,6	
046		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica Sta Catarina 10%		22,62	28,8	29,2
047		30	29/10/15	28/1/16	91	5		Cerâmica Sta Catarina 10%		24,75	31,5	
048		30	29/10/15	28/1/16	91	5		Cerâmica Sta Catarina 10%		22,36	28,5	30,0
049		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Resistência à tração por compressão diametral		5,83	1,86	
050		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica Sta Catarina 10%		5,76	1,83	1,85
Dados da equipe e equipamentos utilizados								Obs.:				
Equipamento: Prensa Hidráulica								1) Traço em volume;				
Marca: SOLOTEST								2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.				
Ref.: Série 33047/15								3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura				
Aferido: 21/09/2015								de corpos de prova;				
Número do Certificado: 40321-15								4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de				
Técnico Executor:								prova cilíndricos;				
Técnico Conferente: Gilberto Gil								5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistên-				
Engenheiro responsável: Luiz Felipe								cia à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.				

### ANEXO G.3.2 – Cerâmica Sta. Catarina – Subst. de cimento – 20 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA												
DO CONCRETO À COMPRESSÃO E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738, NBR 5739 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armim Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
051		30	29/10/15	1/11/15	3	5		Resistência à compressão		15,16	19,3	
052		30	29/10/15	1/11/15	3	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		14,30	18,2	18,8
053		30	29/10/15	5/11/15	7	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		15,48	19,7	
054		30	29/10/15	5/11/15	7	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		14,94	19,0	19,4
055		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		21,82	27,8	
056		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		20,64	26,3	27,0
057		30	29/10/15	28/1/16	91	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		21,34	27,2	
058		30	29/10/15	28/1/16	91	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		24,78	31,6	29,4
059		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Resistência à tração por compressão diametral		9,91	3,16	
060		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		9,87	3,14	3,15
Dados da equipe e equipamentos utilizados								Obs.:				
Equipamento: Prensa Hidráulica								1) Traço em volume;				
Marca: SOLOTEST								2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.				
Ref.: Série 33047/15								3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura				
Aferido: 21/09/2015								de corpos de prova;				
Número do Certificado: 40321-15								4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de				
Técnico Executor:								prova cilíndricos;				
Técnico Conferente: Gilberto Gil								5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistên-				
Engenheiro responsável: Luiz Felipe								cia à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.				

## ANEXO G.3.3 – Cerâmica Sta. Catarina – Subst. de cimento – 30 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA												
DO CONCRETO À COMPRESSÃO E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738, NBR 5739 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armin Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
061		30	29/10/15	1/11/15	3	5		Resistência à compressão		12,01	15,3	
062		30	29/10/15	1/11/15	3	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		12,99	16,5	15,9
063		30	29/10/15	5/11/15	7	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		13,15	16,7	
064		30	29/10/15	5/11/15	7	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		12,85	16,4	16,6
065		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		18,13	23,1	
066		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		18,86	24,0	23,5
067		30	29/10/15	28/1/16	91	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		17,10	21,8	
068		30	29/10/15	28/1/16	91	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		19,83	25,2	23,5
069		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Resistência à tração por compressão diametral		13,03	4,15	
070		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		12,02	3,83	3,99
Dados da equipe e equipamentos utilizados								Obs.:				
Equipamento: Prensa Hidráulica								1) Traço em volume;				
Marca: SOLOTEST								2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.				
Ref.: Série 33047/15								3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;				
Aferido: 21/09/2015								4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;				
Número do Certificado: 40321-15								5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.				
Técnico Executor:												
Técnico Conferente: Gilberto Gil												
Engenheiro responsável: Luiz Felipe												

## ANEXO G.4 – Cerâmica JK Ltda.

### ANEXO G.4.1 – Cerâmica JK – Substituição de cimento – 10 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA												
DO CONCRETO À COMPRESSÃO E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738, NBR 5739 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armin Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
071		30	29/10/15	1/11/15	3	5		Resistência à compressão		17,71	22,5	
072		30	29/10/15	1/11/15	3	5		Cerâmica JK 10%		18,51	23,6	23,1
073		30	29/10/15	5/11/15	7	5		Cerâmica JK 10%		18,88	24,0	
074		30	29/10/15	5/11/15	7	5		Cerâmica JK 10%		19,13	24,4	24,2
075		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica JK 10%		20,87	26,6	
076		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica JK 10%		21,30	27,1	26,8
077		30	29/10/15	28/1/16	91	5		Cerâmica JK 10%		22,31	28,4	
078		30	29/10/15	28/1/16	91	5		Cerâmica JK 10%		19,86	25,3	26,8
079		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Resistência à tração por compressão diametral		13,93	4,44	
080		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica JK 10%		16,90	5,38	4,91
Dados da equipe e equipamentos utilizados								Obs.:				
Equipamento: Prensa Hidráulica								1) Traço em volume;				
Marca: SOLOTEST								2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.				
Ref.: Série 33047/15								3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;				
Aferido: 21/09/2015								4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;				
Número do Certificado: 40321-15								5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.				
Técnico Executor:												
Técnico Conferente: Gilberto Gil												
Engenheiro responsável: Luiz Felipe												

## ANEXO G.4.2 – Cerâmica JK – Substituição de cimento – 20 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA												
DO CONCRETO À COMPRESSÃO E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738, NBR 5739 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armir Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
081		30	29/10/15	1/11/15	3	5		Resistência à compressão		14,16	18,0	
082		30	29/10/15	1/11/15	3	5		Cerâmica JK 20%		13,56	17,3	17,6
083		30	29/10/15	5/11/15	7	5		Cerâmica JK 20%		16,81	21,4	
084		30	29/10/15	5/11/15	7	5		Cerâmica JK 20%		15,46	19,7	20,5
085		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica JK 20%		22,09	28,1	
086		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica JK 20%		19,92	25,4	26,7
087		30	29/10/15	28/1/16	91	5		Cerâmica JK 20%		22,37	28,5	
088		30	29/10/15	28/1/16	91	5		Cerâmica JK 20%		20,12	25,6	27,0
089		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Resistência à tração por compressão diametral		12,67	4,04	
090		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica JK 20%		11,05	3,52	3,78
Dados da equipe e equipamentos utilizados								Obs.:				
Equipamento: Prensa Hidráulica								1) Traço em volume;				
Marca: SOLOTEST								2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.				
Ref.: Série 33047/15								3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;				
Aferido: 21/09/2015								4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de				
Número do Certificado: 40321-15								prova cilíndricos;				
Técnico Executor:								5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistên-				
Técnico Conferente: Gilberto Gil								cia à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.				
Engenheiro responsável: Luiz Felipe												

## ANEXO G.4.3 – Cerâmica JK – Substituição de cimento – 30 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA												
DO CONCRETO À COMPRESSÃO E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738, NBR 5739 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armir Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
091		30	29/10/15	1/11/15	3	5		Resistência à compressão		11,19	14,2	
092		30	29/10/15	1/11/15	3	5		Cerâmica JK 30%		10,72	13,6	13,9
093		30	29/10/15	5/11/15	7	5		Cerâmica JK 30%		11,83	15,1	
094		30	29/10/15	5/11/15	7	5		Cerâmica JK 30%		10,16	12,9	14,0
095		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica JK 30%		16,87	21,5	
096		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica JK 30%		14,98	19,1	20,3
097		30	29/10/15	28/1/16	91	5		Cerâmica JK 30%		17,92	22,8	
098		30	29/10/15	28/1/16	91	5		Cerâmica JK 30%		15,67	20,0	21,4
099		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Resistência à tração por compressão diametral		12,51	3,98	
100		30	29/10/15	26/11/15	28	5		Cerâmica JK 30%		10,92	3,48	3,73
Dados da equipe e equipamentos utilizados								Obs.:				
Equipamento: Prensa Hidráulica								1) Traço em volume;				
Marca: SOLOTEST								2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.				
Ref.: Série 33047/15								3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;				
Aferido: 21/09/2015								4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de				
Número do Certificado: 40321-15								prova cilíndricos;				
Técnico Executor:								5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistên-				
Técnico Conferente: Gilberto Gil								cia à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.				
Engenheiro responsável: Luiz Felipe												





### ANEXO H.3 – Resíduos de tijolos moídos da Cerâmica JK.

<b>BETONTECH</b>		BETONTECH CONTROLE TECNOLÓGICO DE SOLO Rua: Rio Candelas, 4171 Bairro Nova Esperança Porto Velho RO. Fone: (69)3219-1142 cel.:3276-4691 email: lutzfelipe@betontech.com.br				
<b>MASSA REAL DOS GRÃOS E GRANULOMETRIA POR SEDIMENTAÇÃO</b>						
CLIENTE: <b>ARMIM BOERO</b>				AMOSTRA: <b>001/17</b>		
OBRA: <b>Cerâmica JK</b>				DATA: <b>20/03/2017</b>		
PROF:			MATERIAL: <b>ARGILA</b>		OPERADOR: <b>MARLISON</b>	
<b>PREPARAÇÃO DA AMOSTRA</b>						
AMOSTRA TOTAL ÚMIDA(g)		1.000,0		RETIDO NA # 2,00 mm(g)	0,00	
AMOSTRA PARCIAL < 2,0mm ÚMIDA(g)		70,00		AMOSTRA PARCIAL < 2,0mm SECA(g)	69,66	
D. REAL (NBR-8608)		Plo Nº <b>05</b>		<b>UMIDADE HIGROSCÓPICA</b>		
Solo úmido (g)		<b>24,82</b>		(MATERIAL PASSANDO NA # 2,00 mm)		
Solo úmido (g)		<b>24,91</b>				
Peso do Pícnômetro(g)		<b>34,23</b>		Cápsula Nº. <b>09</b> <b>21</b>		
Pícnômetro+ solo úmido(g)		<b>59,05</b>		Peso da cápsula+solo úmido(g) <b>80,00</b> <b>88,82</b>		
Pícnômetro+solo+água		<b>106,13</b>		Peso da cápsula+solo seco(g) <b>79,71</b> <b>88,49</b>		
Temperatura(°C)				Peso da água(g) <b>0,29</b> <b>0,33</b>		
Pícnômetro+água(g)		<b>90,57</b>		Peso da cápsula(g) <b>16,91</b> <b>24,30</b>		
Temperatura(°C)		<b>27,0</b>		Peso do solo seco(g) <b>62,80</b> <b>64,19</b>		
Densidade Real		<b>2,693</b>		Umidade (%) <b>0,5</b> <b>0,5</b>		
Densidade Real Média (a 20°C)		<b>2,691</b>		Umidade Média (%) <b>0,5</b>		
<b>PENEIRAMENTO GROSSO</b>			<b>SEDIMENTAÇÃO</b>			
Penela (mm)	Retido		% Passando	Densímetro número: <b>63093/08</b>	Proveta número: <b>04</b>	
	Parcial	Acum		Tempo	Lectura no Densímetro	Temp. da Suspensão(°C)
50,8		0,00		<b>08:10:00</b>		
38,1		0,00				
25,4		0,00		8:10 (30s)	1025,0	24,0
19,1		0,00		8:11 (1min)	1024,0	24,0
9,5	0,00	0,00	100,00	8:12 (2min)	1023,0	24,0
4,8	0,00	0,00	100,00	8:14 (4min)	1020,0	24,0
2	0,00	0,00	100,00	8:18 (8min)	1018,0	24,0
				8:25 (15min)	1016,0	24,0
				8:40 (30min)	1015,0	24,0
				9:10 (1h)	1014,0	23,0
				10:10 (2h)	1013,0	22,5
				12:10 (4h)	1012,0	22,0
				16:10 (8h)	1010,0	23,5
				8:10 (24h)	1009,0	23,0
				8:10 (48h)		
				8:10 (72h)		
<b>PENEIRAMENTO FINO</b>						
Penela (mm)	Retido		% Pass. Am. Total			
1,2	0,00	0,00	100,00	10:10 (2h)	1013,0	22,5
0,6	0,00	0,00	100,00	12:10 (4h)	1012,0	22,0
0,42	0,00	0,00	100,00	16:10 (8h)	1010,0	23,5
0,30	0,00	0,00	100,00	8:10 (24h)	1009,0	23,0
0,15	10,57	10,57	84,83	8:10 (48h)		
0,075	20,88	31,45	54,85	8:10 (72h)		
<b>CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA</b>						
<b>RESUMO (NBR-6502/95)</b>						
Pedregulhos > 2,0mm		<b>0,00</b>				
Areia Grossa 2,0 a 0,6		<b>0,00</b>				
Areia Média 0,6 a 0,2		<b>10,12</b>				
Areia Fina 0,2 a 0,075		<b>35,03</b>				
Silte 0,075 a 0,002		<b>36,45</b>				
Argila < 0,002		<b>18,40</b>				
% < 0,015 mm		<b>35,40</b>				
observações						
Areia 2,0 a 0,075		<b>45,15</b>				
VISTO						

## ANEXO I – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

### ANEXO I.1 – Dosagem Base referência.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA												
DO CONCRETO À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armin Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Sem resíduo de Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
001		30	23/2/17	26/2/17	3	10,5		Resistência à tração por compressão diametral		9,09	2,89	
002		30	23/2/17	26/2/17	3	10,5		Sem		8,87	2,82	
003		30	23/2/17	26/2/17	3	10,5		Sem		8,35	2,66	
004		30	23/2/17	26/2/17	3	10,5		Sem		10,20	3,25	2,90
005		30	23/2/17	2/3/17	7	10,5		Sem		11,42	3,64	
006		30	23/2/17	2/3/17	7	10,5		Sem		10,84	3,45	
007		30	23/2/17	2/3/17	7	10,5		Sem		8,64	2,75	
008		30	23/2/17	2/3/17	7	10,5		Sem		10,60	3,38	3,30
009		30	23/2/17	23/3/17	28	10,5		Sem		12,32	3,92	
010		30	23/2/17	23/3/17	28	10,5		Sem		11,36	3,62	
011		30	23/2/17	23/3/17	28	10,5		Sem		12,43	3,96	
012		30	23/2/17	23/3/17	28	10,5		Sem		11,74	3,74	3,80
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:					
Equipamento: Prensa Hidráulica							1) Traço em volume;					
Marca: EMIC							2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.					
Ref.: 065							3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura					
Aferido: 07/11/2016							de corpos de prova;					
Número do Certificado: 43330-16							4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de					
Técnico Executor: Maurício Santos							prova cilíndricos;					
Técnico Conferente: Gilberto Gil							5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistên					
Engenheiro responsável: Luiz Felipe							cia à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.					

### ANEXO I.2 – Cerâmica Brasil Ltda.

#### ANEXO I.2.1 – Cerâmica Brasil – Substituição de cimento – 10 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA												
DO CONCRETO À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armin Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
097		30	7/3/17	10/3/17	3	9,5		Resistência à tração por compressão diametral		8,90	2,83	
098		30	7/3/17	10/3/17	3	9,5		Cerâmica Brasil 10%		7,88	2,51	
099		30	7/3/17	10/3/17	3	9,5		Cerâmica Brasil 10%		9,27	2,95	
100		30	7/3/17	10/3/17	3	9,5		Cerâmica Brasil 10%		8,89	2,83	2,80
101		30	7/3/17	14/3/17	7	9,5		Cerâmica Brasil 10%		7,79	2,48	
102		30	7/3/17	14/3/17	7	9,5		Cerâmica Brasil 10%		7,28	2,32	
103		30	7/3/17	14/3/17	7	9,5		Cerâmica Brasil 10%		7,85	2,50	
104		30	7/3/17	14/3/17	7	9,5		Cerâmica Brasil 10%		8,26	2,63	2,50
105		30	7/3/17	4/4/17	28	9,5		Cerâmica Brasil 10%		14,56	4,64	
106		30	7/3/17	4/4/17	28	9,5		Cerâmica Brasil 10%		13,96	4,45	
107		30	7/3/17	4/4/17	28	9,5		Cerâmica Brasil 10%		11,99	3,82	
108		30	7/3/17	4/4/17	28	9,5		Cerâmica Brasil 10%		12,36	3,94	4,20
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:					
Equipamento: Prensa Hidráulica							1) Traço em volume;					
Marca: EMIC							2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.					
Ref.: 065							3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura					
Aferido: 07/11/2016							de corpos de prova;					
Número do Certificado: 43330-16							4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de					
Técnico Executor: Maurício Santos							prova cilíndricos;					
Técnico Conferente: Gilberto Gil							5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistên					
Engenheiro responsável: Luiz Felipe							cia à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.					

## ANEXO I.2.2 – Cerâmica Brasil – Substituição de cimento – 20 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armin Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
109		30	7/3/17	10/3/17	3	6,5		Resistência à tração por compressão diametral		7,25	2,31	
110		30	7/3/17	10/3/17	3	6,5		Cerâmica Brasil 20%		8,27	2,63	
111		30	7/3/17	10/3/17	3	6,5		Cerâmica Brasil 20%		8,26	2,63	
112		30	7/3/17	10/3/17	3	6,5		Cerâmica Brasil 20%		8,92	2,84	2,60
113		30	7/3/17	14/3/17	7	6,5		Cerâmica Brasil 20%		9,01	2,87	
114		30	7/3/17	14/3/17	7	6,5		Cerâmica Brasil 20%		10,09	3,21	
115		30	7/3/17	14/3/17	7	6,5		Cerâmica Brasil 20%		9,16	2,92	
116		30	7/3/17	14/3/17	7	6,5		Cerâmica Brasil 20%		9,57	3,05	3,00
117		30	7/3/17	4/4/17	28	6,5		Cerâmica Brasil 20%		12,39	3,95	
118		30	7/3/17	4/4/17	28	6,5		Cerâmica Brasil 20%		10,79	3,44	
119		30	7/3/17	4/4/17	28	6,5		Cerâmica Brasil 20%		11,75	3,74	
120		30	7/3/17	4/4/17	28	6,5		Cerâmica Brasil 20%		12,08	3,85	3,70
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:					
Equipamento: Prensa Hidráulica							1) Traço em volume;					
Marca: EMIC							2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.					
Ref.: 065							3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura					
Aferido: 07/11/2016							de corpos de prova;					
Número do Certificado: 43330-16							4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de					
Técnico Executor: Maurício Santos							prova cilíndricos;					
Técnico Conferente: Gilberto Gil							5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistê					
Engenheiro responsável: Luiz Felipe							cia à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.					

## ANEXO I.2.3 – Cerâmica Brasil – Substituição de cimento – 30 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armin Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
121		30	7/3/17	10/3/17	3	4		Resistência à tração por compressão diametral		4,54	1,45	
122		30	7/3/17	10/3/17	3	4		Cerâmica Brasil 30%		6,20	1,97	
123		30	7/3/17	10/3/17	3	4		Cerâmica Brasil 30%		6,47	2,06	
124		30	7/3/17	10/3/17	3	4		Cerâmica Brasil 30%		6,55	2,09	1,90
125		30	7/3/17	14/3/17	7	4		Cerâmica Brasil 30%		7,82	2,49	
126		30	7/3/17	14/3/17	7	4		Cerâmica Brasil 30%		7,90	2,52	
127		30	7/3/17	14/3/17	7	4		Cerâmica Brasil 30%		8,06	2,57	
128		30	7/3/17	14/3/17	7	4		Cerâmica Brasil 30%		8,39	2,67	2,60
129		30	7/3/17	4/4/17	28	4		Cerâmica Brasil 30%		8,76	2,79	
130		30	7/3/17	4/4/17	28	4		Cerâmica Brasil 30%		9,12	2,90	
131		30	7/3/17	4/4/17	28	4		Cerâmica Brasil 30%		9,25	2,95	
132		30	7/3/17	4/4/17	28	4		Cerâmica Brasil 30%		10,96	3,49	3,00
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:					
Equipamento: Prensa Hidráulica							1) Traço em volume;					
Marca: EMIC							2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.					
Ref.: 065							3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura					
Aferido: 07/11/2016							de corpos de prova;					
Número do Certificado: 43330-16							4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de					
Técnico Executor: Maurício Santos							prova cilíndricos;					
Técnico Conferente: Gilberto Gil							5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistê					
Engenheiro responsável: Luiz Felipe							cia à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.					

## ANEXO I.3 – Cerâmica Santa Catarina Ltda.

### ANEXO I.3.1 – Cerâmica Sta. Catarina – Subst. de cimento – 10 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armim Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
061		30	7/3/17	10/3/17	3	8		Resistência à tração por compressão diametral		8,08	2,57	
062		30	7/3/17	10/3/17	3	8		Cerâmica Sta Catarina 10%		6,01	1,91	
063		30	7/3/17	10/3/17	3	8		Cerâmica Sta Catarina 10%		8,22	2,62	
064		30	7/3/17	10/3/17	3	8		Cerâmica Sta Catarina 10%		9,50	3,03	2,50
065		30	7/3/17	14/3/17	7	8		Cerâmica Sta Catarina 10%		10,27	3,27	
066		30	7/3/17	14/3/17	7	8		Cerâmica Sta Catarina 10%		9,13	2,91	
067		30	7/3/17	14/3/17	7	8		Cerâmica Sta Catarina 10%		8,75	2,79	
068		30	7/3/17	14/3/17	7	8		Cerâmica Sta Catarina 10%		9,23	2,94	3,00
069		30	7/3/17	4/4/17	28	8		Cerâmica Sta Catarina 10%		12,11	3,86	
070		30	7/3/17	4/4/17	28	8		Cerâmica Sta Catarina 10%		12,29	3,91	
071		30	7/3/17	4/4/17	28	8		Cerâmica Sta Catarina 10%		10,66	3,39	
072		30	7/3/17	4/4/17	28	8		Cerâmica Sta Catarina 10%		11,11	3,54	3,70
Dados da equipe e equipamentos utilizados								Obs.:				
Equipamento: Prensa Hidráulica								1) Traço em volume;				
Marca: EMIC								2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.				
Ref.: 065								3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;				
Aferido: 07/11/2016								4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;				
Número do Certificado: 43330-16								5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.				
Técnico Executor: Maurício Santos												
Técnico Conferente: Gilberto Gil												
Engenheiro responsável: Luiz Felipe												

### ANEXO I.3.2 – Cerâmica Sta. Catarina – Subst. de cimento – 20 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armim Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
073		30	7/3/17	10/3/17	3	5		Resistência à tração por compressão diametral		7,20	2,29	
074		30	7/3/17	10/3/17	3	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		7,09	2,26	
075		30	7/3/17	10/3/17	3	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		7,57	2,41	
076		30	7/3/17	10/3/17	3	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		8,41	2,68	2,40
077		30	7/3/17	14/3/17	7	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		8,67	2,76	
078		30	7/3/17	14/3/17	7	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		9,23	2,94	
079		30	7/3/17	14/3/17	7	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		8,21	2,61	
080		30	7/3/17	14/3/17	7	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		10,18	3,24	2,90
081		30	7/3/17	4/4/17	28	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		12,57	4,00	
082		30	7/3/17	4/4/17	28	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		12,56	4,00	
083		30	7/3/17	4/4/17	28	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		12,27	3,91	
084		30	7/3/17	4/4/17	28	5		Cerâmica Sta Catarina 20%		10,95	3,49	3,80
Dados da equipe e equipamentos utilizados								Obs.:				
Equipamento: Prensa Hidráulica								1) Traço em volume;				
Marca: EMIC								2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.				
Ref.: 065								3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;				
Aferido: 07/11/2016								4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;				
Número do Certificado: 43330-16								5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.				
Técnico Executor: Maurício Santos												
Técnico Conferente: Gilberto Gil												
Engenheiro responsável: Luiz Felipe												

## ANEXO I.3.3 – Cerâmica Sta. Catarina – Subst. de cimento – 30 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armim Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
085		30	7/3/17	10/3/17	3	5		Resistência à tração por compressão diametral		6,13	1,95	
086		30	7/3/17	10/3/17	3	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		6,09	1,94	
087		30	7/3/17	10/3/17	3	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		5,83	1,86	
088		30	7/3/17	10/3/17	3	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		6,45	2,05	2,00
089		30	7/3/17	14/3/17	7	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		8,39	2,67	
090		30	7/3/17	14/3/17	7	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		6,80	2,17	
091		30	7/3/17	14/3/17	7	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		8,25	2,63	
092		30	7/3/17	14/3/17	7	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		7,83	2,49	2,50
093		30	7/3/17	4/4/17	28	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		12,45	3,96	
094		30	7/3/17	4/4/17	28	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		11,85	3,77	
095		30	7/3/17	4/4/17	28	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		11,56	3,68	
096		30	7/3/17	4/4/17	28	5		Cerâmica Sta Catarina 30%		11,19	3,56	3,70
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:					
Equipamento: Prensa Hidráulica							1) Traço em volume;					
Marca: EMIC							2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.					
Ref.: 065							3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;					
Aferido: 07/11/2016							4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;					
Número do Certificado: 43330-16							5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.					
Técnico Executor: Maurício Santos												
Técnico Conferente: Gilberto Gil												
Engenheiro responsável: Luiz Felipe												

## ANEXO I.4 – Cerâmica JK Ltda.

### ANEXO I.4.1 – Cerâmica JK – Substituição de cimento – 10 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armim Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
013		30	23/2/17	26/2/17	3	9,5		Resistência à tração por compressão diametral		8,20	2,61	
014		30	23/2/17	26/2/17	3	9,5		Cerâmica JK 10%		7,30	2,32	
015		30	23/2/17	26/2/17	3	9,5		Cerâmica JK 10%		7,23	2,30	
016		30	23/2/17	26/2/17	3	9,5		Cerâmica JK 10%		6,39	2,04	2,30
017		30	23/2/17	2/3/17	7	9,5		Cerâmica JK 10%		8,60	2,74	
018		30	23/2/17	2/3/17	7	9,5		Cerâmica JK 10%		11,89	3,79	
019		30	23/2/17	2/3/17	7	9,5		Cerâmica JK 10%		6,96	2,22	
020		30	23/2/17	2/3/17	7	9,5		Cerâmica JK 10%		8,69	2,77	2,90
021		30	23/2/17	23/3/17	28	9,5		Cerâmica JK 10%		10,85	3,46	
022		30	23/2/17	23/3/17	28	9,5		Cerâmica JK 10%		10,44	3,32	
023		30	23/2/17	23/3/17	28	9,5		Cerâmica JK 10%		11,02	3,51	
024		30	23/2/17	23/3/17	28	9,5		Cerâmica JK 10%		11,15	3,55	3,50
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:					
Equipamento: Prensa Hidráulica							1) Traço em volume;					
Marca: EMIC							2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.					
Ref.: 065							3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;					
Aferido: 07/11/2016							4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;					
Número do Certificado: 43330-16							5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.					
Técnico Executor: Maurício Santos												
Técnico Conferente: Gilberto Gil												
Engenheiro responsável: Luiz Felipe												

## ANEXO I.4.2 – Cerâmica JK – Substituição de cimento – 20 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armim Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
037		30	7/3/17	10/3/17	3	5		Resistência à tração por compressão diametral		4,42	1,41	
038		30	7/3/17	10/3/17	3	5		Cerâmica JK 20%		5,13	1,63	
039		30	7/3/17	10/3/17	3	5		Cerâmica JK 20%		6,97	2,22	
040		30	7/3/17	10/3/17	3	5		Cerâmica JK 20%		5,39	1,72	1,70
041		30	7/3/17	14/3/17	7	5		Cerâmica JK 20%		7,89	2,51	
042		30	7/3/17	14/3/17	7	5		Cerâmica JK 20%		8,81	2,81	
043		30	7/3/17	14/3/17	7	5		Cerâmica JK 20%		8,59	2,74	
044		30	7/3/17	14/3/17	7	5		Cerâmica JK 20%		7,55	2,40	2,60
045		30	7/3/17	4/4/17	28	5		Cerâmica JK 20%		10,78	3,43	
046		30	7/3/17	4/4/17	28	5		Cerâmica JK 20%		9,63	3,07	
047		30	7/3/17	4/4/17	28	5		Cerâmica JK 20%		10,32	3,29	
048		30	7/3/17	4/4/17	28	5		Cerâmica JK 20%		9,82	3,13	3,20
Dados da equipe e equipamentos utilizados								Obs.:				
Equipamento: Prensa Hidráulica								1) Traço em volume;				
Marca: EMIC								2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.				
Ref.: 065								3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;				
Aferido: 07/11/2016								4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de				
Número do Certificado: 43330-16								prova cilíndricos;				
Técnico Executor: Maurício Santos								5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistên-				
Técnico Conferente: Gilberto Gil								cia à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.				
Engenheiro responsável: Luiz Felipe												

## ANEXO I.4.3 – Cerâmica JK – Substituição de cimento – 30 % de RTCM.

REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO												
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL – NBR 5738 e NBR 7222												
CLIENTE:	Armim Boero											
CNPJ:												
END:	Rua José Camacho, 2325											
OBRA:	Pesquisa para dissertação											
END. OBRA:	Mestrado											
												
Reg. Lab.	Nota Fiscal	fck (MPa) (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição Tijolo moído	Peça Concretada	Carga (Kgf)	fck (MPa)	Média (MPa)
049		30	7/3/17	10/3/17	3	4		Resistência à tração por compressão diametral		5,98	1,90	
050		30	7/3/17	10/3/17	3	4		Cerâmica JK 30%		5,59	1,78	
051		30	7/3/17	10/3/17	3	4		Cerâmica JK 30%		5,56	1,77	
052		30	7/3/17	10/3/17	3	4		Cerâmica JK 30%		5,68	1,81	1,80
053		30	7/3/17	14/3/17	7	4		Cerâmica JK 30%		7,47	2,38	
054		30	7/3/17	14/3/17	7	4		Cerâmica JK 30%		7,08	2,25	
055		30	7/3/17	14/3/17	7	4		Cerâmica JK 30%		7,72	2,46	
056		30	7/3/17	14/3/17	7	4		Cerâmica JK 30%		7,56	2,41	2,40
057		30	7/3/17	4/4/17	28	4		Cerâmica JK 30%		8,93	2,84	
058		30	7/3/17	4/4/17	28	4		Cerâmica JK 30%		9,34	2,97	
059		30	7/3/17	4/4/17	28	4		Cerâmica JK 30%		7,45	2,37	
060		30	7/3/17	4/4/17	28	4		Cerâmica JK 30%		8,60	2,74	2,70
Dados da equipe e equipamentos utilizados								Obs.:				
Equipamento: Prensa Hidráulica								1) Traço em volume;				
Marca: EMIC								2) Dosagem preparada em betoneira estacionária.				
Ref.: 065								3) NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;				
Aferido: 07/11/2016								4) NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de				
Número do Certificado: 43330-16								prova cilíndricos;				
Técnico Executor: Maurício Santos								5) NBR 7222:2007 – Concreto e argamassa – Determinação da resistên-				
Técnico Conferente: Gilberto Gil								cia à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.				
Engenheiro responsável: Luiz Felipe												