



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

**Estudo da viabilidade do resíduo de calcário britado para
produção de blocos de concreto com função estrutural**

Jéssica Evelynne Ribeiro de Souza

Ouro Branco-MG
Junho de 2018



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

**Estudo da viabilidade do resíduo de calcário britado para
produção de blocos de concreto com função estrutural**

Jéssica Evelyne Ribeiro de Souza

Trabalho de conclusão de curso em cumprimento
às exigências do curso de Bacharelado em
Engenharia de Bioprocessos da Universidade
Federal de São João Del-Rei.

Orientador: Igor José Boggione Santos.

Ouro Branco – MG
Junho de 2018



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

**Estudo da viabilidade do resíduo de calcário britado para
produção de blocos de concreto com função estrutural**

Jéssica Evelynne Ribeiro de Souza

A Banca Examinadora, composta pelos membros abaixo, avaliou este TCC:

Orientador (a):

Prof. ^o. Igor José Boggione Santos

1º Examinador (a):

Prof. ^a. Dalila M. da Silveira

2º Examinador (a):

Prof. ^o. Leandro Neves Duarte

Ouro Branco, 29 / Junho / 2018.

AGRADECIMENTOS

Antes e acima de tudo, agradeço a Deus, essência das nossas vidas, pelo dom da paciência, persistência e da sabedoria.

À minha família, principalmente aos meus pais, Joanes Alves de Souza e Aparecida Cristina Ribeiro de Souza, pelo amor incondicional, incentivo e apoio constante a cada dia. Vocês sempre foram o sustento e suporte da minha vida. A cada vitória conquistada, a cada barreira vencida, vocês, mais do que ninguém, foram merecedores dos créditos. Amo vocês.

Com muita saudade, ao meu irmão JEFFERSON, esta conquista tem sua presença, o seu amor.

Ao Professor e mestre Igor Boggione, pela orientação, dedicação, seriedade, ensinamentos e amizade.

À Empresa Premoldados Nunes, grande motivadora desse trabalho, obrigada por disponibilizar o laboratório, pelo fornecimento de toda matéria utilizada, pelas sugestões e apoio.

À Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil, obrigada por disponibilizar o laboratório, ao Vicente Trindade e a Júnia Ananias pelo apoio e ajuda durante a realização desta pesquisa. Obrigada pela enriquecedora contribuição.

À Banca avaliadora por terem aceitado o convite de participar da correção e avaliação deste trabalho.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos.

“Senhor fazei de mim um instrumento da Vossa paz.

Onde houver ódio, que eu leve o amor.

Onde houver ofensa, que eu leve o perdão.

Onde houver discórdia, que eu leve a união.

Onde houver dúvidas, que eu leve a fé.

Onde houver erro, que eu leve a verdade.

Onde houver desespero, que eu leve a esperança.

Onde houver tristeza, que eu leve a alegria.

Onde houver trevas, que eu leve a luz.

Ó Mestre, fazei que eu procure mais:

consolar, que ser consolado;

compreender, que ser compreendido;

amar, que ser amado.

Pois é dando que se recebe.

É perdoando que se é perdoado.

E é morrendo que se vive para a vida eterna”.

RESUMO

Os blocos de concreto são utilizados na produção das alvenarias permitindo o emprego de técnica de coordenação modular e contribuindo para a construção mais racional. Essa pesquisa teve como objetivo a avaliação experimental realizada com os blocos de concreto para alvenaria estrutural, com a substituição parcial do cimento pelo resíduo do calcário britado (RCB). O traço de referência utilizado foi de 60 kg de cimento CPV, 200 Kg de pó misto, 700 Kg de pó de pedra e 47L de água e a substituição do cimento pelo calcário britado nas seguintes proporções: 5, 10, 15, 20 e 25% (m/m), mantendo-se constante a massa dos agregados. Foram utilizados 102 blocos de concreto com dimensões 14x19x39cm (Largura x Altura x Comprimento), especificado como classe A, para os ensaios de análise dimensional, resistência à compressão, absorção de água por imersão, composição química e composição mineralógica. Todos os traços obtiveram bons desempenhos na resistência à compressão. Sendo a de melhor propriedade mecânica o traço – T4 com 20% de substituição do cimento pelo RCB. Dessa forma, foi possível constatar que resíduo de calcário britado pode ser utilizado para produção de blocos, que atendem as normas especificadas, contribuindo para preservação do meio ambiente e tornando atrativo o valor de custo do material.

Palavras-chaves: Resíduo, Calcário britado, Calcinação, Blocos de concreto.

ABSTRACT

The concrete blocks are used in the production of masonry allowing the use of a modular structure and contributing to a more rational construction. This research had a mean of experimental evaluation done with the block of calculation for structural alvaria, with a partial derivation of the calo of the callus britto (RCB). The reference trait used was of 60 kg of CPV value, 200 Kg of mixed powder, 700 kg of stone powder and 47 liters of water and bath liquor from crushed limestone in proportions of 5, 10, 15, 20 and 25% (m / m), the mass of the aggregates being constant. It was used 102 concrete blocks with dimensions of 14x19x39cm (Width x Height x Length), as class A, for analysis of dimensional dimension, compressive strength, immersion water absorption, chemical composition and mineralogical composition. All the sections obtained good performances in the compressive strength. Being one of more a mechanical property of the trait - T4 with 20% replacement of the cement by the RCB. Thus, it was possible to verify that the crushed fatty acid can be used for the production of blocks, which meet the specified specifications, contributing to the preservation of the environment and making the cost value of the material.

Keywords: Residue, Crushed limestone, Calcination, Concrete blocks.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo geral	2
1.2.2 Objetivo específico.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 CONCEITOS	3
2.2 BLOCO DE CONCRETO COM FUNÇÃO ESTRUTURAL	5
2.3 PROCESSO PRODUTIVO	7
2.4 A CALCINAÇÃO	7
2.5 A CALCINAÇÃO REALIZADA PELAS SIDERÚRGICAS	9
2.5.1 DEPÓSITOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	11
2.6 RESÍDUO DE CALCÁRIO BRITADO	12
3. MATERIAIS E METODOLOGIA	14
3.1 MATERIAIS	14
3.1.1 Cimento.....	14
3.1.2 Pó Misto e Pó de Pedra	14
3.1.3 Rejeito do calcário Britado (RCB)	14
3.2 METODOLOGIA.....	14
3.2.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO AGREGADO	14
3.2.1.1 Preparação dos materiais.....	15
3.2.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	16
3.2.3 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS.....	21
4.1.1 Análise Granulométrica.....	21
4.1.2 Determinação da umidade do agregado	22
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	22
4.2.1 Análise Dimensional.....	22

4.2.2	Índice de absorção de água.....	23
4.2.3	Resistência característica à compressão (F_{bk}).....	24
4.2.4	Difração de Raio-X.....	25
	Fluoreto de ferro	26
4.2.5	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	34
5.	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
	ANEXO 1 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – TRAÇO T0	43
	ANEXO 2 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – TRAÇO T1	44
	ANEXO 3 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – TRAÇO T2	45
	ANEXO 4 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – TRAÇO T3	46
	ANEXO 5 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – TRAÇO T4	47
	ANEXO 6 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – TRAÇO T5	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de um forno de calcinação de pedra calcária.....	9
Figura 2 - Forno rotativo, Calcinação.	10
Figura 3 - Resíduo de calcário britado.	13
Figura 4 - Secagem do agregado.....	16
Figura 5 - Estufa.....	17
Figura 6 - Curva granulométrica.....	21
Figura 7 - Índice de absorção de água.....	23
Figura 8 - Resistência característica à compressão.....	25
Figura 9 - Difratoograma de Raio X– Traço T0.	26
Figura 10 - Difratoograma de Raio X– Traço T1.	27
Figura 11 - Difratoograma de Raio X– Traço T2.	29
Figura 12 - Difratoograma de Raio X– Traço T3.	30
Figura 13 - Difratoograma de Raio X– Traço T4.	31
Figura 14 - Difratoograma de Raio X– Traço T5.	32
Figura 15 - Micrografia do traço padrão – T0. (B) Micrografia do traço com 5% de RCB – T1. (C) Micrografia do traço com 10% de RCB – T2. (D) Micrografia do traço com 15% de RCB – T3. (E) Micrografia do traço com 20% de RCB – T4. (F) Micrografia do traço com 25%.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição Química do Resíduo do Calcário.....	13
Tabela 2 - Traços e moldagem.....	17
Tabela 3 - Propriedades físicas da matéria prima.	22
Tabela 4 - Análise dimensional.	23
Tabela 5 - Resistência característica à compressão.	24
Tabela 6 - Fases correspondentes do Difratoograma de Raio X– Traço T0.	26
Tabela 7 - Fases correspondentes do Difratoograma de Raio X– Traço T1.	27
Tabela 8 - Fases correspondentes do Difratoograma de Raio X– Traço T2.	28
Tabela 9 - Fases correspondentes do Difratoograma de Raio X– Traço T3.	30
Tabela 10 - Fases correspondentes do Difratoograma de Raio X– Traço T4. ...	31
Tabela 11 - Fases correspondentes do Difratoograma de Raio X– Traço T5. ...	32

LISTA DE SIGLAS

ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AN	-	Agregado Natural
CP's	-	Corpos de Prova
CPV	-	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
DRX	-	Difração de Raio-x
F_{bk}		Resistência característica à compressão do bloco de concreto
MEV	-	Microscopia Eletrônica de Varredura
NBR	-	Norma Brasileira
RCB	-	Resíduo de Calcário Britado

1. INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo tradicional, utilizado a milhões de anos. Acompanhando a evolução do homem, as técnicas de construção civil foram desenvolvidas e aprimoradas com auxílio de ensaios e observação, os blocos de rocha como elementos de alvenaria são utilizados desde o ano 4.000 a.C. Ao longo dos séculos obras importantes foram executadas em alvenaria estrutural, como exemplo tem-se o Parthenon, na Grécia, construído entre 480 a.C. e 323 a.C. e a Muralha da China, construída no período de 1368 a 1644 (YOSHITO, 2005).

No final do século XIX a alvenaria predominou como material estrutural, porém devido à falta de estudos e de pesquisas na área, não se tinha conhecimento de técnicas de racionalização. Em 1950 surgiram normas com procedimentos de cálculo na Europa e América do Norte, o que proporcionou em um crescimento marcante da alvenaria.

Atualmente, a engenharia moderna é obrigada a trabalhar com a questão da responsabilidade ambiental e sustentável, com isso o uso de resíduos estão sendo largamente estudados e aplicados ao mercado de construção civil em virtude do grande impacto ambiental provocado quando descartados na natureza. A preocupação com a preservação do meio ambiente já é vista como prioridade pelos poderes públicos e a adesão da sociedade se faz cada vez mais necessária.

Segundo SILVA (2006), os resíduos minerais têm demonstrado ser muito importante no desempenho dos materiais que possuem matrizes cimentícias, tanto nas propriedades no estado fresco quanto no endurecido, como aspecto da durabilidade. A incorporação de resíduos na produção desses materiais pode proporcionar economia de energia e contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Com a grande competitividade no setor da construção civil, as empresas buscam cada vez mais métodos alternativos, que diminuam o tempo de execução e também os custos da obra, visando também, a sustentabilidade, sem interferir na qualidade do empreendimento, desta forma, com o aumento do acesso à informação, novas tecnologias ganharam espaço no cenário da

construção, portanto os pré-moldados de concreto estão cada vez mais disseminadas neste setor.

Portanto, o presente trabalho propõe a utilização do resíduo de calcário britado, proveniente do processo de calcinação de rochas calcárias para a fabricação de blocos pré-moldados de concreto com função estrutural. Este resíduo é utilizado na substituição parcial do cimento, trazendo desta forma um grande potencial econômico e principalmente ambiental.

1.1 JUSTIFICATIVA

Os resíduos de rochas provenientes dos diversos tipos de beneficiamento estão sendo largamente estudados em virtude do grande impacto ambiental provocado quando descartados na natureza e do enorme potencial que estas possuem como matéria prima. O fato de que a industrialização do calcário é uma atividade econômica em expansão com perspectiva crescente de novos mercados, torna este projeto importante do ponto de vista técnico, científico, econômico e social.

Segundo Souza (2016), através de um estudo da viabilidade da substituição parcial e integral da cal por RCB para produção de argamassa de assentamento, realizado na Faculdade Santa Rita - FaSaR em Conselheiro Lafaiete, foi possível observar a capacidade de resistência mecânica com a substituição do resíduo em estudo. Assim, a partir da pesquisa supracitada foi possível observar o potencial deste resíduo para fabricação de blocos pré-moldados de concreto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar as melhores composições para a fabricação bloco de concreto com função estrutural com a substituição parcial do cimento pelo resíduo de calcário britado.

1.2.2 Objetivo específico

- Avaliar as dosagens do traço de concreto via substituição do resíduo de calcário britado;
- Avaliação das propriedades físico-químicas do concreto das matrizes naturais (AN) e matrizes com substituição (RCB) por resíduo de calcário britado;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCEITOS

As paredes são elementos importantíssimos nas construções, pois são responsáveis pela forma que as edificações possuem. Estas paredes, no linguajar técnico, são chamadas de alvenaria, que, segundo MARINOSKI (2011) é “um sistema construtivo formado de um conjunto coeso e rígido de tijolos ou blocos, unidos entre si, com ou sem argamassa de ligação, em fiadas horizontais que se sobrepõem uma sobre as outras”. A alvenaria tem a função de separar os ambientes, sejam internos ou externos, e atuar como barreira física e às intempéries, resistindo à umidade, pressão do vento e infiltração das águas de chuva. Deve ainda ser suporte para os revestimentos em geral, oferecer isolamento térmico e acústico e segurança para usuários e ocupantes (MARINOSKI, 2011). Para uma boa qualidade dos blocos de concreto, a sua fabricação deve ser realizada utilizando materiais industrializados, equipamentos de precisão, e controle dos procedimentos de dosagem e cura (FRANCO et al.,1994).

Os blocos de concreto são componentes de fabricação industrial com dimensões que superam as do tijolo. Segundo a NBR 6136:2016, os blocos devem ser produzidos com agregados inertes e cimento Portland, com ou sem aditivos e moldados em vibro prensas, podendo ser utilizados com ou sem revestimentos, podendo aplicar a pintura diretamente sobre o bloco, conforme as seguintes exigências:

Estrutural: devem ser aplicados em alvenaria estrutural, armada e parcialmente armada, permitindo que as instalações elétricas e hidráulicas sejam embutidas na fase de elevação da alvenaria;

Vedação: são normalmente utilizados para fechamento de vãos, de modo a proporcionar vãos modulados em função das dimensões dos blocos.

A escolha de cada material deve ser baseada no objetivo funcional da edificação, tempo e custo disponível, e meio ambiente no qual a construção está inserida, com o objetivo de aumentar a vida útil da edificação sempre que possível; visto que cada material possui características próprias, adequadas a cada ambiente, evitando assim rápida degradação físico-química da alvenaria (BERTOLINI, 2010).

Segundo a ABNT NBR 6136:2016, os blocos vazados de concreto são divididos em classes, por sua função e local de uso. As classificações gerais de uso das unidades são:

- Classe A – blocos com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria abaixo e acima do nível do solo;
- Classe B – blocos com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do solo;
- Classe C – blocos com ou sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do solo.

Segundo SILVESTRE (2013), o uso de blocos de concreto vem crescendo no Brasil, sendo usado em diversos tipos de construções e com várias aplicações. As construtoras estão optando muitas vezes pelo sistema de blocos estruturais pela economia e diminuição no volume de resíduos gerados na obra, tendo esta tecnologia se tornado bastante vantajosa e com ótimo desempenho. Este aumento também é observado para os blocos com função de vedação, principalmente nas grandes construções, quando se toma partido da economia com revestimento que este material proporciona.

2.2 BLOCO DE CONCRETO COM FUNÇÃO ESTRUTURAL

De acordo com a ABNT NBR 6136:2016, os blocos de uso específico estrutural estão especificados na classe A e classe B, podem, também, ser divididos em famílias de 29 cm e de 39 cm de comprimento.

Ainda de acordo com a norma, os blocos devem atender ao limite específico de absorção e retração linear por secagem, similares aos blocos estruturais especificados acima. É fundamental a verificação destas características em testes para assegurar a segurança da edificação, pois é por meio delas que verifica-se a capacidade de carga que os blocos de concreto suportam quando submetidos a forças exercidas perpendicularmente sobre suas faces e determina-se se as amostras oferecem resistência mecânica adequada, simulando a pressão exercida pelo peso da construção.

Essas características servem de indicadores de qualidade ou para especificação dos blocos. Características estas que são:

Índice de absorção de água

Está diretamente relacionada à impermeabilidade dos produtos, ao acréscimo imprevisto de peso à parede saturada e à durabilidade. A absorção Individual de blocos de concreto deve ser menor ou igual a 10%. A absorção inicial corresponde à capacidade de sucção do bloco. É um indicador importante para definir o potencial de aderência do bloco com uma argamassa com retenção adequada.

É influenciada pela porosidade dos blocos sendo mais alta para blocos mais porosos. Assim é importante encontrar o ponto de equilíbrio, já que a absorção na quantidade certa favorece a penetração dos aglomerantes que ao endurecer os mesmos tornam monolítico o conjunto blocos, argamassa, revestimento.

Resistência característica à compressão (F_{bk})

Os blocos, por definição servem para levantar paredes e devem assumir a função de transmitir as cargas. Para isso uma de suas propriedades mais

importante é a resistência à compressão, que depende dos critérios de dosagem e influencia diretamente a resistência do bloco assim como o índice de absorção.

A cura é um fator determinante na resistência a compressão dos blocos, a qual deve ser avaliada aos 28 dias. Esta resistência está diretamente ligada a alguns fatores como: características dos componentes e das juntas, aderência do conjunto, esbeltes da parede, ligação entre paredes, entre outros.

Para a resistência à compressão e a absorção a norma brasileira estabelece os seguintes limites: Bloco estrutural - fbk superior a 4,0 MPa e Bloco vedação – fbk superior a 3 MPa.

Análise dimensional

O processo de fabricação confere aos produtos grande regularidade de formas e dimensões possibilitando a modulação da obra já a partir do projeto. A qualidade e o tipo do bloco de concreto são fundamentais para o bom desempenho do sistema estrutural. É importante observar as dimensões estabelecidas em norma, bem como seus limites de tolerância.

Se forem detectadas não conformidades nas dimensões dos blocos (altura, largura e comprimento), isso indica, em geral, falha no processo de produção. Os problemas com precisão dimensional afetam diretamente a coordenação modular.

Textura superficial

Os blocos devem ser homogêneos, compactos e com arestas vivas. Devem estar livres de trincas, fraturas para não prejudicar o seu assentamento, resistência e durabilidade. A textura superficial é importante seja para alvenaria sem revestimento onde o bloco é o acabamento, seja em alvenaria com revestimento onde deve apresentar rugosidade, textura e porosidade superficial adequada para haver aderência com a argamassa e promover monoliticidade ao conjunto.

2.3 PROCESSO PRODUTIVO

Os primeiros blocos vazados de concreto surgiram nos EUA e na Inglaterra a partir de meados da década de 1880, quando unidades maciças se tornaram impopulares na construção civil por conta de seu peso excessivo. Tais blocos não eram fabricados com métodos industriais, mas sim de forma manual, sendo moldados em fôrmas de madeira. Por volta de 1866, começaram os primeiros esforços para o desenvolvimento de técnicas de moldar blocos vazados (AMÉRICO, 2007).

Na década de 1940, a vibro prensagem foi introduzida no processo de fabricação, o que melhorou a aparência dos blocos, como também na resistência. O processo de fabricação dos blocos envolve a moldagem de concreto de consistência rija em moldes com as dimensões pré-estabelecidas do bloco, vibro prensados por máquinas automáticas, depois levadas para cura e armazenamento (AMÉRICO, 2007).

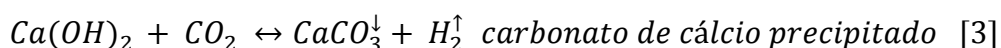
A resistência e durabilidade do concreto dependem da proporção dos materiais utilizados. O concreto é uma mistura dos vários componentes, em determinadas proporções, chamadas de dosagem ou traço. A relação entre essas proporções de cimento e os outros materiais componentes pode ser especificada em massa, em volume ou em peso. O traço varia de acordo com a finalidade de uso e com as condições de aplicação.

2.4 A CALCINAÇÃO

As rochas carbonatadas, sedimentares, mais comum em todo mundo, são calcário e dolomito. Os calcários são rochas compostas por calcita ($CaCO_3$), enquanto os dolomitos são compostos, pelo mineral dolomita ($CaCO_3.MgCO_3$). A calcita apresenta maior valor econômico, comparada às demais, dolomita, mármore e giz. O calcário é extraído, onde suas reservas de rochas são grandes e intermináveis, entretanto, a sua ocorrência com elevada pureza corresponde a menos que 10% das reservas de carbonatos em todo mundo.

O processo da calcinação do calcário consiste na formação da cal (CaO) e dióxido de carbono. Onde há uma redução de 44% na massa original do

$CaCO_3$, em decorrência da liberação do CO_2 . A reação de calcinação é reversível, ou seja, a cal é um produto instável, que, ao reagir com água, resulta na cal hidratada $[Ca(OH)_2]$, um produto mais estável. Finalmente, a cal hidratada, ao reagir com dióxido de carbono, resulta no carbonato de cálcio ($CaCO_3$), que se precipita. A sequência das reações químicas descreve as etapas relacionadas à obtenção do carbonato de cálcio precipitado.



A calcinação é um processo fortemente endotérmico, portanto necessita de um maior fornecimento de energia para as transformações de carbonatos e hidratos em óxidos correspondentes. Além disso, necessita de temperaturas elevadas, geralmente de 900°C até 1300°C. Por ser endotérmica, a frente de reação vai avançando da periferia da partícula para o seu interior à medida que as condições termodinâmicas e cinéticas sejam satisfeitas. Em materiais de tamanho relativo, o aporte térmico para frente de reação precisa ser maior, devido à baixa condutividade térmica do óxido formado na superfície. Sendo usada principalmente na produção de óxidos (Mourão et al.,2007).

O material a ser calcinado é alimentado na extremidade mais alta do forno e conduzido à sua parte inferior pela força da gravidade, em contracorrente ao fluxo dos gases quentes provenientes da zona de combustão. Na entrada do forno, devido ao choque térmico, a rocha calcária tem tendência a crepitar, formando assim finos de minério. Logo o minério passa por uma região de pré-aquecimento, onde o minério não sofre qualquer reação de decomposição, onde ocorre dissociação dos carbonatos, sendo possível produzir cal calcítica e/ou cal dolomítica, conforme mostra o esquema do forno de calcinação na Figura 1.

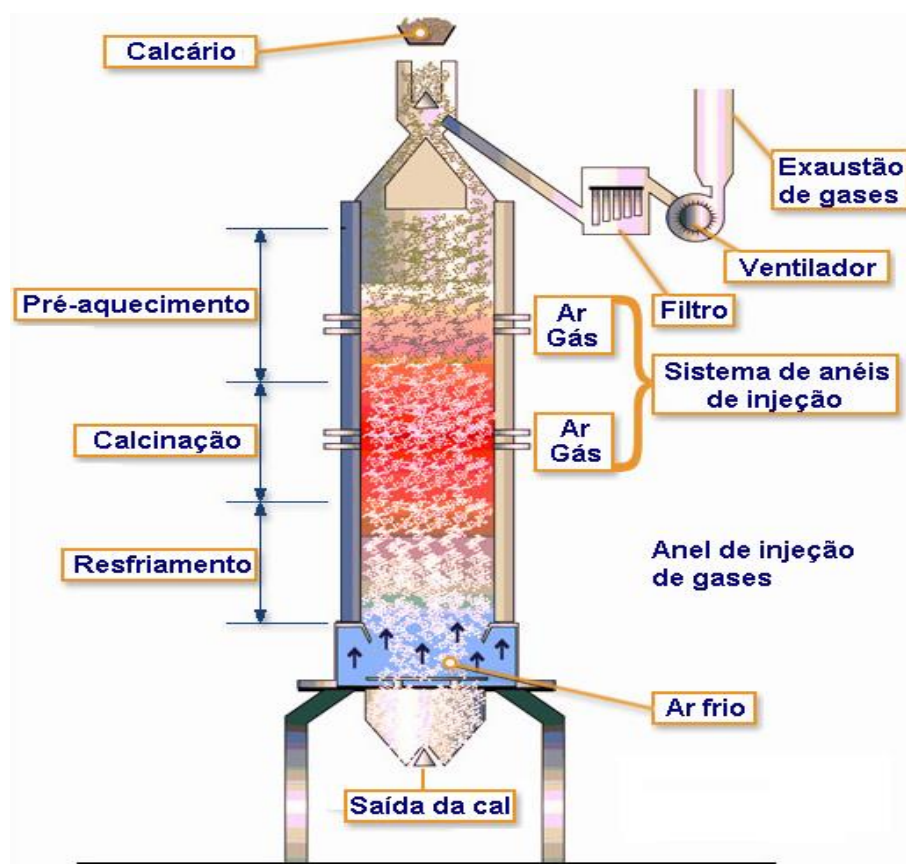


Figura 1 - Exemplo de um forno de calcinação de pedra calcária.

Fonte: Aglomerantes – USP, 2017.

2.5 A CALCINAÇÃO REALIZADA PELAS SIDERÚRGICAS

Segundo a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (2009) a cal utilizada nas áreas da aciaria, sinterização e estação de tratamento de água industrial é produzida na unidade de calcinação. O calcário calcítico é recebido na usina por meio de transporte ferroviário ou rodoviário e é estocado em pilha. Posteriormente é transportado por meio de correia transportadora para ser peneirado na granulometria adequada para ser utilizado em várias unidades da empresa. O calcário com granulometria menor 9 mm é direcionado para a sinterização. O calcário que apresenta granulometria acima de 9 mm é direcionado para o silo de alimentação do forno rotativo da Calcinação. A Figura 2 ilustra um exemplo de forno rotativo da Calcinação.



Figura 2 - Forno rotativo, Calcinação.

Fonte: SEMAD, 2009.

Do silo e do pré-aquecedor o calcário aquecido é pistonado por 12 empurradores para o interior do forno. Em contra corrente é injetado ar com gás de coqueria para a completa queima do calcário e sua transformação em cal. Neste processo é gerada a pré-cal no multiciclone que retém as partículas maiores e o pó que é tratado em um precipitador eletrostático. Após a saída do forno rotativo a cal necessita ser resfriada, britada e peneirada para ser utilizada (SEMAD, 2009).

Para o controle de material particulado proveniente do forno rotativo de cal, o forno conta com um sistema de despoeiramento primário tipo multiciclone com uma eficiência de 75%, que remove as partículas maiores. Os níveis de emissões de Material particulado deverão atender aos valores estabelecidos na Resolução CONAMA 382 de 26 de Dezembro de 2006. Para mitigar a emissão difusa de efluente atmosférico proveniente da pilha de recebimento de calcário bitolado principalmente nos meses mais secos do ano, bem como da geração de poeira proveniente da queda do calcário da correia transportadora na pilha, está instalado no final da correia transportadora um aspersor de água, que sempre é ligado manualmente, quando há a emissão de poeira no local. O pó gerado devido à queda do calcário na pilha é mitigado através de aspersão de água sobre as pilhas e vias de circulação.

2.5.1 DEPÓSITOS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Segundo a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (2009) para o acondicionamento adequado dos resíduos ainda descartados, a siderúrgica projetou e construiu um Depósito de Resíduos Industriais – DRI em sua Usina de Ouro Branco. O DRI foi construído para o armazenamento de resíduos de classe I, II A e B que inicialmente correspondiam a aproximadamente 12% dos resíduos gerados na empresa.

2.5.1.1 Depósitos de Resíduos classe I

O Aterro Classe I foi, originalmente, projetado para receber os resíduos perigosos, classe I, ou seja, cristais antraceno bruto, oriundo da Usina de Alcatrão, a borra de alcatrão proveniente do decantador e centrifuga do Tratamento Primário de Gás e o resíduo ácido proveniente da lavagem do benzeno da Usina de Óleos Leves, com capacidade total de 41.400 m³, com o volume de aproximadamente 345 t / mês.

2.5.1.2 Depósitos de Resíduos classe II A e B

Estes aterros foram originalmente, projetados para receberem os resíduos não perigosos e inertes, classe IIA e IIB, ou seja, lama do Tratamento Biológico, pós e lamas do Alto-forno, pós e lamas de Aciaria e o entulho de obras que é um resíduo inerte. O volume previsto para armazenamento em 10 anos foi de 600.000 m³.

Os resíduos recebidos seriam espalhados e compactado em aterro. Atualmente, o DRI classe II-A e II-B, não mais recebem a lama do Tratamento Biológico, os pós do balão coletor e da casa de estocagem do Alto-forno que são reciclados na Sinterização. O volume de resíduos nele descartado é aproximadamente 9.000 t/mês e são constituídos por lama fina da Aciaria, a lama das Laminações, a areia e refratário da Aciaria, embalagens de madeira e entulhos de obras. Devido à produção da usina bem como o aproveitamento de resíduos a capacidade de armazenamento passou dos 600.000m³ projetados

para 1.800.000 m³, representando uma vida útil de mais 20 anos, ou seja, até 2028.

A pré-cal é um resíduo classe II A de geração contínua, proveniente do multiciclone com geração média de 860 t / mês é destinada para reciclagem interna ou vendida. O calcário fino, resíduo classe II A de geração contínua, proveniente do sistema de recebimento e manuseio de calcário, com geração em torno de 3.000 t / mês é destinado para a reciclagem interna. A cal fina, resíduo classe II A, também de geração contínua, proveniente do sistema de manuseio e armazenagem de cal, com geração na ordem de 70 t /mês é destinada para a reciclagem interna. O pó de cal resíduo classe II A de geração contínua em torno de 216 t/mês é destinado para reciclagem interna.

2.6 RESÍDUO DE CALCÁRIO BRITADO

De acordo com a ABNT NBR 6453:2003, os resíduos da indústria calcária da produção de cal para construção civil são obtidos pelo processo da calcinação do calcário, constituído essencialmente de cal e elementos, não calcários em quantidade totais maiores do que 12% (m/m).

São constituídos essencialmente de hidróxido de cálcio ($CaOH$), tendo em vista à exposição às chuvas e demais intempéries. Os resíduos da produção de cal podem ser utilizados como material na construção civil, porém recomenda-se o seu emprego logo após a produção, devido há perda da reatividade ao longo do tempo, evitando-se o armazenamento prolongado a céu aberto.

Neste trabalho, os resíduos da Calcinação são decorrentes do processo de preparação da cal para a aciaria. Além da cal peneirada para a sinterização, temos a pré-cal, a cal britada e a lama de calcário. Todos estes produtos apresentam qualidade e quantidade que justificam sua utilização posterior. A Figura 3 ilustra o resíduo de calcário britado, a pré- cal.



Figura 3 - Resíduo de calcário britado.

Fonte: Próprio autor.

Estudos realizados no Laboratório de Matérias da siderúrgica que forneceu o material analisou a composição química dos rejeitos de calcário através de fluorescência, estando representados os resultados desta análise química na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição Química do Resíduo do Calcário.

Composição Química do Resíduo do Calcário (%)						
CaO	MgO	SiO₂	C	CaCO₃	P	S
63,03	0,29	1,83	8,23	68,58	0,088	0,73

Fonte: Laboratório de matérias primas.

3. MATERIAIS E METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados na fabricação de blocos de concreto são: Cimento Portland, agregado graúdo e miúdo, e água. A água empregada em todas as etapas deste trabalho foi proveniente de poço artesiano da própria empresa.

3.1.1 Cimento

Para esta pesquisa o cimento utilizado foi o CP-V (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial) que atende as especificações brasileiras contida na ABNT NBR 5733:1991. Optou-se por escolher este tipo de cimento pelo fato do mesmo ter a característica de cura em um curto espaço de tempo.

3.1.2 Pó Misto e Pó de Pedra

O Pó Misto é a mistura composta por 50% de pó de pedra e 50% de brita 0. Sua Granulometria deve ser menor que 1/4", geralmente proveniente de calcário calcítico. Já o Pó de Pedra é um derivado do pedrisco (semelhante a uma areia médio-grossa) que tem a função de ligar o pedrisco ao cimento.

3.1.3 Rejeito do calcário Britado (RCB)

O rejeito do calcário britado que foi utilizado para essa pesquisa foi coletado pela empresa onde realizou-se os testes, logo foram separados em bigbag e armazenados nas baias.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO AGREGADO

3.2.1.1 Preparação dos materiais

A preparação dos materiais seguiu a ABNT NBR NM 26:2009. As amostras devem ser preparadas antes de serem utilizadas nos ensaios, para tanto é necessário a realização do quarteamento das amostras.

3.2.1.2 Análise Granulométrica

Conforme prescreve a ABNT NBR NM 248:2003, a amostra de pó de pedra e do pó misto ensaiada foram coletados da baia na quantidade de 1Kg, a amostra, previamente seca manualmente, foi então peneirada em um peneirador eletromecânico. Em cada peneira o material retido foi, então, separado e pesado.

Ao final do processo, com todos os valores dos pesos retidos em cada peneira, procede-se o cálculo da planilha de composição granulométrica, definindo-se os percentuais de material retido. O percentual retido acumulado em relação a cada peneira da série utilizada forneceu os dados para a definição da curva granulométrica do agregado em estudo. Também foram definidos o módulo de finura e o diâmetro máximo do agregado.

3.2.1.3 Determinação do teor de umidade

Para determinação da umidade foi utilizado o método de secagem da frigideira, como mostra a Figura 4. Foram pesadas duas amostras para cada agregado denominadas A1 e A2 com 1 kg e submetidas à secagem durante 15 minutos. A umidade superficial do agregado miúdo (h) é dada pela expressão (1):

$$w = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

w = teor de umidade

M_h = massa da amostra úmida

M_s = massa da amostra seca



Figura 4 - Secagem do agregado.

Fonte: Próprio autor.

3.2.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

3.2.2.1 Dosagens e moldagem dos traços

Os componentes da mistura foram pesados, para o traço de referência foi utilizado o T0. A mistura foi feita no misturador planetário em velocidade constante adicionando toda a quantidade da matéria prima e adicionando a água de forma gradual para formação de uma pasta homogênea. Após o material estar totalmente homogeneizado, encheu-se as formas e executou-se uma vibração, para adensar o concreto de forma ideal. Foi repetido o procedimento para os demais traços.

Desta forma foi realizado um estudo comparativo entre os seis traços, T0, T1, T2, T3, T4 e T5, realizando a substituição do cimento pelo resíduo do calcário britado nas proporções de 0, 5, 10, 15, 20 e 25% (m/m) respectivamente. Para cada um desses traços foram utilizados 17 blocos de concreto com dimensões 14x19x39cm (Largura x Altura x Comprimento). A Tabela 2 apresenta a quantidade de amostra e o traço.

Tabela 2 - Traços e moldagem.

Traço	Cimento (kg)	RCB (Kg)	Pó de Pedra (Kg)	Pó Misto (Kg)	Água (L)	Amostra
T0	60	0	700	200	40	17
T1	57	3	700	200	47	17
T2	54	6	700	200	47	17
T3	51	9	700	200	47	17
T4	48	12	700	200	47	17
T5	45	15	700	200	47	17

Fonte: Próprio autor

3.2.2.2 Processo de Cura

Na cura natural, após moldagem dos blocos de concreto, estes são acondicionados em estufas em temperatura ambiente, tomando-se o cuidado de protegê-los da ação do sol e do vento, conforme a Figura 5. Estes blocos permanecem nesta condição durante 24 horas, e logo após são colocados e em palletes de onde seguem para o pátio de estoque.



Figura 5 - Estufa.

Fonte: Próprio autor.

3.2.2.3 Capeamento

O ensaio foi realizado conforme prescreve a ABNT NBR 5738:2015. O capeamento é realizado com argamassa e o procedimento adotado está descrito abaixo.

1. Coloca-se a argamassa sobre uma superfície plana, previamente untada com uma camada de desmoldante;
2. O produto tem sua face a ser capeada molhadas, para aderir melhor a argamassa;
3. O produto é comprimido com a superfície a ser capeada de encontro à argamassa, com o auxílio de um nível, aplicam-se golpes com martelo de borracha na face superior até que o mesmo esteja nivelado;
4. Os dois lados do produto devem ser nivelados e a espessura média do capeamento não deve exceder 3 mm. Após a argamassa secar os blocos são submetidos ao ensaio de compressão.

3.2.3 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

3.2.3.1 Análise Dimensional

O ensaio de análise dimensional dos blocos foi realizado segundo as indicações da ABNT NBR 12118:2013. Em resumo, foram realizadas três medidas de largura, comprimento e altura em cada face do bloco, duas determinações de espessura em cada parede longitudinal, uma em cada parede transversal e uma medida em cada mísula. O instrumento utilizado foi o paquímetro eletrônico com precisão de 0,01mm.

3.2.3.2 Índice de absorção de água

O bloco foi exposto ao sol em um ambiente seco por alguns dias, após a secagem, os blocos foram pesados e determinou-se a massa seca de cada

um. Imediatamente estes foram imerso em água a 25°C em um período mínimo de 24 horas.

Logo, foi removida toda água visível com um pano úmido, e foram pesados novamente para encontrarmos sua massa saturada. Os resultados obtidos foram comparados, e calculou-se então a absorção em porcentagem de acordo com a ABNT NBR 6136:2016; onde a absorção máxima permitida deve ser menor ou igual a 10%. A umidade da amostra é dada pela expressão (2):

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

a = é a absorção total, expressa em porcentagem (%);

m_1 = é a massa do corpo de prova seco em estufa, expressa em gramas(g);

m_2 = é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas(g);

3.2.3.3 Resistência característica à compressão (F_{bk})

Os testes foram realizados de acordo com a ABNT NBR 12118:2013. Utilizou-se a ABNT NBR 6136:2016 para classificar os blocos em classes de acordo com a resistência característica à compressão. O carregamento aplicado ao bloco foi aumentando progressivamente sem choques, a aceleração do carregamento foi de 0,2 a 0,3 Mpa/s.

3.2.3.4 Difração de raios-X

Utilizou-se o Difratorômetro modelo MiniFlex 600 da marca Rigaku com as seguintes especificações:

- Condição do aparelho:

MiniFlex 600 (tubo FF 40 kV, 15 mA), Detector: Contador de cintilação (filtro K β), Condições de fenda: DS / SS = 1,25 °, RS = 0,3 mm, Lado incidente

e lado receptor Fenda Soller: 5 °, Fenda limitadora de altura do incidente = 10 mm.

- Condição de medição:

Faixa de varredura: $2\theta = 10 \sim 90^\circ$, Largura do passo: $0,02^\circ$, Velocidade de varredura: $4^\circ / \text{min.}$ (cerca de 20 min.).

As amostras foram preparadas a partir da moagem dos fragmentos dos blocos de concreto já rompido nos ensaios de resistência à compressão. O pó fino obtido por meio da maceração foi levado ao porta amostra do sistema de DRX, nesta análise a tensão foi de 40 Kv; corrente de 15 mA, ângulo 2θ e a velocidade de varredura de $2^\circ / \text{min.}$

3.2.3.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Utilizou-se o Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV, modelo INSPECT S50 da marca FEI, com as seguintes especificações:

- Condição do aparelho:

Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV Modelo INSPECT S50 Marca FEI Detectores; Everhart-Thornley SED (Detector de elétrons secundário); Large Field Low vacuum SED (LFD); vCD (Detector de baixa voltagem e alto contraste) / BSE e EDS.

- Condição de medição:

Campo horizontal máximo: 6.5 mm a distância de trabalho (WD) de 10 mm; e 11.3 mm a WD 25 mm; Voltagem de aceleração 200 V – 30 kV; Corrente: até 2 μA , ajustável continuamente; Magnification: 13 to 1.000.000.

As amostras foram coletas após o ensaio de resistência à compressão, onde utilizaram-se os fragmentos dos blocos de concreto rompidos. Os fragmentos foram colados em uma base de aço coberta com fita de carbono, as imagens obtidas foram registradas em arquivo digital.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

4.1.1 Análise Granulométrica

A Figura 4 apresenta a curva granulométrica dos agregados. É possível visualizar que as amostras encontram-se totalmente dentro da zona utilizável sendo a maioria contida na zona ótima. O teor de finos e a granulometria são elementos decisivos para o desempenho da produção.

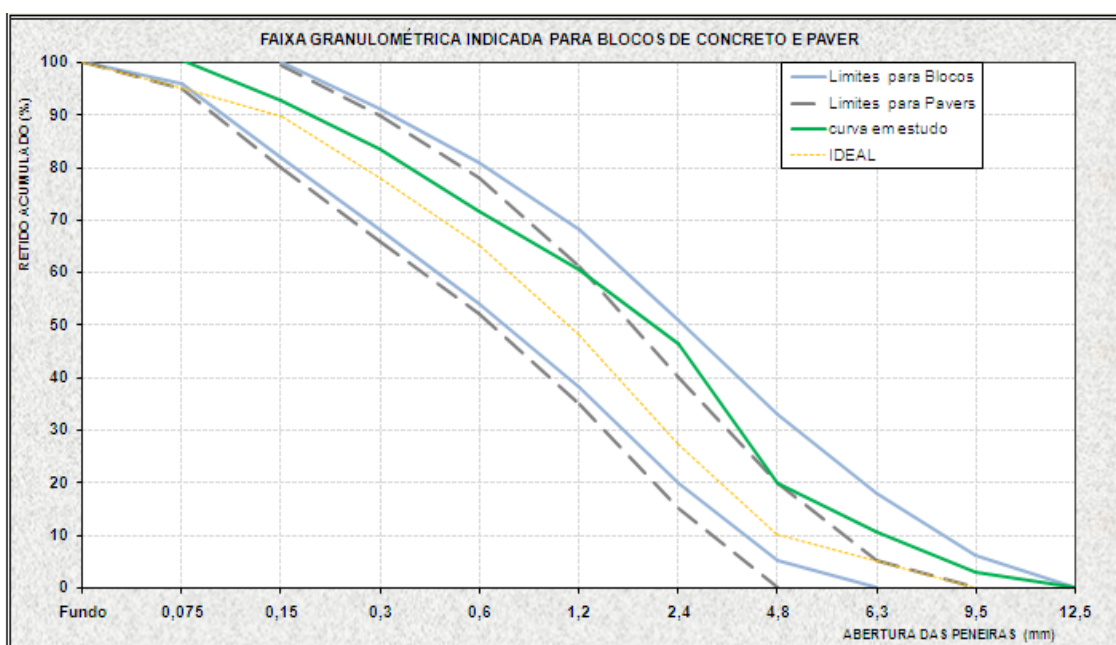


Figura 6 - Curva granulométrica.

Fonte: Próprio autor.

De acordo com os resultados do ensaio de granulometria o agregado utilizado está dentro da faixa aceitável para produção de blocos de concreto. De acordo com os parâmetros granulométricos o pó de pedra e pó misto pode ser classificado como um agregado misto. A Tabela 3 mostra que o agregado utilizado encontra-se nos padrões adequados de uso para os traços estudados.

Tabela 3 - Propriedades físicas da matéria prima.

	Dimensão máxima (mm)	Modulo de Finura	Quantidade de Finos (%)	Umidade (%)
Pó de pedra	9,5	3,6	7,8	3,2
Pó misto	9,5	4,5	6.6	2,0

Fonte: Próprio autor.

4.1.2 Determinação da umidade do agregado

O teor de umidade é importante para corrigir a quantidade de água do concreto e, também, para se fazer correções da massa dos agregados colocados na mistura. Os resultados obtidos da umidade das amostras pelo método de secagem manual foram de 2,0% para pó misto e de 3,2% para o pó de pedra, referindo-se ao valor de umidade total do agregado. Sendo os valores de umidade dos agregados dentro da faixa usual para trabalho.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

4.2.1 Análise Dimensional

Para todos os traços foram verificadas as três dimensões principais do componente Largura x Altura x Comprimento, onde ao realizar as medições não foi notada nenhuma irregularidade. A tolerância para as medidas são de $\pm 2,0$ mm para largura e $\pm 3,0$ mm para altura e comprimento.

Tabela 4 - Análise dimensional.

Amostra	Comprimento médio (mm)	Largura média (mm)	Altura média (mm)
T0	391,35	140,77	189,23
T1	391,42	141,32	189,45
T2	391,22	141,63	190,21
T3	390,83	141,65	189,12
T4	391,84	141,47	190,15
T5	391,18	141,00	190,17

Fonte: Próprio autor.

4.2.2 Índice de absorção de água

Esse ensaio tem como objetivo determinar a absorção de água por amostra, conforme exposto na Figura 5. Os traços T4 e T5 tiveram maiores percentuais de absorção de água. Embora tenham apresentado valores de absorção de água dentro dos limites especificados pelas normas técnicas em vigor.

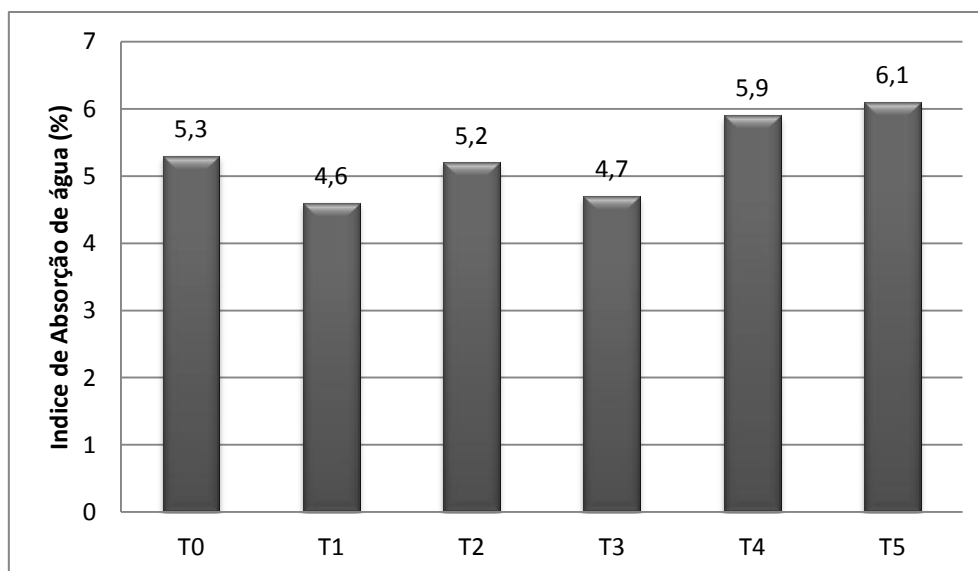


Figura 7 - Índice de absorção de água.

Fonte: Próprio autor.

4.2.3 Resistência característica à compressão (F_{bk})

Analisando os resultados apresentados na Tabela 4, observou-se uma perda de resistência nos traços T2 e T3. Já no traço T4 pode-se observar a relevância do RCB em substituição pelo cimento. Onde obteve valores de resistência à compressão aproximada ao traço padrão. No traço T5 houve, também, perda em sua resistência. Com isso, observou-se que há um percentual ideal para a substituição. Podendo-se destacar o traço-T4 com 20% de substituição do cimento pelo RCB como maior resistência à compressão.

No geral, a adição do resíduo de calcário britado, para produção de blocos de concreto tende a manter a resistência mecânica das mesmas, conforme mostra a Figura 6. A substituição do cimento pela RCB, dentro das porcentagens corretas, viabiliza mecanicamente a utilização dos blocos de concreto estrutural.

Tabela 5 - Resistência característica à compressão.

Resistência característica à compressão (Mpa)				
Traço	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias
T0	5,5	6,9	7,3	8,7
T1	5,8	7,1	7,2	8,3
T2	5,2	6,1	6,6	7,3
T3	5,7	6,5	6,9	7,9
T4	5,6	6,4	7,4	8,9
T5	4,8	5,7	6,7	8,1

Fonte: Próprio autor.

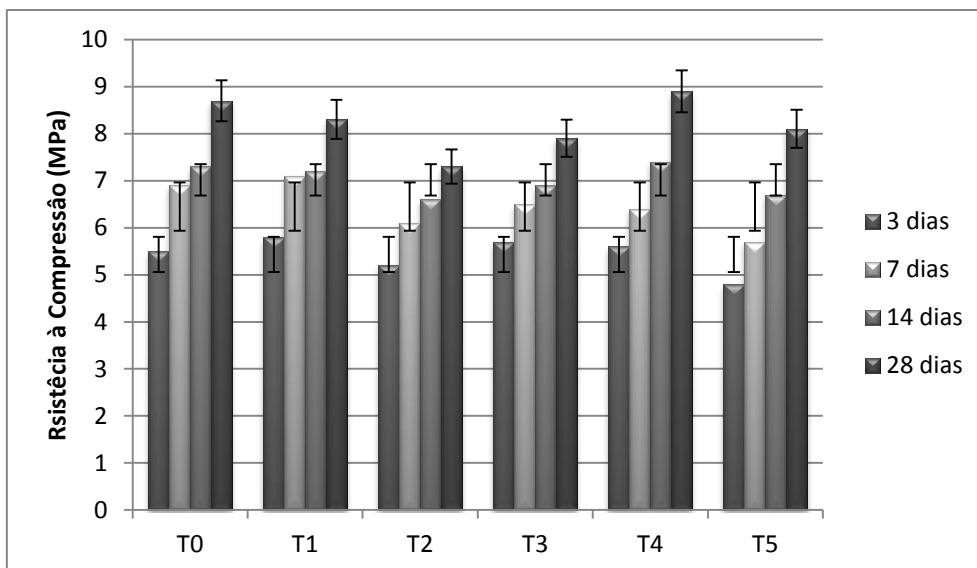


Figura 8 - Resistência característica à compressão

Fonte: Próprio autor.

4.2.4 Difração de Raio-X

Foi realizado o estudo das composições mineralógicas através do método de DRX verificando-se a presença dos seguintes grupos de minerais:

- Traço – T0

Os valores (%) e as composições para referência do traço padrão – T0, sem substituição do RCB encontra-se na tabela 6.

Tabela 6 - Fases correspondentes do Difratoograma de Raio X– Traço T0.

Índice	Valor (%)	Nome	Fórmula
A	22,0	Silício	Si
B	17,1	Óxido de magnésio - Periclase	MgO
C	12,9	Sulfato de Cálcio Hidratado	CaH ₄ O ₆ S
D	11,6	Fluoreto de ferro	FeF ₃
E	10,5	Dióxido de Silício - Quartzo	SiO ₂
F	8,2	Dióxido de Silício - Cristobalita	SiO ₂
G	4,5	Cálcio	Ca
H	4,0	Cal	CaO
I	3,8	Fosfato de Cálcio	CaO ₆ P ₂
J	2,5	Potássio	K
K	2.1	Manganes	Mn
L		Ferro	Fe
77.0		Área de pico não identificado	

Fonte: Adaptado do Software Match!3

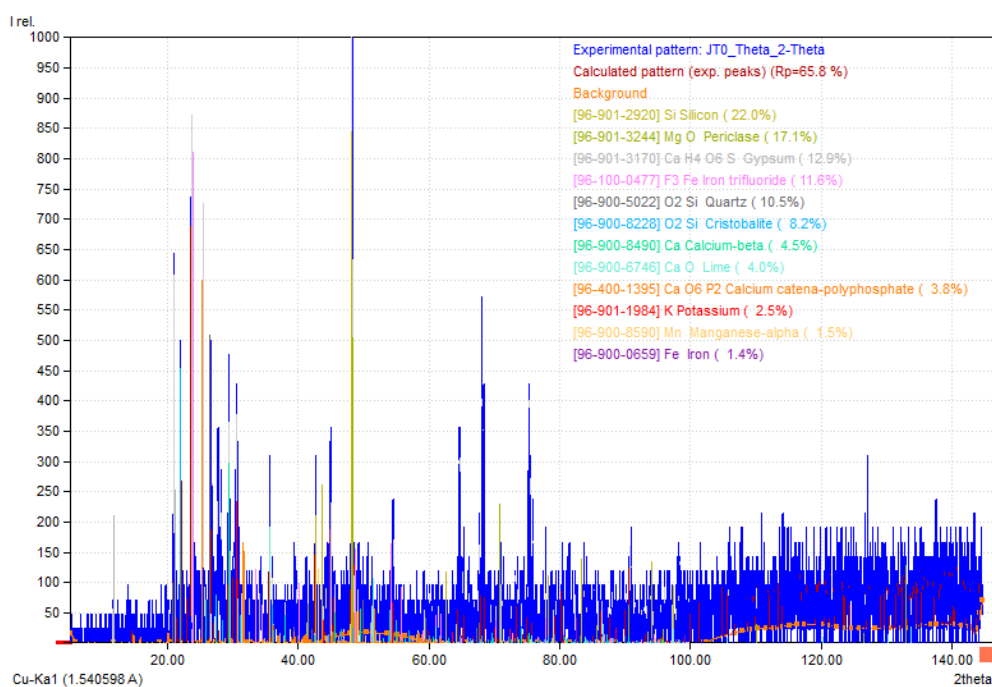


Figura 9 - Difratoograma de Raio X– Traço T0.

- Traço – T1

Para o traço com substituição de 5% do cimento pelo RCB, os valores (%) e as composições do traço – T1 encontram-se na tabela 7.

Tabela 7 - Fases correspondentes do Difratoograma de Raio X– Traço T1.

Índice	Valor (%)	Nome	Fórmula
A	52,8	Dióxido de Silício - Quartzo	SiO₂
B	12,2	Dolomita	CaMg(CO₃)₂
C	11,7	Fosfato de Alumínio - Berlinita	AlPO₄
D	8,3	Dolomita - Calcite	CaMg(CO₃)₂
E	10,5	Potássio	K
F	4,0	Óxido de magnésio - Periclase	MgO
G	2,6	Cálcio	Ca
H	1,0	Alabandite	Mns
60,2		Área de pico não identificada	

Fonte: Adaptado do Software Match!3

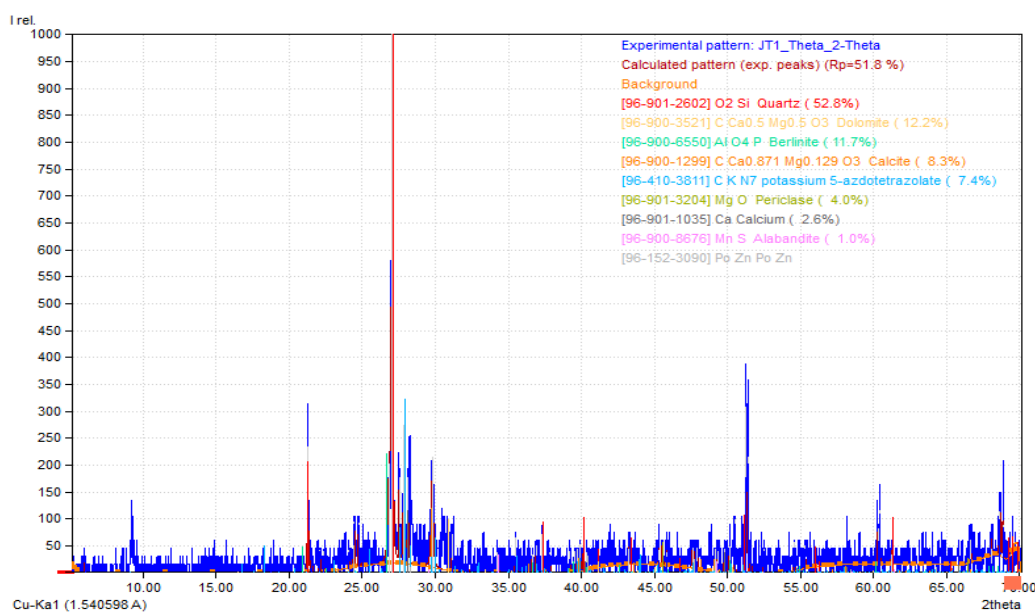


Figura 10 - Difratoograma de Raio X– Traço T1.

- Traço – T2

Os valores (%) e as composições para referência do traço – T2, com substituição do de 10% do cimento pelo RCB encontra-se na tabela 8.

Tabela 8 - Fases correspondentes do Difratoograma de Raio X– Traço T2.

Índice	Valor (%)	Nome	Fórmula
A	21,0	Dióxido de Silício - Quartzo	SiO ₂
B	12,6	Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂
C	12,4	Carbono	C
D	12,1	Cloreto de Potássio, Bário e Cobre.	BaClCuK ₇ V ₂
E	9,6	Dolomita - Calcite	CaMg(CO ₃) ₂
F	8,4	Óxido de magnésio - Periclase	MgO
G	7,6	Dióxido de Silício - Cristobalita	SiO ₂
H	7,4	Óxido de magnésio - Periclase	MgO
I	4,9	Dióxido de Titânio	TiO ₂
J	3,9	Sulfeto de Cálcio	CaS
60,2		Área de pico não identificado	

Fonte: Adaptado do Software Match!3

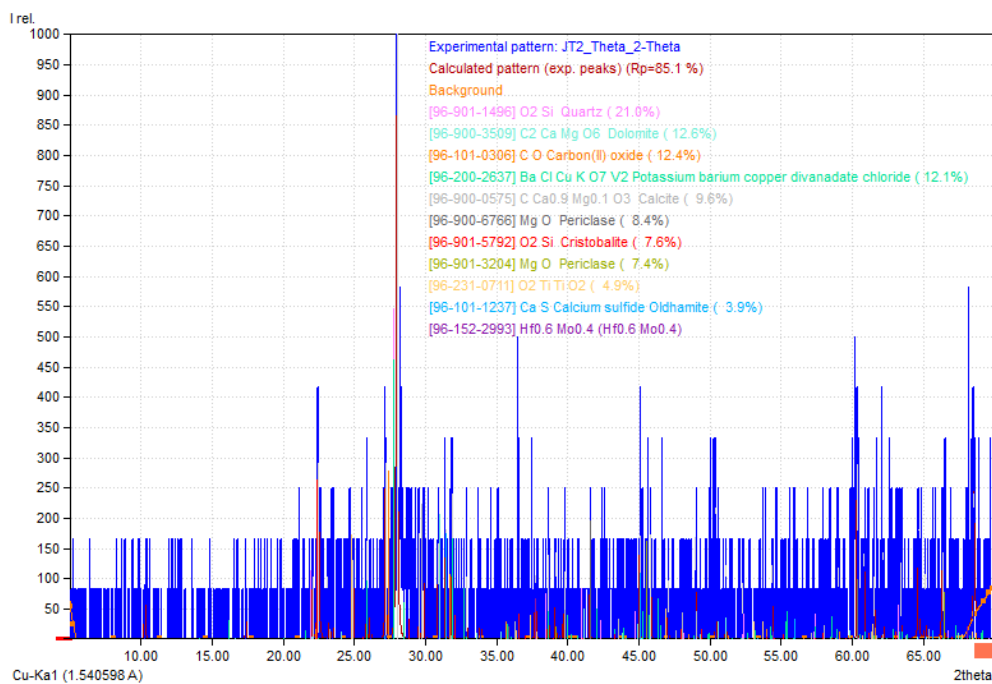


Figura 11 - Difratoograma de Raio X– Traço T2.

- Traço – T3

Já para o traço com 15% de substituição do cimento pelo RCB, os valores (%) e as composições para referência do traço – T3 encontra-se na tabela 9.

Tabela 9 - Fases correspondentes do Difratoograma de Raio X– Traço T3.

Índice	Valor (%)	Nome	Fórmula
A	21,0	Albite - Feldspatos	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
B	22,8	Carbono	C
C	14,2	Carbono	C
D	9,9	Carbonato de Cálcio	CaCO_3
E	9,1	Óxido de magnésio - Periclase	MgO
F	7,3	Potássio	K
G	4,9	Dióxido de Titânio	TiO_2
H	3,8	Ferro	Fe
I	1,4	Dióxido de Silício - Quartzo	SiO_2
73,1		Área de pico não identificado	

Fonte: Adaptado do Software Match!3

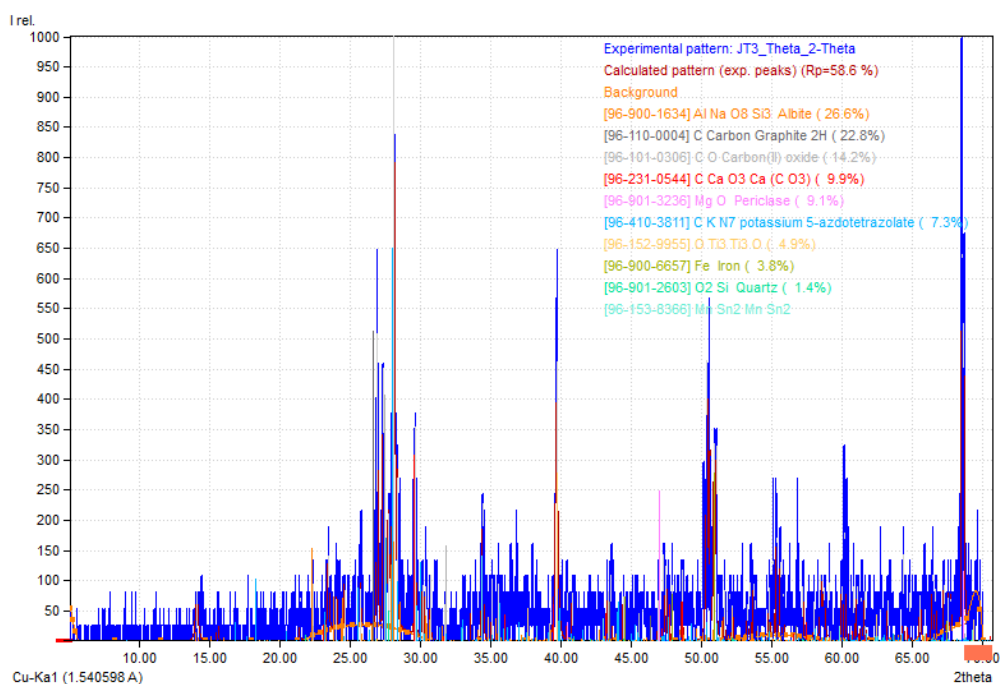


Figura 12 - Difratoograma de Raio X– Traço T3.

- Traço – T4

Para o traço com substituição de 20% do cimento pelo RCB, os valores (%) e as composições do traço – T4 encontram-se na tabela 10.

Tabela 10 - Fases correspondentes do Difratoograma de Raio X– Traço T4.

Índice	Valor (%)	Nome	Fórmula
A	24,6	Gehlenita	$\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$
B	20,8	Perfluoro de Naftaleno	C_{10}F_8
C	15,7	Cálcio	Ca
D	14,6	Dióxido de Silício - Quartzo	SiO_2
E	9,5	Óxido de magnésio - Periclase	MgO
F	7,2	Potássio	K
G	5,3	Seleneto de Cálcio	CaSe
H	2,4	Ferro	Fe
85,6		Área de pico não identificado	

Fonte: Adaptado do Software Match!3

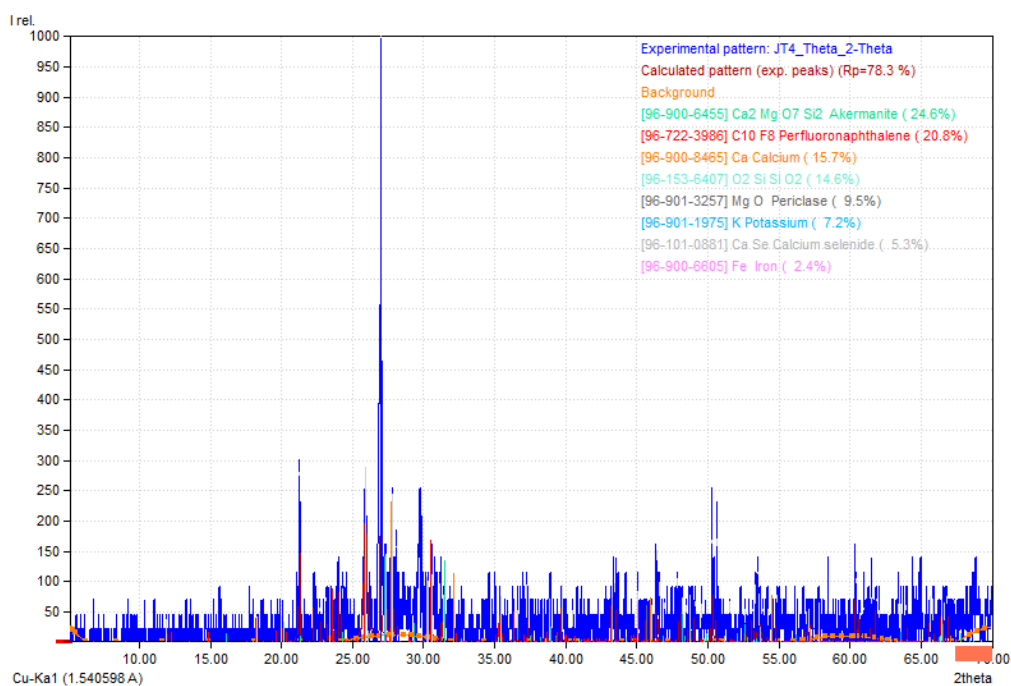


Figura 13 - Difratoograma de Raio X– Traço T4.

- Traço – T5

Já para o traço com 25% de substituição do cimento pelo RCB, os valores (%) e as composições para referência do traço – T5 encontra-se na tabela 11.

Tabela 11 - Fases correspondentes do Difratoograma de Raio X– Traço T5.

Índice	Valor (%)	Nome	Fórmula
A	79,4	Dolomita - Calcite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
B	8,6	CaCrP_2O_7	CaCrP_2O_7
C	6,2	Dióxido de Silício - Quartzo	SiO_2
D	5,8	Cálcio, Zircônio e Titânio - Calziritite.	$\text{SrCaZr}_3\text{TiO}_9$
54,1		Área de pico não identificado	

Fonte: Adaptado do Software Match!3

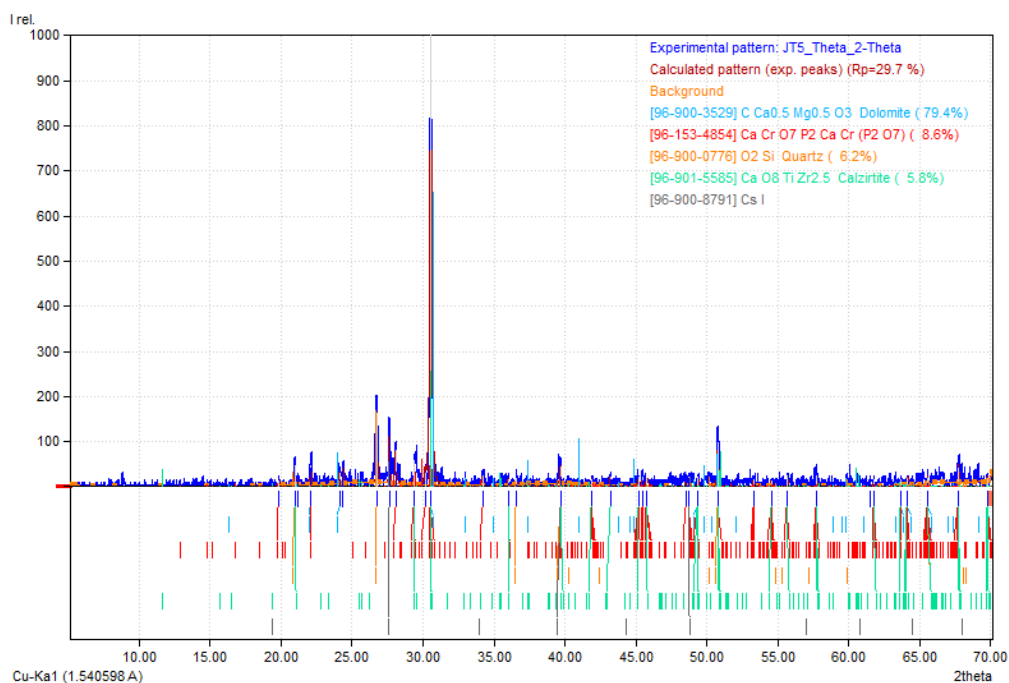


Figura 14 - Difratoograma de Raio X– Traço T5.

Devido a grande quantidade de componentes minerais a interpretação dos difratogramas de raios – X pode não ser exata para alguns picos. Mesmo diante dessa dificuldade e possíveis imprecisões, pode-se observar os picos de maiores transformações, as quais acontecem durante a hidratação das composições.

A partir das adições do resíduo do calcário britado, observaram-se novos minerais carbonatos, como a cálcio e a dolomita. O que significa que, todos os processos de endurecimento e aumento da resistência dos traços podem ser explicados pelo crescimento de estruturas cristalinas de Carbonatos de Cálcio, Magnésio, Ferro, Calcita e Dolomita.

O alto teor de naftaleno para o Traço – T4 é devido ao uso de plastificante que é adicionado na mistura. De acordo com Collepari et al. (1981) os plastificantes são sais de polímeros de melamina formaldeído sulfonado (polymelamine sulfonatos; PMS), sais de polímeros naftaleno formaldeído sulfonado (sulfonatos PNS). Os naftalenos sulfonados são comercializados como alquil naftalenos sulfonatos e naftalenos sulfonatos, podendo ser produtos condensados ou não. Ambos podem ser sais de sódio, cálcio ou de amônio, ou ácidos de naftaleno sulfonato. São representantes da família de surfactantes aniônicos. O grau de polimerização do naftaleno formaldeído sulfonado usado como plastificante influencia a fluidez das misturas de cimento.

Os aditivos plastificantes proporcionam maior trabalhabilidade, alta resistência mecânica e durabilidade. Assim como as adições minerais, com grãos de tamanhos menores que as partículas de cimento, como a adição do RCB que possui um efeito *filler*, o que também faz desse material uma ótima associação para aumentar a trabalhabilidade, diminuir a capilaridade e a permeabilidade de concretos. Devido a esses fatores foi observado maior resistência à compressão no Traço - T4.

4.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Foram analisadas as amostras T0, T1, T2, T3, T4 e T5. Sendo o T0 como o traço de concreto utilizado como padrão e a substituição do cimento pelo resíduo do calcário britado (RCB) na proporção de 5, 10, 15, 20 e 25% (m/m), respectivamente. As amostras analisadas foram ampliadas em 100, 200, 400 e 800 x. Para essas ampliações, não foi possível observar estruturas cristalinas nesse procedimento. Mas não se pode afirmar a não existência de formas microcristalinas devido as possíveis formações amorfas e a formação de minerais com estruturas cristalinas (Calcita, Dolomita) como foi visíveis no difratogramas de Raios X.

As imagens mais representativas foram observadas nas ampliações de 400x e são apresentadas na Figura 13:

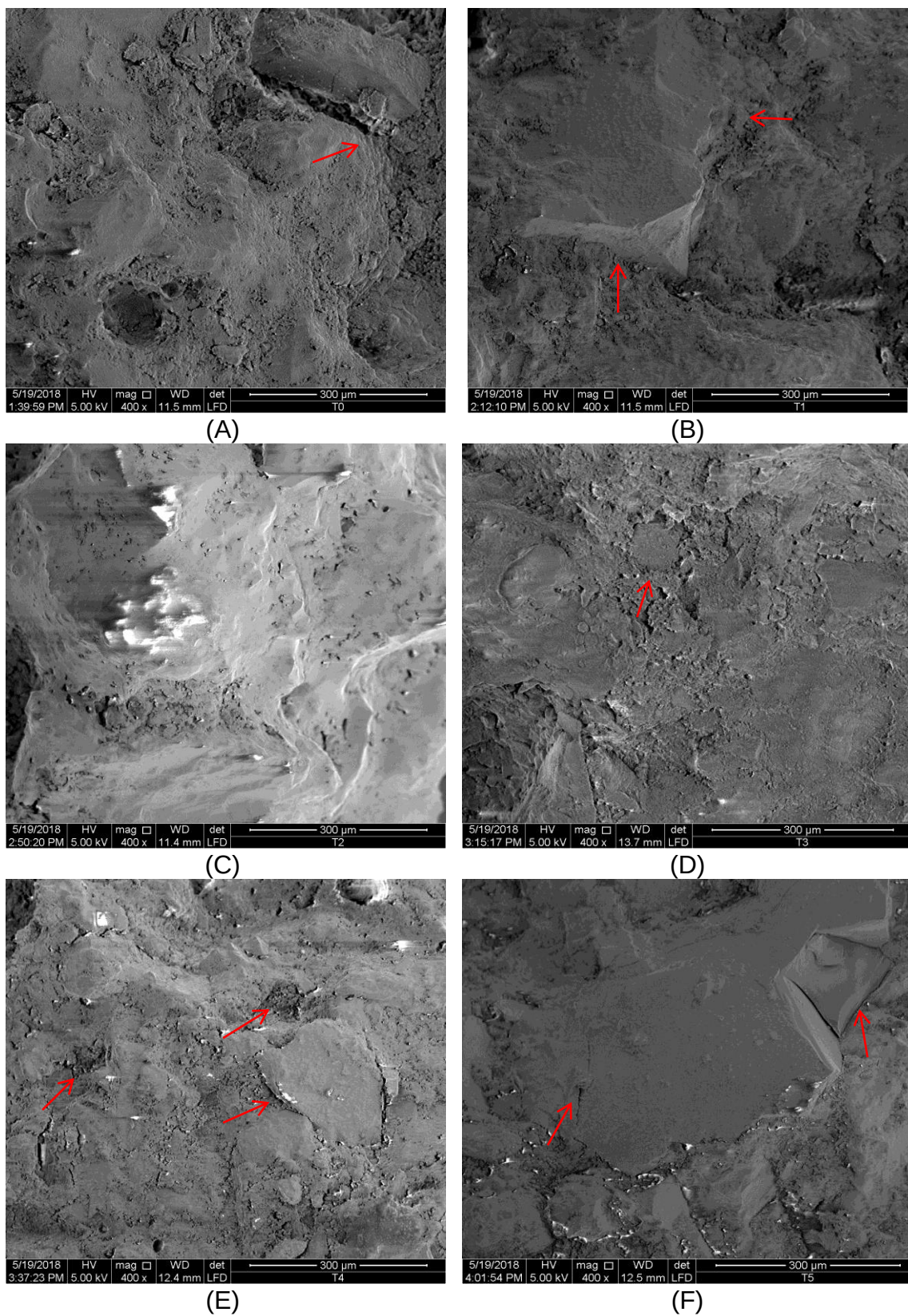


Figura 15 - Micrografia do traço padrão – T0. (B) Micrografia do traço com 5% de RCB – T1. (C) Micrografia do traço com 10% de RCB – T2. (D) Micrografia do traço com 15% de RCB – T3. (E) Micrografia do traço com 20% de RCB – T4. (F) Micrografia do traço com 25%.

No traço padrão, sem a substituição do RCB. É visível a forma mais compacta e com grande rede de poros. É possível visualizar os materiais aglomerantes, onde existem aglomerações ligando a pasta com o agregado maior. Toda a estrutura é ligada pelo produto de hidratação do cimento Portland.

Para traço com a substituição de 5% do cimento pelo RCB, a forma é mais compacta, com a superfície lisa, densa e, praticamente, não existem limites entre os agregados. Provavelmente devido à atividade ligante do RCB. É possível observa possíveis formas formações amorfas.

Já para o traço com a substituição de 10% do cimento pelo RCB, observa-se que as amostras são muito compactas e densas, com pequenas redes de poros e praticamente não existem limites entre os agregados. Não possuem formas cristalinas muito visíveis.

No traço com a substituição de 15% do cimento pelo RCB, observou-se que as amostras também são muito compactas, densas, lisas. Praticamente não existem limites entre os agregados graúdos e os materiais ligantes, embora existam separações entre diferentes pedaços. Aparentemente são visíveis formas amorfas.

Para o traço T4 com substituição de 20% do cimento pelo RCB, observa-se que a superfície das amostras é plana e densa. É possível visualizar a presença de poros de cal hidratada com cimento e também de possíveis estruturas amorfas. Não sendo possível a visualização de cristais.

O traço T5 com substituição de 25% do cimento pelo RCB observa-se também, que a superfície das amostras é plana, lisa e densa. Praticamente não existem limites entre os agregados. É possível observar possíveis formas formações amorfas.

5. CONCLUSÃO

De maneira geral, os blocos fabricados com o rejeito de calcário britado (RCB) apresentaram desempenho satisfatório, tornando viável a sua utilização para fabricação dos mesmos.

Todos os blocos atenderam as tolerâncias permitidas para as prescrições normativas em relação à altura e comprimento, assim não foi notada nenhuma dilatação significativa.

Todos os traços obtiveram bom desempenho na resistência à compressão. Sendo a de melhor propriedade mecânica o traço – T4 com 20% de substituição do cimento pelo RCB.

Pelo método do DRX foi possível observar ao adicionar o RCB, crescimento de novas formações de minerais e um aumento nos minerais carbonatos, como a calcita e a dolomita. O que significa que todos os processos de endurecimento e aumento da resistência dos traços podem ser explicados pelo crescimento, fortalecimento e o aperfeiçoamento de estruturas cristalinas de Carbonatos de Cálcio, Magnésio, Ferro, Calcita e Dolomita.

Portanto, o rejeito do calcário britado torna-se atrativo nessa pesquisa, pois possibilita a incorporação dos resíduos de calcário britado como matéria prima alternativa no processo industrial, demonstrando uma alternativa viável econômica, ambiental e socialmente. Podendo ser considerado como uma das melhores soluções para minimizar os impactos ambientais decorrentes da disposição desse rejeito e das indústrias cimentícias, uma vez que reduz consideravelmente o volume de resíduos em contato com o meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICO, José. **Bloco de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. São Carlos, 2007. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-29012009-10420.php> > Acesso em: 28 fev. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12118: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - determinação de absorção**, Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12655: **Concreto – Preparo controle e recebimento**, Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 5738: **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6118: **Projetos de estrutura de concreto - Procedimento**, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7173: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural**, Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7215: **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**, Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8953: **Concreto para fins estruturais- classificação por grupo de resistência**, Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR NM 248: **Agregado – Determinação da composição granulométrica**, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR NM 26:2009. **Agregados - Amostragem**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR NM 27:2001. **Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR NM 45:2006. **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR NM 52:2009. **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993, **Cimento Portland branco**. NBR 12989. Rio de Janeiro, RJ.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. São Paulo: Oficina de textos, 2010. p.194-204

BRASIL. **Instituto Nacional de Metrologia, normalização e qualidade industrial. Bloco Cerâmico (Tijolo)**. 2011. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/tijolo.asp> >. Acesso em: 10 fev. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. RESOLUÇÃO no 382, de 26 de dezembro de 2006. **Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas**. Publicada no DOU nº 1, de 2 de janeiro de 2007, Seção 1, página 131-137. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520> > Acesso em: 28 fev. 2018.

DEL CARLOU, U. **Cultura sustentável**, Revista Técnica. Ed. 133, São Paulo: PINI, 2008. p. 22-28.

DINIZ, M. A., **Concreto auto adensável utilizando resíduos de caulim**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

FRANCO, L.S et al. **Desenvolvimento de um método construtivo de alvenaria de vedação de bloco de concreto autoclavados**: proposição do método construtivo POLI-SICAL. São Paulo. EPUSP-PCC, 1994.

KIRCHHEIM et al., 2005, “**Concreto Branco**”. In: Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo, IBRACON, v. 2, 1600 p.

KIRCHHEIM, A., 2003, **Concreto de cimento Portland branco estrutural: Avaliação da carbonatação e absorção capilar**. Dissertação de M. Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. et al. **Tecnologia construtiva de renovação do revestimento de fachada em edifícios de múltiplos pavimentos**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008, Fortaleza, Brasil.

LORDSLEEM JÚNIOR, A. C.; NEVES, M. L. R.; MONTEIRO, E. B. **Metodologia para a avaliação do potencial de racionalização da alvenaria de vedação em edifícios multipavimentos**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008, Fortaleza, Brasil.

MARINOSKI, Deivis. **Aula 2: ALVENARIAS: conceitos, alvenaria de vedação, processo executivo.** Departamento de Arquitetura e Urbanismo - Tecnologia da Edificação III, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

Materiais de Construção I. **Aglomerantes.** Apostilas USP, 2017. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/7/71/Aglomerantes_JF.pdf> Acesso em: 28 fev. 2018.

MEHTA, P., MONTEIRO, P., 2008, Concreto: **Estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo, Pini.

MENEZES, R. R; NEVES, G. de A; FERREIRA, H. C. 2002. **O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - vol.6 nº. 2 Campina Grande.

MILLET, J. *et al.* (1979). **Influência da temperatura de calcinação e da natureza do calcário sobre a mineralogia das cales virgens.** Tradução Maria Alba Cincotto. Associação Brasileira dos Produtores de Cal. N.T. 71 – 1979, São Paulo, Brasil.

MOURÃO, M.B.; YOKOJI, A.; MALYNOWSKYL, A.; LEANDRO, C.A.; SILVA.; TAKANO, C.; QUITES, E.E. C.; GENTILE, E.F.; LENZ E SILVA, G.F.B.; BOLOTA, J.R.; GONÇALVES, M.; Faco, R.J. (2007). **Introdução à Siderurgia. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.** São Paulo, 428 p.

NEVILLE, A., 1997, **Propriedades do Concreto.** 2 ed. São Paulo, Pini. Traduzido por Salvador E. Giammusso.

PENIDO, J. N.; HARANO, E. L.; SILVA, M. C. **Consumo de rejeitos industriais em uma sinterização.** Revista Metalurgia & Materiais, São Paulo, v. 50, n. 429, p. 512-521, maio 1994.

RODRIGUEZ, C.O. **Los morteros, control de calidad.** Primera Cooperación Europea, 1994.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – SEMAD. **Licença de operação das áreas de apoio da Gerdau Açominas compreendendo:** Sistema de captação e tratamento de água industrial, água potável, esgoto sanitário, central termoeletrica, depósito de resíduos industriais, oficina central e de locomotivas, posto de abastecimento de combustível, calcinação e unidade de tratamento de minério a seco. Belo Horizonte, 2009.

SILVA, F.G (2006) **Estudo de concretos de alto desempenho frente à ação de cloretos.** Tese (Doutorado) – Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais. EESC/IQSC/IFSC, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

SILVESTRE, Michelli. **Alvenaria estrutural em pauta**. Disponível em:< <http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/noticias/alvenaria-estrutural-em-pauta>>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

SOUZA, J. E. R. **Estudo da viabilidade da substituição parcial e integral da cal pelo resíduo de calcário britado para produção de argamassa de assentamento**. Conselheiro Lafaiete. 2016.

YOSHITO, E. **Sistemas construtivos em alvenaria estrutural de blocos de concreto**, 2005.

ANEXOS

ANEXO 1 – Microscopia Eletrônica de Varredura – Traço T0

ANEXO 2 – Microscopia Eletrônica de Varredura – Traço T1

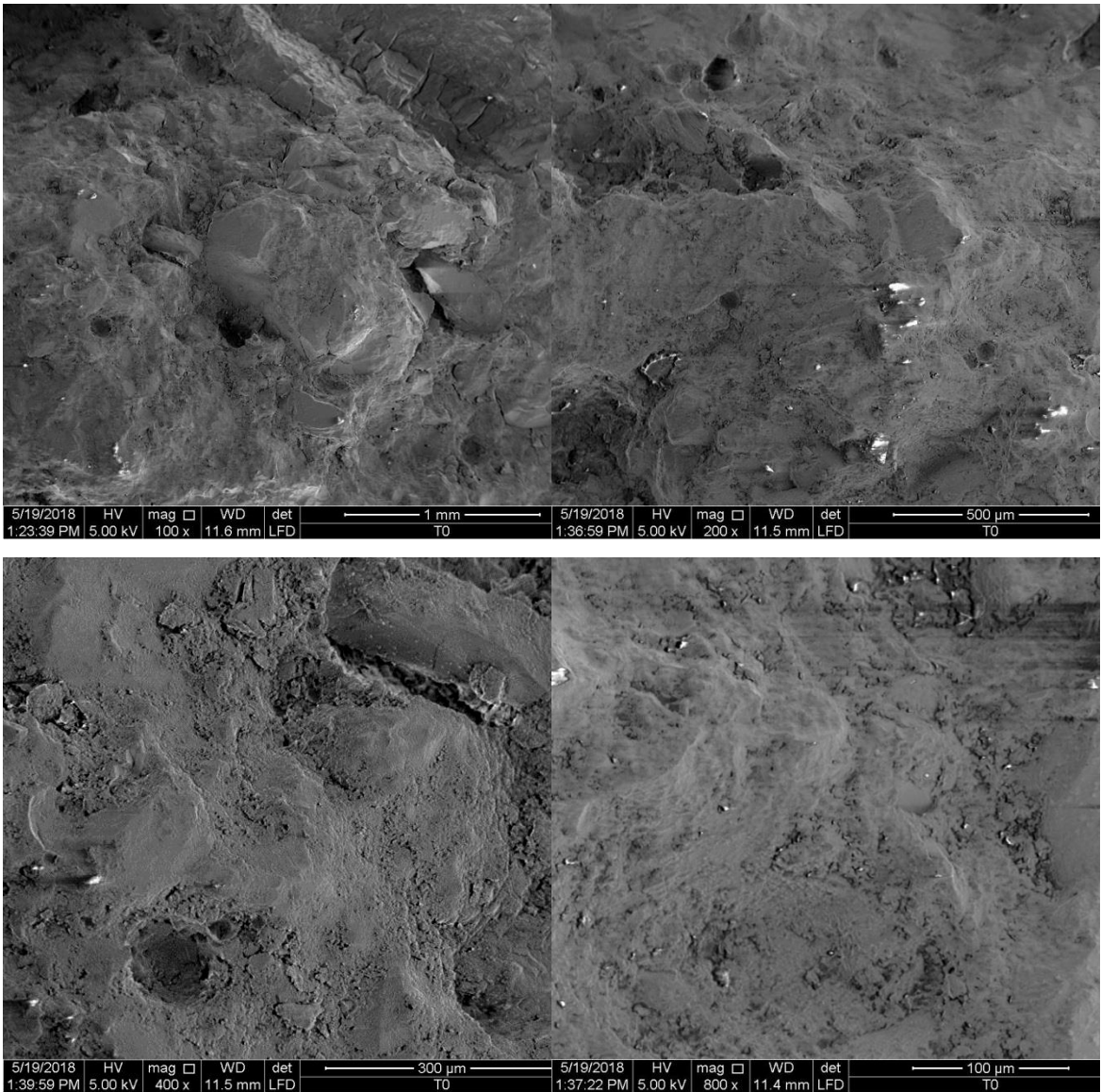
ANEXO 3 – Microscopia Eletrônica de Varredura – Traço T2

ANEXO 4 – Microscopia Eletrônica de Varredura – Traço T3

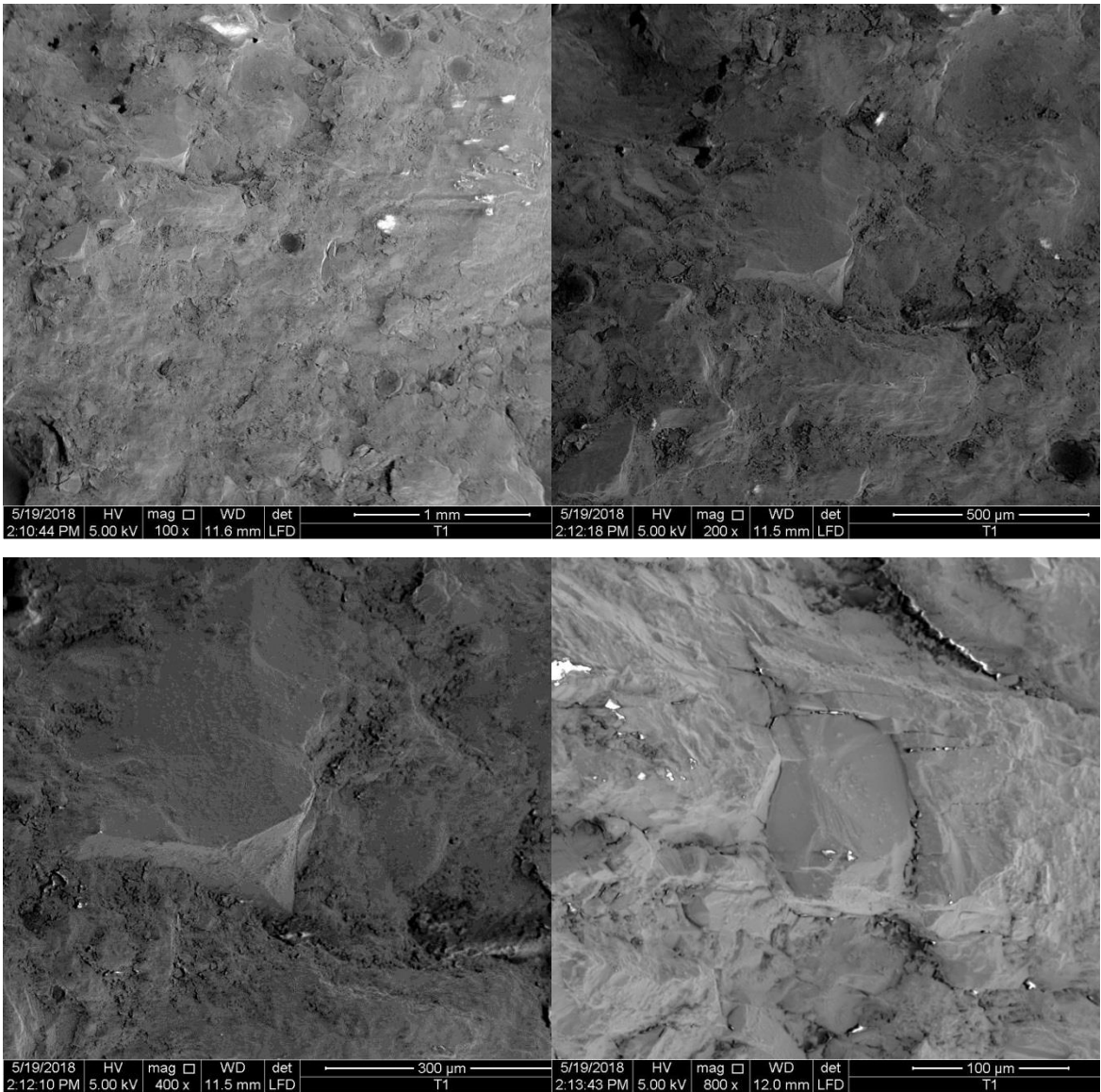
ANEXO 5 – Microscopia Eletrônica de Varredura – Traço T4

ANEXO 6 – Microscopia Eletrônica de Varredura – Traço T5

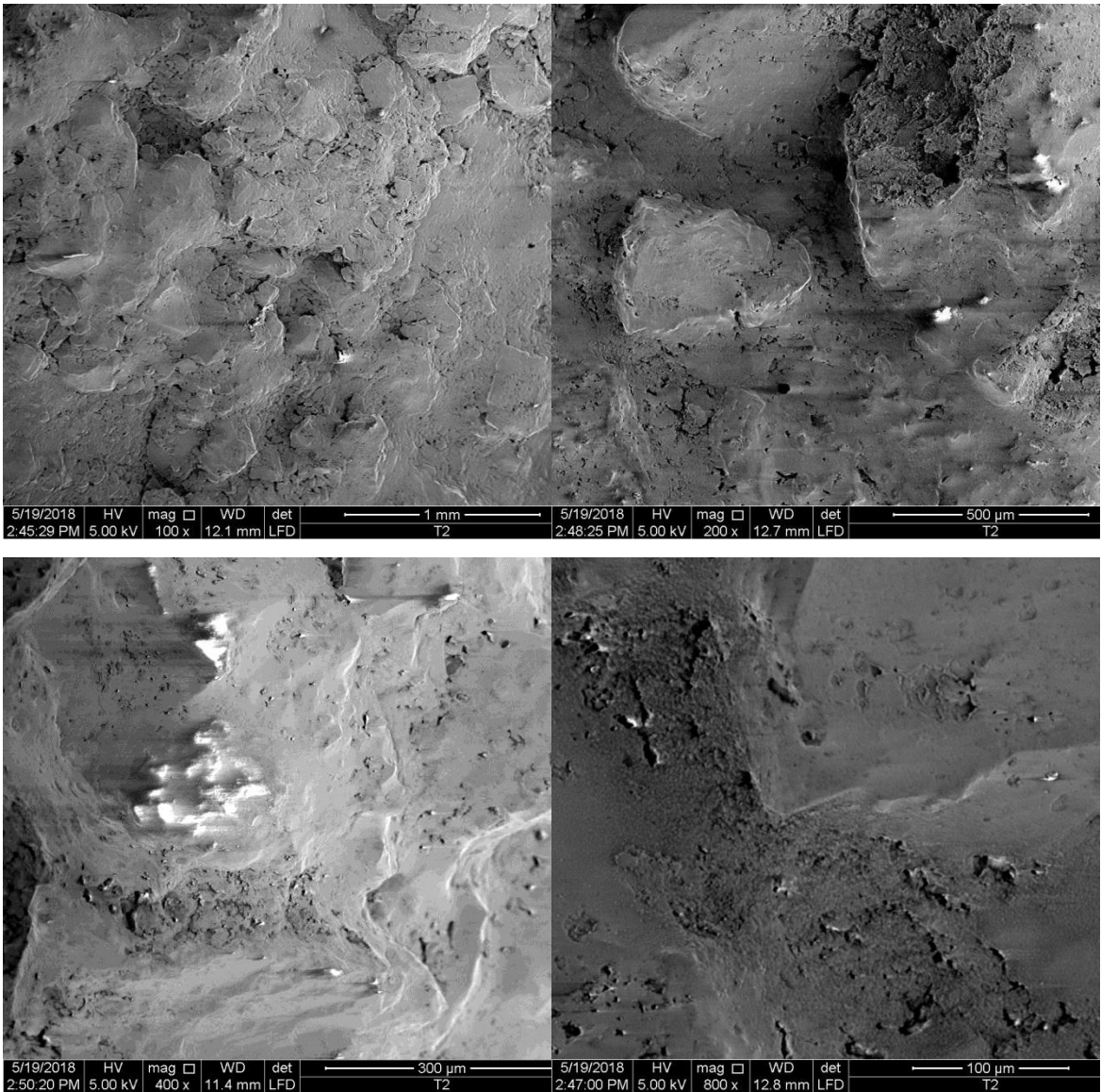
ANEXO 1 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – TRAÇO T0



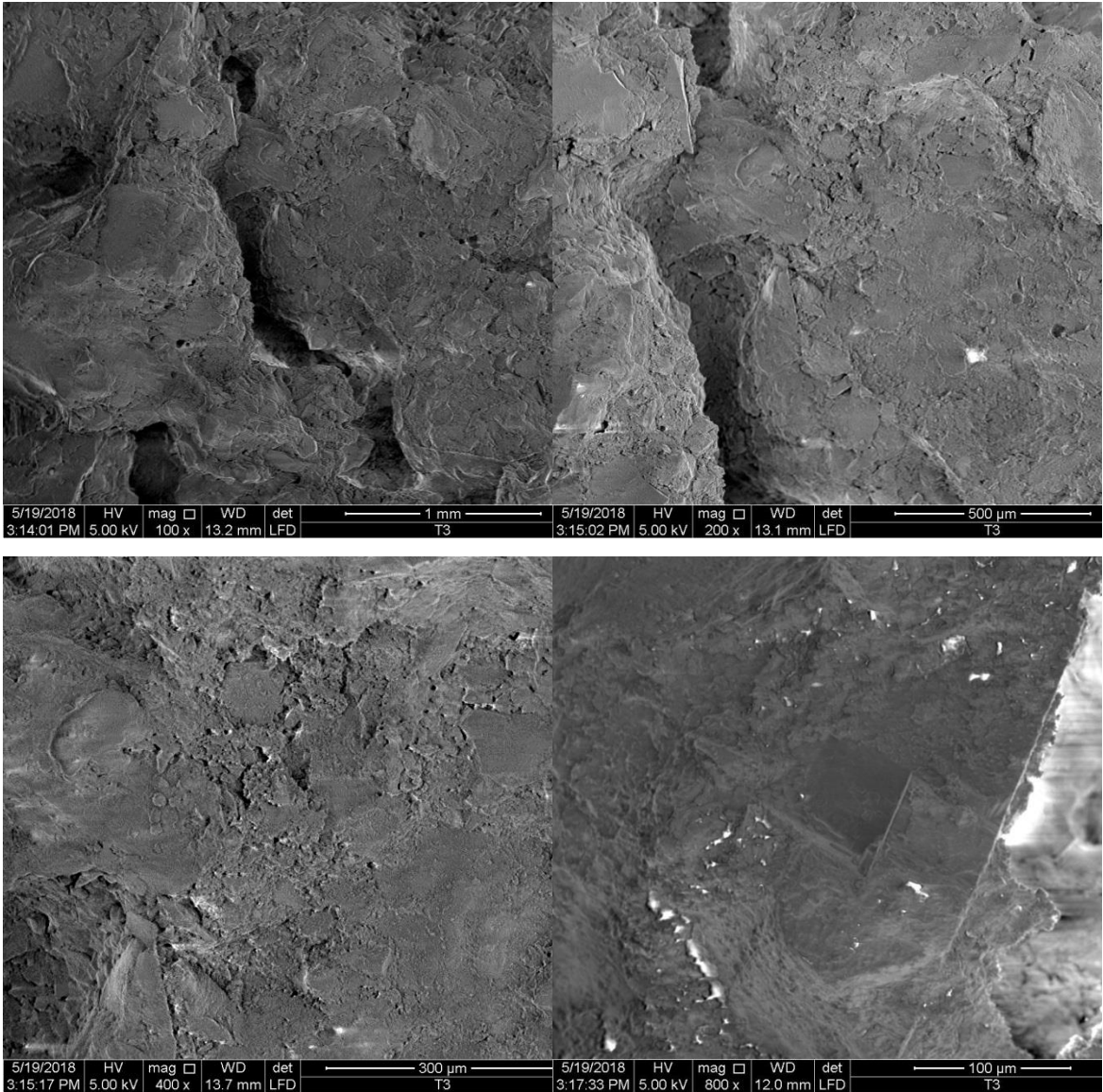
ANEXO 2 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – TRAÇO T1



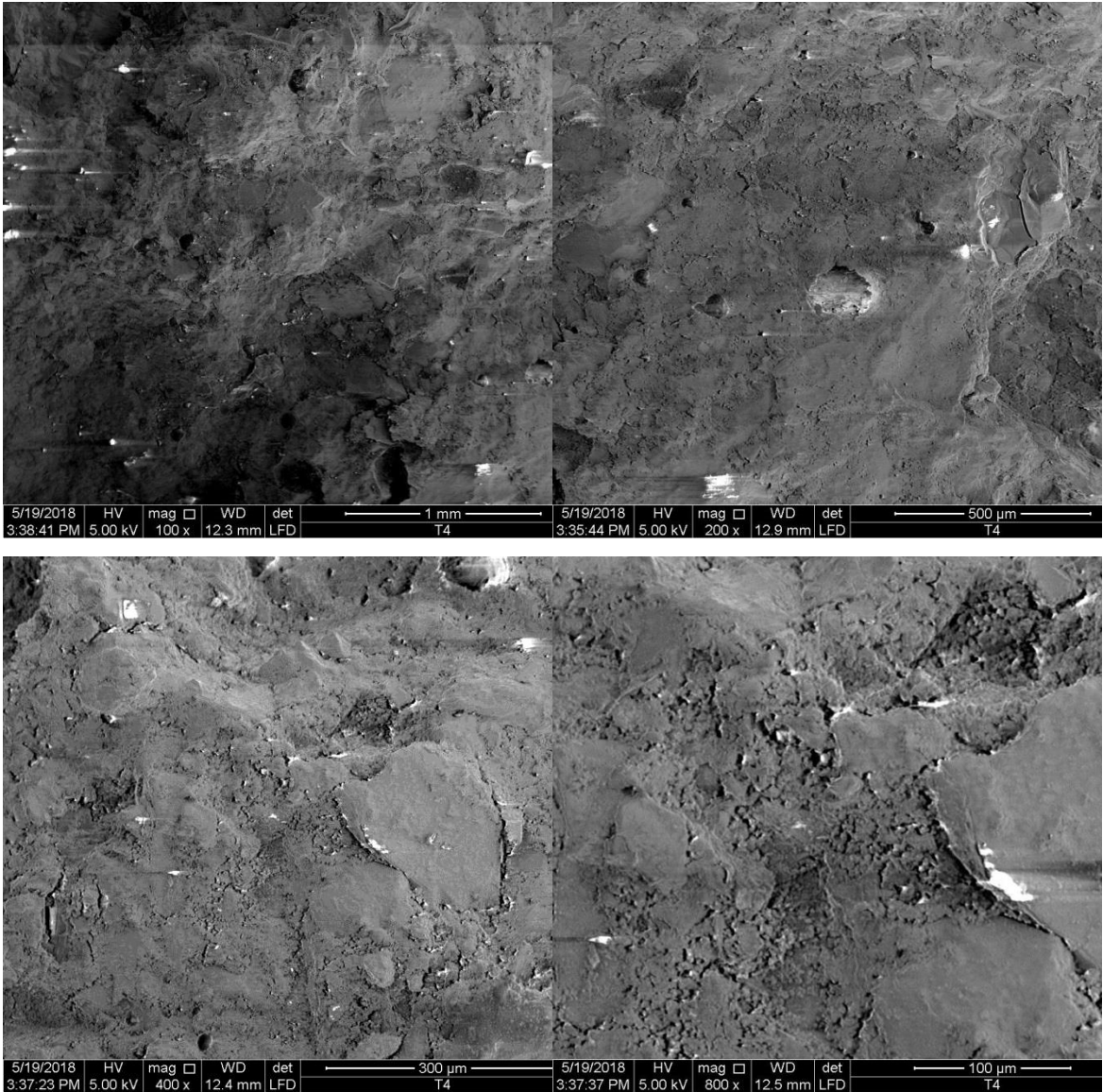
ANEXO 3 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – TRAÇO T2



ANEXO 4 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – TRAÇO T3



ANEXO 5 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – TRAÇO T4



ANEXO 6 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – TRAÇO T5

