

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE CELULOSE
(PAPEL KRAFT) NAS CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS
DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL**

LILIAN DE SOUSA ALVES

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE CELULOSE
(PAPEL KRAFT) NAS CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS
DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL**

LILIAN DE SOUSA ALVES

**ORIENTADOR: CLÁUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA FEITOSA
PEREIRA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E.DM-03A/16
BRASÍLIA/DF: MARÇO – 2016**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE CELULOSE
(PAPEL KRAFT) NAS CARACTERÍSTICAS DOS
BLOCOS DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL**

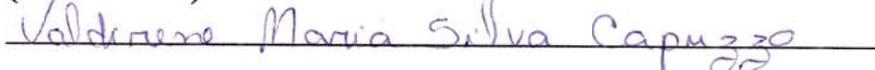
LILIAN DE SOUSA ALVES

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU
DE MESTRE EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.**

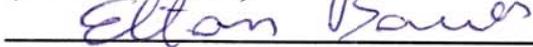
APROVADA POR:



**Prof. Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira, Dr. (EnC/UnB)
(Orientador)**



**Prof.ª Valdirene Maria Silva Capuzzo, Dra. (EnC/UnB)
(Coorientadora)**



**Prof. Elton Bauer, Dr. (ENC/UnB)
(Examinador Interno)**



**Prof. Márcio Albuquerque Buson, Dr. (FAU/UnB)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 18 DE MARÇO DE 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

ALVES, LILIAN DE SOUSA

Influência da adição de fibras de celulose (papel kraft) nas características dos blocos de concreto não estrutural. [Distrito Federal] 2016.

xviii, 129p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2016).
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Resíduos sólidos

2. Papel kraft

3. Reciclagem

4. Bloco de concreto

I. ENC/FT/UnB

II. Título (Mestre)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALVES, L. S. (2016). Influência da adição de fibras de celulose (papel kraft) nas características dos blocos de concreto não estrutural. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-03A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 129p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Lilian de Sousa Alves.

TÍTULO: Influência da adição de fibras de celulose (papel kraft) nas características dos blocos de concreto não estrutural.

GRAU: Mestre

ANO: 2016

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Lilian de Sousa Alves

CNB 1 Lote 5 Apartamento 603, Taguatinga Norte.

72115-015 Brasília – DF – Brasil.

lilian_sousalves@hotmail.com

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Afonso e Preciosa e a minha irmã Aline, pela confiança depositada, pelo apoio incondicional em cada passo que dou e pelo incentivo durante a minha formação pessoal e profissional, meus exemplos de vida, amor e ensinamentos.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelas bênçãos recebidas, por iluminar e abençoar a minha trajetória.

Aos meus pais Afonso e Preciosa, meus exemplos de pessoa e amor incondicional, pelo apoio, ensinamentos, confiança, orações e por tudo que sempre fizeram por mim; pela amizade e carinho, fundamentais na construção do meu caráter. À minha irmã Aline, minha melhor amiga por sempre estar ao meu lado e me fazer rir nos momentos difíceis. Obrigada pela companhia nas vindas à UnB e por todo amor e carinho.

Ao meu namorado, por todo seu amor, parceria, amizade, confiança, carinho, paciência e ajuda. Obrigada por dividir sua vida comigo e por me acolher quando precisei. Obrigada pelos tantos momentos de alegria, pela companhia nos estudos e pelo incentivo.

Agradeço àquele que me acolheu de braços abertos, me conduzindo pelos caminhos da pesquisa, meu orientador Prof. Dr. Cláudio Pereira. Obrigada pelo apoio e confiança depositada. À Profa. Dra. Valdirene Capuzzo pela coorientação, paciência, ajuda e incentivo à pesquisa.

Ao Prof. Dr. Elton Bauer, pela ajuda e por ter dedicado parte do seu tempo, compartilhando o seu conhecimento e transmitindo ensinamentos de grande valia.

Ao Prof. Dr. Márcio Buson pela atenção, disponibilidade e ensinamentos transmitidos, assim como colocação do LABCON//UnB à disposição para a realização do trabalho.

Ao LEM/UnB pela disponibilidade de equipamentos e instalações para realização dos ensaios. Aos técnicos Washington e Patrícia pelo auxílio na parte experimental.

À ABCP, pelo auxílio prestado. Ao laboratório do SENAI por realizar ensaios para desenvolvimento da pesquisa. À empresa produtora do bloco de concreto, sem a qual não seria possível a realização deste trabalho.

Aos amigos Tiago Oliveira e Matheus Leoni pelo carinho, auxílio e amizade. A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram no desenvolvimento deste trabalho.

Ao PECC/UnB pela oportunidade de realizar o mestrado. Ao Ricardo, secretário do programa de pós-graduação, por sua disposição e auxílio.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

Obrigada a todos que acreditaram em mim e me ajudaram na realização desta conquista.

RESUMO

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE CELULOSE (PAPEL KRAFT) NAS CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAL.

Autora: Lilian de Sousa Alves

Orientador: Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira

Coorientadora: Valdirene Maria Silva Capuzzo

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, Março de 2016

A construção civil é considerada uma das grandes geradoras de impactos ambientais, tanto pelo alto consumo de recursos naturais como pela geração de resíduos, os quais são lançados no meio ambiente de forma inadequada e muitas vezes estes possuem alto potencial de reciclagem, podendo assim retornar para o ciclo. Neste contexto estão inseridas as embalagens de cimento, considerando que no ano de 2013 um percentual de 66% desse cimento foi despachado na forma ensacada, contribuindo assim para o grande volume de embalagens geradas. Desta forma, o presente trabalho consiste em verificar a viabilidade da produção de blocos de concreto sem função estrutural (vedação) com adição de fibra, proveniente de papel kraft utilizado como embalagem de cimento, visando dar uma destinação ambientalmente adequada para esse resíduo. Para a elaboração do trabalho, realiza-se um processo simples de reciclagem das embalagens de cimento para obtenção de fibras de papel kraft, as quais são empregadas em blocos de concreto sem função estrutural em dois teores de adição em relação a massa de material seco, e em dois traços diferentes (Traço 1 e Traço 2). Portanto, avalia-se a influência da adição de fibras kraft nas propriedades físico-mecânicas dos blocos de concreto, através de um estudo comparativo do desempenho dos blocos com e sem adição de fibras. A partir dos resultados obtidos, tem-se que a adição de fibras nos blocos não interfere nas suas dimensões e para a absorção de água a fibra exerce influência, aumentando a absorção de água do bloco. Para o ensaio de resistência à compressão o incremento de fibra gera uma redução dessa propriedade. No ensaio de difração de raios X e para a avaliação quanto anomalias nos blocos notou-se que a fibra está acentuando alguns fenômenos. Desta forma, destaca-se que o Traço 2 com teor de adição de fibra kraft de 0,5% se mostrou mais adequado para a produção de blocos de concreto. Esse resultado é satisfatório, pois está sendo tratado um resíduo e aproveitando-o dentro de um ciclo de produção de blocos de concreto, o qual atende ao exigido por norma.

Palavras chave: Resíduos sólidos; Papel kraft; Reciclagem; Bloco de concreto.

ABSTRACT

INFLUENCE OF PULP FIBER (KRAFT PAPER) ADDITION IN NON-STRUCTURAL CONCRETE BLOCKS CHARACTERISTICS.

Author: Lilian de Sousa Alves

Advisor: Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira

Supervisor: Valdirene Maria Silva Capuzzo

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, March de 2016

The construction is part of the group of the most important activities for economic and social development of the country. However, it is also responsible for great environmental impacts, caused by the high natural resources consumption and the waste generation, which are released into the environment inappropriately. Often this waste have a high potential for recycling and can thus return to the production chain. The Cement package is included in this process, whereas in 2013 a percentage of 66% of the cement was dispatched in bagged form, thus contributing to the large volume of generated packs, which are discarded incorrectly. Thus, this research aims to verify the technical feasibility of the production of concrete blocks without structural function (sealing) added with fiber from paper kraft previously used in cement package, providing a proper disposal for this waste. First, a simple recycling process of cement packages is carried out to obtain kraft paper fibers, which are used in concrete blocks without structural function in two addition rates related to the dry material mass. Second, these rates are evaluated in the production in two different batches (batch 1 and batch 2). Consequently, is evaluated the effect of adding kraft fibers in the physical-mechanical properties of the concrete blocks by comparing it with the performance of blocks with and without addition of fibers. From the results obtained, is notice that the fiber do not interfere in the block dimensions, although it interference in the water absorption, increasing it. For compressive strength test, the fiber increase generates a reduction of this property. In the X-ray diffraction test by assessing anomalies in the blocks, it was noticed that the fiber is accentuating some of them. It is important to highlight that the batch 2 with kraft fiber addition rate of 0.5% was more suitable for the production of concrete blocks. This result is satisfactory, when considering that a treated waste (cement packaging) is being used inside the concrete block production cycle, which meets all the required standards.

Key words: solid waste; Kraft paper; Recycling; Concrete block.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
SUMÁRIO.....	viii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES	xix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVO GERAL	4
1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO	4
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS	6
2.2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC).....	8
2.2.1 Resolução do CONAMA nº 307/2002	11
2.2.2 Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil (RCC).....	14
2.2.3 Gestão integrada dos Resíduos da Construção Civil (RCC)	16
2.3 EMBALAGENS DESACO DE CIMENTO.....	18
2.3.1 Papel kraft.....	23
2.3.2 Obtenção de celulose	25
2.3.3 Fibra natural.....	27
2.3.4 Reciclagem embalagens de cimento.....	29
2.4 BLOCO DE CONCRETO	31
2.4.1 Classificação dos blocos de concreto	34
2.4.2 Produção dos blocos de concreto	37
2.4.3 Requisitos dos blocos	40
2.5 COMPÓSITOS	42

3	PROGRAMA EXPERIMENTAL	46
3.1	ASPECTOS GERAIS	46
3.1.1	Etapas do programa experimental	46
3.2	ETAPA I: MATERIAIS CONSTITUINTES	48
3.2.1	Cimento Portland.....	49
3.2.2	Agregados.....	49
3.2.3	Aditivo.....	50
3.2.4	Água	50
3.3	ETAPA II: FIBRA KRAFT	51
3.3.1	Processo de obtenção da fibra	51
3.3.2	Determinação do teor de fibra para a produção de blocos	61
3.4	ETAPA III: BLOCOS – MOLDAGEM E ENSAIOS.....	63
3.4.1	Proporcionamento dos materiais constituintes:	65
3.4.2	Mistura:.....	66
3.4.3	Moldagem:.....	68
3.4.4	Desforma dos blocos:	68
3.4.5	Acabamento:.....	69
3.4.6	Cura:	70
3.4.7	Ensaio de caracterização dos blocos	71
3.4.8	Análise dimensional	72
3.4.9	Determinação da resistência à compressão	73
3.4.10	Absorção de água.....	76
3.5	ETAPA IV: ENSAIOS ESPECIAIS.....	77
3.5.1	Difração de raios X.....	77
3.5.2	Avaliação da susceptibilidade da superfície dos blocos de concreto ao manchamento	81
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	82

4.1	ETAPA I: MATERIAIS CONSTITUINTES	82
4.1.1	Cimento Portland.....	82
4.1.2	Agregados.....	82
4.2	ETAPA II: FIBRA KRAFT	85
4.2.1	Processo de obtenção da fibra kraft.....	85
4.3	ETAPA III: BLOCOS – MOLDAGEM E ENSAIOS.....	86
4.3.1	Análise dimensional	87
4.3.2	Determinação da resistência à compressão	88
4.3.3	Absorção de água.....	95
4.4	ETAPA IV: ENSAIOS ESPECIAIS.....	100
4.4.1	Difração de Raio X.....	100
4.4.2	Avaliação da susceptibilidade da superfície dos blocos de concreto ao manchamento	102
5	CONCLUSÃO	104
5.1	organização das conclusões	104
5.1.1	MATERIAIS CONSTITUINTES E COMPOSIÇÃO DOS BLOCOS.....	104
5.1.2	FIBRA KRAFT – PROCESSO DE OBTENÇÃO (“RECICLAGEM”)...	104
5.1.3	BLOCOS – MOLDAGEM.....	105
5.1.4	BLOCOS – ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS	105
5.1.5	BLOCOS – ENSAIO PARA VERIFICAÇÃO DE ANOMALIAS.....	105
5.1.6	BLOCOS – ENSAIO DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	106
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	106
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
	ANEXO A – MASSA UNITÁRIA.....	120
	ANEXO B – MASSA ESPECÍFICA.....	121
	ANEXO C –COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	122
	ANEXO D – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	126

ANEXO E – ANÁLISE DIMENSIONAL	128
--	------------

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração blocos (Adaptado de: ABNT NBR 6136:2014).	34
Tabela 2.2 - Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos de concreto (Adaptado de: ABNT NBR 6136:2014).	35
Tabela 2.3 - Dimensões nominais dos blocos de concreto (Adaptado de: ABNT NBR 6136:2014).	36
Tabela 2.4 - Tamanho da amostra (Adaptado de: ABNT NBR 6136:2014).	41
Tabela 2.5 - Avaliação da conformidade dos blocos em aceitação ou rejeição (Adaptado de: ABNT NBR 6136:2014).	42
Tabela 3.1 - Ensaios de caracterização realizados para os materiais constituintes, com as suas respectivas normas.	48
Tabela 4.1 - Resultados obtidos no ensaio de caracterização de resistência à compressão do cimento CP V - ARI RS, realizado no Laboratório de Materiais (LEM/UnB) e valores normativos exigidos.	82
Tabela 4.2 - Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados miúdo e graúdo e as suas respectivas normas.	83
Tabela 4.3 - Resultados dos ensaios de análise dimensional realizado no laboratório do LEM/UnB para os dois traços e teores utilizados.	88
Tabela 4.4 - Média dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão separados por laboratório de ensaio, traço e teor de adição.	89
Tabela 4.5 - Resultados da avaliação da absorção de água, para os dois traços e teores estudados.	96
Tabela 4.6 - Produto identificados no difratograma e suas respectivas nomenclaturas. ...	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Origem dos RCC, dividido em percentuais entre: reformas; construção de residências novas; e construção de prédios novos (Adaptado de Lima e Lima [s. d.]).....	10
Figura 2.2 - Resíduos da construção civil contendo ferramentas, embalagens e materiais contaminados, pertencentes aos resíduos classe D, segundo classificação do CONAMA nº 307/2002 (VENTURINI, 2011).....	13
Figura 2.3 - Gráficos comparativos, entre a prática atual e a tendência mundial, apresentando a mudança de paradigma da gestão de resíduos sólidos (CHRISTOFIDIS, 2013)	15
Figura 2.4 - Dados do relatório anual do SNIC, referente aos anos de 2010 a 2013 para o cimento despachado na forma ensacada (SNIC).	20
Figura 2.5 - Classificação das fibras (PICANÇO, 2005).	28
Figura 2.6 - Aspecto macroscópico da polpa de celulose obtida após procedimento de reciclagem das embalagens de cimento (do autor).....	29
Figura 2.7 - Modelo de baixo custo de centrífuga utilizada para retirada do excesso de água da polpa de celulose, após o processo de reciclagem (BUSON, 2009).....	30
Figura 2.8 - Centrífuga manual utilizada em processos de obtenção do mel (AGRONOMEL, 2015).....	31
Figura 2.9 - Modelo de bloco vazado de concreto simples para alvenaria de vedação (ABNT NBR 6136:2014).	33
Figura 2.10 - Blocos de concreto tipo canaleta utilizados para racionalizar a execução de vergas, contravergas e cintas (ABNT NBR 6136:2014).	37
Figura 2.11- Bloco compensador utilizado para ajuste de modulação (ABNT NBR 6136:2014).....	37
Figura 2.12 - Sequência básica de funcionamento de uma vibroprensa automática (SOUSA, 2001).....	40
Figura 3.1 - Fluxograma das etapas do programa experimental.	47
Figura 3.2 - Agregados utilizados para o desenvolvimento do trabalho: Areia rosa (a); Areia mix (b); Pó de brita (c) e Pedrisco (d).	49
Figura 3.3 - Dados referentes a qualidade da água distribuída, informados pela CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal.	51
Figura 3.4 - Fluxograma das etapas do processo de reciclagem das embalagens de cimento Portland.....	51

Figura 3.5- Armazenamento dos sacos de papel kraft utilizados como embalagens após sua utilização no canteiro de obra uma empresa em Brasília-DF.....	52
Figura 3.6 - Resíduo sólido de cimento hidratado encontrado nas embalagens, durante o processo de reciclagem dos sacos.....	53
Figura 3.7 - Abertura das embalagens de cimento Portland (a). Processo de limpeza para posterior armazenamento (b).....	53
Figura 3.8 - Embalagens armazenadas em ambiente protegido, LEM/UnB.	54
Figura 3.9 - Água proveniente da reciclagem das embalagens (a); Limpeza das embalagens (b).....	54
Figura 3.10 - Embalagens de papel kraft fragmentadas em pedaços menores para evitar que enrosquem no misturador durante o processo de obtenção da polpa de celulose.....	55
Figura 3.11 - Tonel com aproximadamente 30 litros de água para receber o papel kraft e realizar a dispersão das fibras (a); Mistura da água com o papel kraft, através do agitador mecânico para obtenção da polpa de celulose (b).	55
Figura 3.12 - Misturador utilizado para a dispersão das fibras do papel kraft (a); Detalhe do processo de mistura do papel kraft com a água para a dispersão das fibras (b).	56
Figura 3.13 - Imersão dos sacos de cimento no tonel com água (a); Processo de agitação desses sacos para dispersão das fibras (b); Obtenção da polpa de celulose (c); Detalhe da polpa de celulose obtida após o processo de reciclagem das embalagens (d).....	57
Figura 3.14 - Retirada do excesso de água da polpa de celulose com o auxílio de uma peneira (a); Colocação da polpa em um tecido ou bobina geotêxtil (b); Torção da polpa para retirada do excesso de água (c); Polpa de celulose após retirado o excesso de água (d).....	58
Figura 3.15 - Fibras aglomeradas após o processo de retirada do excesso de água.	59
Figura 3.16 - Triturador de folhas utilizado em serviços de jardinagem (a); Triturador sendo utilizado para dispersar as fibras de papel kraft (b).....	59
Figura 3.17 - Fibras dispersas após passarem pelo triturador.	60
Figura 3.18 - Fibras dispersas espalhadas em uma lona para a secagem, com auxílio de ventilador, para posterior armazenagem.....	60
Figura 3.19 - Aspecto macroscópico da fibra seca utilizada na produção dos blocos de concreto sem função estrutural.	61
Figura 3.20 - Corpos de prova compactados com auxílio de mesa vibratória (a). Corpos de prova compactados com soquete utilizado para compactar solos (b).....	62
Figura 3.21 - Concreto produzido por Santana (2015) no LEM/UnB com teor de adição de fibras 4%, onde nota-se uma mistura homogênea e sem a formação de grumos.	63

Figura 3.22 - Vibroprensa utilizada na moldagem dos blocos de concreto.....	64
Figura 3.23 - Traços e teores de fibra utilizados na produção dos blocos de concreto.	64
Figura 3.24 - Fluxograma das etapas da produção dos blocos de concreto.....	65
Figura 3.25 - Silos graneleiros utilizados para efetuar a dosagem dos materiais constituintes do traço.	66
Figura 3.26 - Esteira para transporte dos materiais componentes sólidos ligando a saída localizada na parte inferior dos silos graneleiro até uma segunda esteira, que leva os materiais para descarga na cuba do misturador (a); Misturador orbital durante o processo de homogeneização dos materiais (b).	66
Figura 3.27 - Traço 1 com adição de 1% de fibra onde nota-se uma mistura homogênea e sem a formação de grumos.	67
Figura 3.28 - Adição das fibras kraft durante o processo de mistura do traço para a confecção dos blocos (a); Liberação da água na mistura (b).	67
Figura 3.29 - Esteira de transporte do concreto até a vibroprensa (a); Vibroprensa utilizada, onde pode-se ver o extrator e o molde vibratório utilizados para a produção dos blocos de concreto (b).....	68
Figura 3.30 - Molde e extratores posicionados para produção dos blocos (a); Ascensão do molde e extrator imóvel, para desforma dos blocos (b).	69
Figura 3.31 - Imagem onde pode ser visto o fim do processo de desforma dos blocos de concreto para dar início a um novo ciclo de produção.	69
Figura 3.32 - Processo de acabamento final dos blocos com uso de rolo para retirada do excesso de material e regularização da sua superfície superior.....	70
Figura 3.33 - Paletização dos blocos recém-fabricados (a); Processo de cura dos blocos em câmara úmida (b).	70
Figura 3.34 - Estocagem dos blocos de concreto protegidos com plástico.	71
Figura 3.35 - Continuação do processo de cura dos blocos empregados na pesquisa em câmara úmida no LEM/UnB.	71
Figura 3.36 - Realização do ensaio de análise dimensional dos blocos de concreto com auxílio da trena metálica (a) e do paquímetro (b).....	72
Figura 3.37 - Paquímetro e trena utilizados no ensaio de análise dimensional, para aferição das dimensões reais do bloco.....	73
Figura 3.38 - Prensa da marca DENISON do Laboratório de Ensaio de Materiais LEM/UnB, utilizada para o ensaio de resistência à compressão dos blocos de concreto.	74

Figura 3.39 - Prensa da marca EMIC utilizada pelo laboratório do SENAI para a realização do ensaio de resistência à compressão dos blocos de concreto.	74
Figura 3.40 - Blocos utilizados no ensaio para determinação da resistência à compressão, com as faces regularizadas com pasta de cimento Portland.	75
Figura 3.41 - Bloco posicionado na prensa para o ensaio de resistência à compressão.	75
Figura 3.42 - Identificação dos blocos (a). Blocos colocados na estufa para o processo de secagem (b). Pesagem do bloco (c).	76
Figura 3.43 - Blocos expostos em uma bancada para o processo de resfriamento ao ar livre após serem retirados da estufa (a); Imersão dos blocos em água para a etapa de saturação (b); Secagem com pano úmido para a condição de saturado com a superfície seca (c).	77
Figura 3.44 - Etapa de mistura da pasta de cimento Portland com adição de fibras kraft através do uso de uma argamassadeira planetária, para preparo da amostra para o ensaio de difração de raios X.	78
Figura 3.45 - Pasta de cimento colocada em moldes metálicos cilíndricos (a). Superfície superior dos cilindros protegidos com uma placa de vidro para auxiliar na redução da perda de água da pasta de cimento para o meio ambiente do laboratório (b).	79
Figura 3.46 - Fragmentação dos corpos de prova cilíndricos para preparação das amostras da pasta sem (a) e com adição de fibras kraft (b) para o ensaio de difração de raios X.	79
Figura 3.47 - Amostra sendo preparada no almofariz durante o processo obtenção do pó para o ensaio de difração de raios X da pasta de cimento sem adição de fibra.	80
Figura 3.48 - Lâmina com a amostra para o ensaio de difração de raios X. Lâmina 1 referente a amostra sem adição de fibra e lâmina 2 com a adição de fibra.	80
Figura 3.49 - Blocos acondicionados em recipiente com água, com 2/3 de sua altura imerso em água.	81
Figura 4.1 - Curva granulométrica dos agregados miúdos.	84
Figura 4.2 - Curva granulométrica do agregado graúdo.	84
Figura 4.3 - Espuma advinda do processo de imersão dos sacos de cimento em água e agitação para dispersão das fibras de papel kraft.	86
Figura 4.4 – Representação de quantos blocos podem ser produzidos com uma ou duas embalagens de cimento para os teores de adição de fibra adotados na pesquisa.	87
Figura 4.5 - Dados referentes ao ensaio de resistência à compressão do Traço 1, realizado pelo SENAI e o LEM para a idade de 28 dias para os blocos de referência e 1,0% de adição de fibra kraft, de acordo com a ABNT NBR 6136:2014.	90

Figura 4.6 - Resultados de resistência à compressão referente ao Traço 1, para os blocos de referência e com teores de adição de fibra kraft de 0,5% e 1,0% nas idades de 14 e 28 dias, de acordo com a ABNT NBR 6136:2014.....	91
Figura 4.7 - Resultados de resistência à compressão referentes aos blocos moldados com o Traço 2 no teor de 0,5% de adição e sem fibra, para as idades de 14 e 28 dias, tendo como limite inferior ao valor mínimo de 3,0 MPa de acordo com a ABNT NBR 6136:2014.	92
Figura 4.8 - Comparativo do Traço 1 e do Traço 2, na idade de 28 dias para os blocos de referência e os blocos com 0,5% de adição de fibra kraft, tendo como limite inferior o valor mínimo de 3,0 MPa conforme descrito na ABNT NBR 6136:2014.	93
Figura 4.9 - Série com a média dos resultados obtidos no ensaio para obtenção da resistência à compressão realizados nos blocos de concreto produzidos pela Empresa “A”, durante a avaliação da certificação, selo de qualidade da ABCP.....	94
Figura 4.10 - Série com a média dos resultados obtidos no ensaio para obtenção da resistência à compressão realizados nos blocos de concreto produzidos pela Empresa “B”, durante a avaliação da certificação, selo de qualidade da ABCP.....	94
Figura 4.11 - Série com a média dos resultados obtidos no ensaio para obtenção da resistência à compressão realizados nos blocos de concreto produzidos pela Empresa “C”, durante a avaliação da certificação, selo de qualidade da ABCP.....	95
Figura 4.12 - Comparativo com os valores médios dos resultados obtidos no ensaio para determinação da absorção de água para os blocos do Traço 1 nos teores de 1,0% e 0,5% de adição de fibra kraft e para os blocos de referência, tendo como limite superior o valor médio $\leq 10,0\%$, conforme prescrito na ABNT NBR 6136:2014.	97
Figura 4.13 - Comparativo com os valores médios dos resultados obtidos no ensaio realizado LEM/UnB para determinação da absorção de água para os blocos do Traço 2 no teor de 0,5% de adição de fibra e para os blocos de referência, tendo como limite superior o valor médio $\leq 10,0\%$, conforme prescrito na ABNT NBR 6136:2014.	98
Figura 4.14 - Resultados de absorção de água para obtenção do selo de qualidade da ABCP: Empresa A.	99
Figura 4.15 - Resultados de absorção de água para obtenção do selo de qualidade da ABCP: Empresa B.	99
Figura 4.16 - Resultados de absorção de água para obtenção do selo de qualidade da ABCP: Empresa C.	100
Figura 4.17 - Difratograma aos 21 dias para a amostra de referência.	101
Figura 4.18 - Difratograma aos 21 dias para a amostra com adição de fibra.	101

Figura 4.19 - Imagens das superfícies dos blocos de concreto sem adição de fibra (a), com adição de 1,0% de fibras kraft(b) e com adição de 0,5% de fibras kraft(c), onde podem ser observadas a presença de manchas esbranquiçadas (eflorescência)..... 102

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

a	Absorção total
a/c	Água/Cimento
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMN	Associação Mercosul de Normalização
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
cm	Centímetros
CO	Centro Oeste
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP V – ARI RS	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial Resistente à Sulfatos
DF	Distrito Federal
DRX	Difração de Raio X
e_{eq}	Espessura equivalente mínima
e_{ti}	Espessuras das paredes transversais
fbk	Resistência característica à compressão axial
g	Gramas
°C	Graus Celsius
HP	Horse Power
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
Kg	Quilograma
l_{real}	Comprimento real
LABCON	Laboratório de Construção
M_1	Massa do corpo de prova seco em estufa
M_2	Massa do corpo de prova saturado
LEM	Laboratório de Ensaio de Materiais
m	Metro
m ²	Metros quadrados
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul

PECC	Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCC	Resíduo da Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
Tf	Tonelada Força
UnB	Universidade de Brasília

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentada a introdução sobre o tema abordado neste trabalho, a justificativa e os objetivos da pesquisa.

Um dos grandes desafios a ser enfrentado de forma enfática pela humanidade é a necessidade de reduzir o volume excessivo e dar destinação adequada aos resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo parte integrante deste os resíduos de construção e demolição (RCD). Deve-se ressaltar que atualmente os resíduos sólidos produzidos têm se tornado um grave problema urbano com um gerenciamento oneroso e complexo, considerando-se o seu volume e massa acumulados.

Nos últimos anos, a construção civil brasileira vem aumentando sua participação na economia nacional. Cerca de 15% do PIB brasileiro é do setor da construção civil, o que o torna um dos mais importantes ramos de produção do país. Nas últimas décadas, os resíduos de construção e demolição vêm recebendo atenção crescente por parte de construtores e pesquisadores em todo o mundo (YUAN et al., 2012). Isto se deve ao fato da construção civil ser uma grande geradora de resíduos, se tornando assim um dos principais agentes de poluição ambiental.

Dentre os mais sérios problemas da atualidade enfrentados pela gestão ambiental, pode-se destacar o impacto do ambiente construído provocado pela geração de resíduos sólidos da indústria da construção civil e posterior descarte irregular na natureza.

O gerenciamento dos resíduos da construção civil tem por intuito assegurar a correta gestão dos resíduos durante as atividades cotidianas de execução das obras e dos serviços de engenharia. Desta forma, este fundamenta-se essencialmente nas estratégias de não geração, minimização, reutilização, reciclagem e descarte adequado dos resíduos, primando pelas estratégias de redução da geração de resíduos na fonte (NAGALLI, 2014).

Perante os materiais de construção que são descartados diariamente, pode-se destacar as embalagens de papel kraft utilizadas para embalar cimento. Após a utilização dessas embalagens nas obras, estas são na sua maioria descartadas de maneira inadequada, gerando

assim uma grande quantidade desse resíduo. As embalagens possuem potencial para serem reaproveitadas ou recicladas (BUSON, 2009).

Os sacos de cimento consistem em um resíduo sólido da construção civil, o qual possui uma baixa taxa de recuperação, devido ao produto ensacado, tais como cimento, cal e argamassa. Tendo em vista que essa embalagem está em contato com o cimento, exigem-se procedimentos e cuidados adicionais ao processo de reciclagem desse material.

As especificações técnicas de produção das embalagens exigem uma celulose sulfato de fibra longa e de alta resistência, que é geralmente empregada pura (provenientes de celulose de madeira ou de celulose de bambu) e garante à sua fibra excelentes propriedades físicas e mecânicas (BUSON, 2009).

Neste cenário, a pesquisa tem como intuito estudar um processo para destinação adequada do resíduo em questão (saco de cimento), possibilitando a redução dos custos, os transtornos e os impactos ambientais gerados. Desta forma as embalagens passarão por um processo de reciclagem, transformando em fibras de celulose para o seu posterior emprego como reforço em blocos de concreto sem função estrutural. Com o intuito de avaliar os blocos, serão realizados ensaios de suas propriedades físicas e mecânicas. Ressalta-se que o desenvolvimento desta pesquisa está associado à avaliação dos teores de fibras dispersas de papel Kraft, para o seu emprego como adição para a produção de blocos de concreto sem função estrutural. Avaliando assim a viabilidade técnica do uso da fibra e o seu emprego no processo produtivo.

O presente trabalho se insere na linha de pesquisa do PECC de Sistemas Construtivos e Desempenho de Materiais/Componentes (Construção Civil).

1.1 JUSTIFICATIVA

As fibras naturais, usadas como reforço de matrizes frágeis à base de materiais cimentícios, têm despertado grande interesse nos países em desenvolvimento, devido ao seu baixo custo, disponibilidade e também no que se refere às questões ambientais.

As embalagens de papel kraft utilizadas para ensacar o cimento fazem parte dos resíduos da construção civil, e contribuem para os impactos ambientais. Coloca-se que essas embalagens geram um grande volume diário de resíduos. De acordo com relatório do SNIC (2013), 66% do cimento foi despachado na forma ensacada, gerando assim uma grande quantidade de resíduos, sendo a maioria desses descartados de maneira inadequada contribuindo de forma negativa para os impactos.

Diante desse cenário, o trabalho desenvolvido por Buson (2009), o qual desenvolve uma metodologia de “reciclagem” das embalagens de cimento para utilização de suas fibras dispersas de papel kraft para confecção de blocos de solo cimento, que podem ser utilizados principalmente para a construção de interesse social, motiva o desenvolvimento de um estudo para avaliar a adição de fibras de papel kraft em blocos de concreto sem função estrutural.

Este trabalho tem como justificativa a procura de uma destinação adequada/nobre para as embalagens de cimento, uma vez que estas podem ser reaproveitadas, através do emprego de suas fibras como adição aos blocos de concreto sem função estrutural.

Esta pesquisa conta com o apoio da Regional Centro-Oeste da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP-CO), que disponibilizou dados referentes as empresas produtoras de blocos de concreto do Distrito Federal, as quais possuem o selo de qualidade da ABCP, viabilizando-se a produção dos blocos com a adição da fibra para esta pesquisa, nos quais posteriormente foram avaliadas as propriedades físico-mecânicas.

Escolheu-se o bloco de concreto visando a possibilidade de emprego das fibras oriundas do papel utilizado como embalagem de cimento em material que tivesse sua produção em escala industrial. Ressalta-se que a alvenaria de vedação produzida com blocos de concreto consiste em um sistema construtivo que promove a racionalização da construção, podendo oferecer qualidade, economia e rapidez, além de uma possível redução do custo final da edificação, através da técnica de coordenação modular. Desta forma, esse sistema se mostra como potencialmente viável para o emprego nos blocos de concreto com reforço de fibras dispersas de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento, uma vez que pode trazer vantagens como destinação ambientalmente adequada e em escala, para esse resíduo.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho consiste em verificar a viabilidade da produção de blocos de concreto sem função estrutural (vedação) com adição de fibra, proveniente de papel kraft utilizado como embalagem de cimento, visando dar uma destinação ambientalmente adequada para esse resíduo.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Obtenção em laboratório das fibras de papel kraft oriunda das embalagens de cimento coletadas em obra;
- Verificar na fábrica a viabilidade técnica da produção de blocos de concreto sem função estrutural com adição de fibras provenientes do papel kraft;
- Avaliar por meio de um comparativo entre os blocos sem função estrutural, com e sem fibras, a influência da adição da fibra proveniente de papel kraft nas propriedades físico-mecânicas, através de ensaios para determinação da resistência à compressão, absorção de água e análise dimensional;
- Examinar a possibilidade de ocorrência de anomalias causadas ou potencializadas pela adição de fibras provenientes do papel kraft, através de imersão em água dos blocos de concreto; e
- Averiguar a interferência da fibra proveniente de papel kraft na matriz cimentícia, utilizada na produção de blocos de concreto, com o auxílio de ensaios qualitativos (difração de raios X).

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se organizado em cinco capítulos. Neste Primeiro Capítulo tem-se a introdução da dissertação, onde são apresentadas as considerações iniciais sobre o tema abordado, a justificativa e importância do tema, assim como os objetivos da pesquisa.

O Segundo Capítulo apresenta uma revisão da literatura com relação a aspectos e considerações sobre os resíduos da construção civil, das embalagens de cimento, dos blocos de concreto e por fim, a abordagem sobre materiais compósitos.

No Terceiro Capítulo, descreve-se a metodologia utilizada no programa experimental para verificação da viabilidade técnica da produção de blocos de concreto sem função estrutural, com e sem a adição de fibras, assim como os ensaios realizados.

No Quarto Capítulo são apresentados os resultados e discussão dos resultados obtidos durante as avaliações realizadas para a determinação da resistência à compressão, da absorção de água, análise dimensional e para a verificação do surgimento de manchas na superfície dos blocos produzidos para essa pesquisa.

No Capítulo Cinco são apresentadas as principais conclusões obtidas nesse estudo e as sugestões para pesquisas futuras. Encerra-se a parte escrita deste trabalho com a apresentação dos anexos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo apresenta-se uma breve revisão teórica, constante de conceitos, classificações, propriedades e normas relacionadas aos resíduos sólidos da construção civil, em específico as embalagens de cimento, cal e argamassa e critérios normativos de avaliação dos blocos de concreto sem função estrutural (vedação).

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

Em alguns trabalhos e artigos técnicos, pode-se encontrar os termos lixo e resíduos para uma mesma designação. Embora os dois tenham significados distintos, costumam aparecer como sinônimos. Esse erro costuma ocorrer pelo fato de todo resíduo poder ser classificado como lixo, mas, nem todo lixo pode ser classificado como resíduo (ROCHA, 2006). Lixo seria, então, o subproduto das atividades humanas, podendo este ser denominado de rejeito. O substantivo resíduo, tão logo fez parte do linguajar técnico, foi seguido do adjetivo sólido, a fim de diferenciar os resíduos sólidos tanto dos restos líquidos lançados com esgotos sanitários como das emissões gasosas das chaminés (MARQUES, 2005).

As atividades humanas de modo geral, geram diversos materiais, os quais são constantemente descartados como resíduos, interferindo assim, nas condições do meio ambiente. Com esse ponto de vista, nota-se que com a evolução de uma sociedade mais tecnológica, associada a uma forte industrialização, trouxe consigo a produção em massa, consumida por uma população em constante crescimento e com um poder aquisitivo cada vez maior. Seguindo esta lógica, grandes volumes de resíduos sólidos das mais diversas naturezas são gerados diariamente, principalmente nos arredores de grandes cidades (BELTRÃO, 2014).

De acordo com Rocha (1992), resíduo sólido pode ser definido como um material descartado com conteúdo líquido insuficiente para livremente exercer influência nos estados sólidos ou semissólidos, resultantes de atividades da comunidade, sejam eles de ordem doméstica, hospitalar, comercial, de serviços de varrição e industrial.

Segundo Lima (2001), os resíduos sólidos são materiais heterogêneos (inertes, minerais e orgânicos) resultantes das atividades humanas e da natureza, os quais podem ser

parcialmente reutilizados, gerando, entre outros aspectos, proteção à saúde pública e economia de recursos naturais.

A geração de resíduos está relacionada com aspectos culturais, sociais e econômicos do país, assim como os níveis e hábitos de consumo da população. Em relação à economia, os países industrializados são os maiores produtores de resíduos. Segundo McBean (1995) projetou que os Estados Unidos gerariam 190 milhões de toneladas no ano de 2000, enquanto que o Brasil, de acordo com as informações da pesquisa da ABRELPE e IBGE, gerou cerca de 63 milhões no de ano de 2012. Entretanto, é interessante ressaltar que os países mais desenvolvidos reciclam mais e desperdiçam menos.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define resíduos sólidos pela ABNT NBR 10004:2004 como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Essa mesma Norma classifica os resíduos sólidos quanto a sua periculosidade, sendo a Classe I considerada perigosa e as classes II A e II B como não perigosos.

- Classe I: São aqueles que apresentam risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; e/ou risco ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada. Possuem uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
- Classe II A (Não inertes): Podem ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, porém não se enquadram como resíduo Classe I ou II B.
- Classe II B (Inertes): Quaisquer resíduos que, submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de

seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

É importante colocar que os resíduos da construção civil, objeto deste trabalho, se enquadram na Classe II B de resíduos não perigosos e inertes. Como exemplo destes materiais, podem-se citar rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente.

Embora classificado como inerte, essa característica pesa pouco no contexto dos demais danos ambientais, em razão da enorme quantidade de entulho ou rejeito, cuja destinação demanda novas áreas, cada vez maiores e mais distantes, com custos operacionais efetivamente mais elevados (MARQUES, 2005).

Como destinação final os resíduos sólidos têm, para a maioria dos casos, os lixões, aterros sanitários ou, muitas vezes, são abandonados em terrenos baldios, acostamentos e faixas de servidão de estradas, vias públicas, e até em calhas. De maneira geral, os resíduos sólidos têm provocado prejuízos à saúde pública, estética, ocupação de espaço, econômicos (em decorrência dos altos custos operacionais de recolhimento e processamento), degradação de recursos naturais e desequilíbrio ecológico, seja por gerar material em quantidades maiores que aquelas que o ecossistema consegue biodegradar, seja por produzir material não-biodegradável ou de degradação extensa no tempo (MARQUES, 2005).

Os resíduos estão presentes no dia a dia, os quais são considerados, de forma equivocada, como consequências normais do desenvolvimento da sociedade humana. O gerenciamento inadequado dos resíduos pode resultar em riscos indesejáveis à comunidade, podendo gerar problema de saúde pública e fator de degradação ambiental, além, dos aspectos sociais, estéticos e econômicos.

2.2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

A resolução do CONAMA nº 307/2002 define:

Resíduos da construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da

escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Os resíduos da construção civil consistem em qualquer resíduo procedente de atividades de construção (novas construções, reformas, demolições) que envolvam atividades de obras de arte e limpeza de terrenos com presença de solos ou vegetação é classificado como Resíduo da Construção Civil (RCC). É composto por diversos materiais como plásticos, isolantes, papel, materiais betuminosos, madeiras, metais, concretos, argamassas, blocos, tijolos, telhas, solos, e gesso, dentre outros (ANGULO, 2005).

Quando se trata da construção civil, é inevitável abordar a importância que a área possui no país, pois consiste em um dos setores da economia que mais impactam no desenvolvimento social e econômico. Porém, este destaque não engloba apenas pontos favoráveis, pois ao mesmo tempo em que se encontra como um dos setores que mais geram riqueza e postos de trabalho no Brasil, a construção civil é também uma das principais geradoras de resíduos.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, o setor da construção civil tem papel fundamental para a realização dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável. Este aponta a indústria da construção como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais. Além dos impactos relacionados ao consumo de matéria e energia, há aqueles associados à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção. Tais aspectos ambientais, somados à qualidade de vida que o ambiente construído proporciona, sintetizam as relações entre construção e meio ambiente.

De acordo com a pesquisa realizada em 2005 pelo Ministério das Cidades em parceria com o Ministério do Meio Ambiente, o volume de RCC gerado anualmente pode representar de 50 a 70% da massa de resíduos sólidos urbanos. Nesse contexto, Rocha (2006) afirma que a quantidade diária de entulho da construção civil gerada em todo o Distrito Federal é da ordem de 5.500 toneladas, sendo cerca de 85% deste total passível de reutilização ou mesmo reciclagem. Dessa forma, estima-se que no Distrito Federal a quantidade mensal de resíduos

sólidos no setor da construção civil é de 150.000 toneladas/mês, e para os resíduos domiciliares, perfaz um total estimado de 210.000 toneladas/mês.

Na Figura 2.1 apresenta-se um gráfico que ilustra a origem dos RCC (adaptado de Lima e Lima [s.d.]).

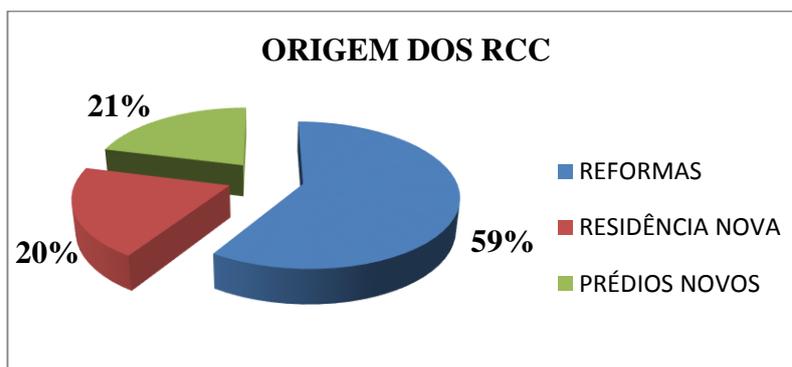


Figura 2.1 - Origem dos RCC, dividido em percentuais entre: reformas; construção de residências novas; e construção de prédios novos (Adaptado de Lima e Lima [s. d.]).

Observa-se na Figura 2.1 que o maior gerador de resíduo da construção civil, com aproximadamente 60%, são as reformas. Segundo Levy (1997), com relação aos resíduos gerados em construções novas, destacam-se os provenientes dos materiais cerâmicos (blocos de alvenaria, tijolos, azulejos), madeira, gesso, aço, concreto e argamassas. Os resíduos de construção e demolição (RCD) de construções novas e reformas podem surgir em quatro fases distintas da execução da obra, as quais diferem em tempo de realização e em quantidades produzidas. São elas: concretagens, alvenarias, revestimentos e acabamentos.

Os Resíduos da Construção Civil devem ter um gerenciamento adequado para evitar que sejam abandonados e se acumulem em margens de rios, terrenos baldios ou outros locais inapropriados. Normalmente esses resíduos representam um grave problema em muitas cidades brasileiras. De forma geral, os Resíduos da Construção Civil são vistos como resíduos de baixa periculosidade, sendo o impacto causado pelo grande volume gerado. Contudo, nesses resíduos também há presença de material orgânico, produtos químicos, tóxicos e de embalagens diversas que podem acumular água e favorecer a proliferação de insetos e de outros vetores de doenças (PNRS, 2012).

John e Agopyan (2000) afirmaram que os RCC são compostos por uma variedade de produtos, classificados como: solos e materiais de origem mineral como: rochas naturais, concreto, argamassa a base de cimento e cal, resíduo de cerâmica vermelha, cimento amianto, gesso em placa, vidro; materiais metálicos como: aço para concreto armado, latão, chapas de aço galvanizado. Por fim, os materiais orgânicos como: madeira natural ou industrializada, plásticos diversos, materiais betuminosos, tintas e adesivos, papel de embalagem; restos de vegetais e outros produtos de limpeza de terrenos.

2.2.1 Resolução do CONAMA nº 307/2002

A Resolução do CONAMA nº 307, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil e disciplina ações necessárias à minimização dos impactos ambientais. Esta resolução estabelece aos geradores que tenham como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente a redução, reutilização, reciclagem e a destinação final.

Os resíduos são denominados como, o conjunto de fragmentos resultante do desperdício de materiais na construção, reformas e demolição de estruturas de edificações, como prédios, pontes e casas.

Os resíduos gerados nas atividades de construção são responsáveis por grande parte do total de lixo produzido nas grandes cidades, os quais precisam ser tratados corretamente (VENTURINI, 2011). Sendo assim a Resolução do CONAMA nº 307/2002 classifica os resíduos de construção civil, com o intuito de facilitar a quantificação e identificação dos mesmos, de forma a facilitar o planejamento qualitativo e quantitativo da redução, reutilização, reciclagem e destinação adequada dos mesmos.

A resolução do CONAMA nº 307/2002 classifica os resíduos de construção civil da seguinte forma:

- Classe A: São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fio etc.) produzidas nos canteiros de

obras; Quanto a sua destinação, os resíduos Classe A deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros; (nova redação dada pela Resolução 448/2012).

- Classe B: São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso; (redação dada pela Resolução nº 431/2011). Estes deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- Classe C: São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (redação dada pela Resolução nº 431/2011). Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas; e
- Classe D: São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução nº 348/2004). Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas. (Nova redação dada pela Resolução 448/2012).

De acordo com a referida Resolução do CONAMA nº 307/2002, mostrada anteriormente, pode-se destacar que os resíduos de Classe D, englobam os materiais de Classe A, B ou C contaminados, onde temos como exemplo o saco de cimento, o qual seria classificado como classe B, porém por estar em contato com o cimento, este passa a ser da classificação D.

Os resíduos da Classe D (Figura 2.2) são tintas, solventes (e materiais que contenham solventes, como o primer utilizado em impermeabilizações), ferramentas ou materiais das Classes A, B ou C contaminados.



Figura 2.2 - Resíduos da construção civil contendo ferramentas, embalagens e materiais contaminados, pertencentes aos resíduos classe D, segundo classificação do CONAMA nº 307/2002 (VENTURINI, 2011).

A resolução do CONAMA nº 307/2002 surgiu da urgente necessidade de solucionar os problemas decorrentes da grande geração dos resíduos da construção civil e de seus impactos ambientais, sociais e econômicos. Portanto, essa resolução parte de algumas considerações:

- Política urbana de pleno desenvolvimento da função social da cidade e da propriedade urbana, conforme disposto na Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001;
- Necessidade de implementar diretrizes para efetiva redução dos impactos ambientais gerados pelos RCD;
- Disposição de resíduos da construção civil em locais inadequados contribui para a degradação da qualidade ambiental;
- Os resíduos da construção civil representam um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas;
- Geradores de resíduos da construção civil devem ser responsáveis pelos resíduos das atividades de construção, reforma, reparos e demolições de estruturas e estradas, bem como por aqueles resultantes da remoção de vegetação e escavação de solos;
- Viabilidade técnica e econômica de produção e uso de materiais provenientes da reciclagem de resíduos da construção civil; e
- A gestão integrada de resíduos da construção civil deverá proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental.

De acordo com a Resolução do CONAMA nº 307/2002:

Os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

Nesse contexto coloca-se a construção civil como uma grande geradora de resíduos, sendo este volume cada vez maior e mais expressivo. Segundo Beltrão (2014) o Distrito Federal apresenta apenas uma empresa, fornecedora de Areia Bela Vista, especializada, com licença ambiental para reciclagem de resíduos da construção e posterior comercialização, desta forma, algumas medidas como as mostradas anteriormente devem ser tomadas para diminuir este cenário atual.

Independentemente das características e classificações adotadas, é fato que as diversas atividades de uma obra geram os mais variados resíduos, em quantidades e composições diferentes, segundo a etapa ou fase da obra (PINTO, 1999).

2.2.2 Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil (RCC)

O Artigo 2º Inciso V da Resolução do CONAMA nº 307/2002 assim define:

Gerenciamento de resíduos: é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos.

O Artigo 3º Inciso X da Lei Federal 12.305:2010 define:

Gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei.

Para Pinto (1999), a atual forma de gerenciamento dos resíduos sólidos de construção e demolição é um exemplo, consistindo de ações não preventivas, repetitivas e custosas que não surtem resultados adequados, sendo profundamente ineficiente. Desta forma de gestão, pode-se enumerar uma série de consequências danosas, dentre as quais se destacam: acelerado esgotamento das áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos; custos adicionais para os governos; e desperdícios de recursos naturais não renováveis.

Os resíduos da construção civil devem ter gerenciamento adequado para evitar um agravamento dessa problemática somado a outros fatores preocupantes, como por exemplo, a grande parte dos resíduos não recebe destinação correta, e acaba sendo deixado clandestinamente em terrenos baldios, áreas de preservação permanente, vias e logradouros públicos. Neste quadro, a disseminação de uma cultura de tratamento, reciclagem e reutilização no setor se apresenta como uma questão cada vez mais urgente dos nossos tempos, em que a sustentabilidade ambiental deve ser encarada como aliada indispensável do desenvolvimento econômico.

Neste sentido, existe a necessidade de se implementar novos métodos de gerenciar os entulhos da construção civil, conforme Figura 2.3, uma vez que os resíduos da construção civil são um dos grandes causadores de problemas sociais e ambientais nas cidades (BELTRÃO, 2014).

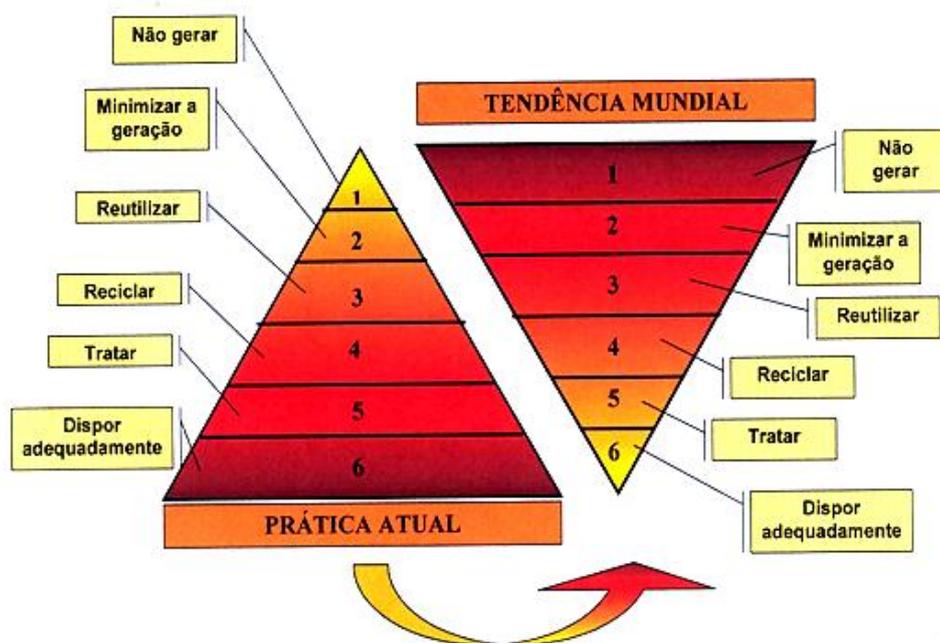


Figura 2.3 - Gráficos comparativos, entre a prática atual e a tendência mundial, apresentando a mudança de paradigma da gestão de resíduos sólidos (CHRISTOFIDIS, 2013)

Nota-se a partir da Figura 2.3 que a tendência mundial para os resíduos sólidos consiste primeiramente na não geração desse resíduo, não sendo possível não gerar então deve-se visar respectivamente a minimização, reutilização, processos de reciclagem, o tratamento e em último caso, e não sendo possível nenhum dos procedimentos descritos anteriormente,

deve-se então destinar de maneira adequada o resíduo gerado. Desta forma tem-se a inversão do cenário atual, demonstrado pela inversão da pirâmide apresentada.

2.2.3 Gestão integrada dos Resíduos da Construção Civil (RCC)

A gestão integrada dos resíduos da construção civil tem como objetivo um ambiente mais sustentável, desta forma procura-se minimizar os impactos ambientais decorrentes do descontrole das atividades relacionadas a geração, transporte e destinação dos materiais. Para os geradores, determina-se a adoção, sempre que possível, de medidas que minimizem a geração de resíduos e sua reutilização ou reciclagem (PINTO, 2005).

Quanto aos resíduos sólidos, essa gestão integrada, consiste em um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental e cultural, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (GARCIA, 2012).

Pode-se afirmar que um dos setores que mais crescem em reaproveitamento de materiais sólidos é o setor da construção civil, boa parte dos resíduos são reutilizados ou reciclados, podendo assim ser reaproveitados evitando o desperdício na construção.

Para um modelo de gestão de RCC eficaz, racional, sustentável e com um custo menor, deve-se visar à redução da produção de resíduos. Uma vez que é praticamente impossível inexistirem perdas e desperdícios durante os processos construtivos, os RCC devem ser prioritariamente reutilizados e/ou reciclados. Estas práticas de redução, reutilização e reciclagem dos RCC são conhecidas como os três R's e compõem o sistema de gestão integrada (Lima e Lima [s.d.]).

A Lei 12.305 de agosto de 2010 determina que deve-se observar na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Sendo assim é necessário que haja a redução do consumo de recursos naturais, reciclagem de resíduos da construção civil e a reutilização correta de materiais reciclados.

Os três R's que constituem o modelo de gestão integrada dos RCC são mostrados abaixo:

- **Reduzir:**

A redução de resíduos consiste em encontrar maneiras de utilizar ao máximo a matéria prima, evitando desperdícios. É considerada uma das principais maneiras de reduzir custos, trabalho e impacto ambiental.

- **Reutilizar:**

A Resolução do CONAMA nº 307 define reutilização como o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo.

Como exemplo de reutilização tem-se a demolição, podendo reaproveitar alguns elementos construtivos como: janelas; portas; e, tomadas. Em alguns casos, não é possível utilizar os resíduos na obra, logo estes são encaminhados à reciclagem.

- **Reciclar**

A reciclagem é um processo industrial que converte resíduos de processos, descarte de produtos e embalagens em produtos semelhantes ao inicial ou de outra natureza. Mais do que utilizar os materiais novamente, reciclá-los significa obter economia de energia, redução de custos e preservação dos recursos naturais (SOUZA et al., 2010).

De acordo com a Resolução do CONAMA nº 307, Reciclagem é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação. Nesse sentido, Beltrão (2014) coloca que a reciclagem envolve a transformação dos materiais descartados em outra forma utilizável no ciclo de produção, seja ela interna ou externa ao canteiro de obra. A reciclagem é o produto da coleta, separação e processamento dos resíduos da construção civil, transformando-os em produtos com um novo ciclo de vida.

O conceito de reciclagem relaciona-se ao ciclo de utilização de um material ou componente, que uma vez que tenha se tornado velho pode-se tornar novo, prolongando assim sua vida útil. Esse conceito fundamenta-se na gerência ambiental, social e econômica de recursos naturais, visando à gerência do ciclo de vida de materiais.

Esse conceito baseia-se, portanto, em um dos pilares da política ambiental, conhecida como gerência de cadeia integrada, incluindo a gerência do ciclo de vida dos materiais de construção, nas fases de produção, construção, demolição, reuso ou reciclagem e disposição.

Implica, portanto, na redução do uso de recursos naturais (fontes de energia e matéria-prima primária) e em manter a matéria-prima no ciclo de vida de produção o máximo possível. Tal conceito enfatiza a importância da fase de projeto no processo construtivo, e este como um todo deve ser entendido como um processo de reciclagem (BLUMENSCHHEIN, 2005).

Atualmente nos deparamos com a problemática questão da contínua geração de resíduos da construção civil, onde esta é apontada como uma das maiores geradoras de resíduos, bem como responsável pelo excessivo consumo de recursos naturais. Desta forma, torna-se fundamental a adoção de medidas como a reciclagem desses resíduos.

A reutilização e reciclagem dos resíduos da construção civil como matéria-prima traz inúmeros benefícios econômicos e ambientais, pois minimizam a extração de recursos naturais, cujas reservas são em grande maioria escassas, além de reduzir os níveis de poluição atmosférica, elevados em função da extração, processamento e transporte. Esse processo, conseqüentemente possui um custo relativo menor.

Portanto, a adoção de tecnologias para reaproveitamento e reciclagem dos resíduos da construção civil vem ganhando espaço. As empresas são responsáveis pelo destino ambientalmente adequado dos resíduos produzidos em seus processos produtivos, de modo a evitar danos ou riscos à saúde e à segurança pública e minimizar impactos ambientais.

Considerando que os problemas gerados pelo gerenciamento inadequado dos resíduos ou até mesmo ausência de planejamento apresentam impactos negativos à sociedade, ao meio ambiente e às indústrias de modo geral, a redução e a reciclagem desses resíduos é o melhor caminho para o desenvolvimento sustentável, tão almejado atualmente.

Através da gestão integrada há uma redução significativa no volume de resíduos e um maior controle de perdas no processo, desta forma a construção só tende a ganhar com esse tipo de gestão.

2.3 EMBALAGENS DESACO DE CIMENTO

A construção civil faz parte do grupo das atividades mais importantes para o desenvolvimento econômico e social do país. Por outro lado, é também considerada entre as

grandes geradoras de impactos ambientais, tanto pelo alto consumo de recursos naturais como pela grande geração de resíduos sólidos da construção civil e o seu posterior descarte na natureza. Segundo pesquisas recentes, os resíduos das atividades de construção e demolição (RCD) são responsáveis por uma média de 50% a 70% do volume de resíduos gerados nos principais centros urbanos do Brasil (SANTOS e CARVALHO, 2011).

Segundo Stachera Jr. e Casagrande Jr. (2008), o impacto ambiental da construção civil está associado ao uso intensivo de recursos naturais não renováveis, de energia e água, além de um grande volume de resíduos gerados e não aproveitados em sua grande maioria. Em todos os processos de materiais que envolvem o setor há emissões de gases poluentes e de gases que contribuem para o aquecimento global.

As embalagens de saco de cimento são produzidas com papel kraft, e estas podem ser um dos maiores vilões residuais da construção civil, uma vez que estão presentes em quase todos os tipos de obra, e em grande volume. Esse resíduo na maioria das vezes passa despercebido pelos gestores, porém as empresas têm o conhecimento de que o número de sacos de cimento vazios descartados em um único dia de obra é bastante elevado, além do descarte inadequado uma das problemáticas é a dificuldade para destinação adequada desse resíduo.

Devido ao contato das embalagens de papel com o cimento Portland, este se torna inadequado a processos de consumos secundários e ainda desqualificado aos processos convencionais de reciclagem, sendo descartado em “lixões”, aterros sanitários ou nos chamados “bota-foras” de materiais de construção (SCHMAL e AVILA, 2008).

Segundo dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2014), de janeiro a outubro de 2014 o consumo de cimento no país alcançou 60,5 milhões de toneladas, o que significa que foram produzidas 127 mil toneladas de resíduos provenientes das embalagens, uma vez que aproximadamente 70% do produto é comercializado na forma ensacada, e cada saco de cimento pesa cerca de 150g. No ano de 2013 no Brasil houve um consumo de cimento de 71 milhões de toneladas, sendo 66% desse cimento despachado na forma ensacada (SNIC, 2013).

A Figura 2.4 apresenta a quantidade de cimento despachado de forma ensacada em porcentagem para os anos de 2010 a 2013, segundo os relatórios anuais do SNIC. Sabe-se

que com o passar dos anos a produção de cimento aumentou, sendo produzido em 2010 41.43,70 toneladas e em 2013 uma quantidade de 46.174,92 toneladas.

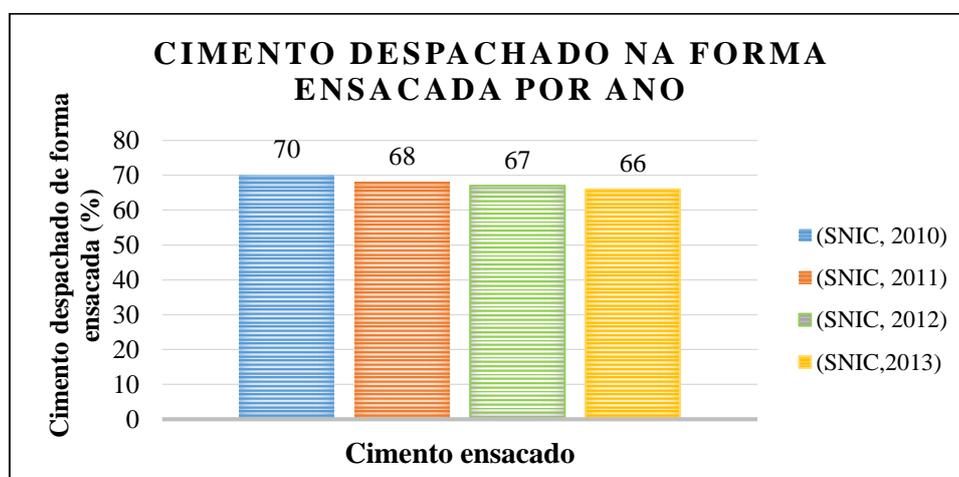


Figura 2.4 - Dados do relatório anual do SNIC, referente aos anos de 2010 a 2013 para o cimento despachado na forma ensacada (SNIC).

Em todas as regiões brasileiras o consumo de cimento ensacado é maior que o de cimento a granel, logo demonstra a viabilidade da reciclagem destes sacos de cimento e das demais embalagens, como cal e argamassa, levando em consideração que, atualmente, quase a totalidade destes sacos são descartados e depositados na natureza de forma inadequada

Conforme a Resolução nº 307, de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os sacos de cimento são classificados como resíduo classe B, portanto, ao serem contaminados com o cimento, este resíduo passa a ser classificado como classe D, devendo ser armazenado, transportado e destinados em locais adequados. No entanto, a maior parte do material é descartada de maneira inapropriada, como em caçambas, junto a resíduos de outras classes, posteriormente chegando a aterros clandestinos ou lixões ou, mesmo quando recolhido por empresas de reciclagem ou pelo fabricante, esse resíduo encontra entraves para sua destinação final e reaproveitamento.

As legislações ambientais não permitem mais que os sacos de cimento sejam dispostos em aterros sanitários, em lixões, em bota-foras domiciliares ou mesmo jogados pelo cidadão comum em terrenos baldios. Este resíduo deve ser depositado em aterro controlado, ou de preferência que haja um gerenciamento deste na obra, para que posteriormente seja encaminhado para a reciclagem ou seja, utilizado dentro da própria obra. Deve-se tomar

cuidado para que os percolados não atinjam o solo, a água subterrânea e tampouco os cursos d'água superficiais (FOELKEL, 2014).

As embalagens de cimento, geralmente não são aceitas pelas unidades de reciclagem, devido ao seu contato com o cimento. Diante do volume produzido desses resíduos as atividades artesanais que reutilizam os sacos não são representativas. Portanto uma pequena parcela das embalagens que recebem destinação e tratamento adequados tem sua viabilidade comprometida quanto aos aspectos econômico e sustentável.

A Resolução nº 307 do CONAMA, diz ainda que os geradores devem priorizar a não geração dos resíduos, e o que for inevitável gerar deve-se pensar na sua reutilização ou reciclagem. A empresa geradora do resíduo deve pagar a administração para poder descartar de forma legal as embalagens em caçambas. No entanto, nesse caso, não poderá haver outros tipos de entulho na mesma caçamba.

Outra alternativa consiste em contratar uma empresa de reciclagem para que recolha o material, o que também gera custos, além da necessidade de reservar espaço para armazenamento na obra até que o volume de sacos de cimento seja suficiente para justificar o transporte para a empresa que o recolherá. A partir daí o tratamento, por meio de limpeza e prensagem dos sacos, e o transporte até a unidade de reaproveitamento ou reciclagem irão gerar custos consideráveis e, além disso, como o transporte geralmente é feito por meio do sistema rodoviário, as emissões de CO₂ provenientes da queima de combustíveis fósseis irão poluir o ar. Soma-se a isso o fato de serem poucas as usinas de reciclagem desse tipo de material em todo o país (SANTOS e CARVALHO, 2011).

Ressalta-se que a indústria da construção civil pode ser considerada a que mais convive e busca soluções para seus sacos de cimento e cal. Novos conhecimentos e utilizações vêm sendo criativamente desenvolvidas com sucesso ambiental, social e econômico (FOELKEL, 2014).

Diante do exposto anteriormente, vê-se a necessidade de uma destinação correta para esse resíduo tão volumoso da construção civil. Deste modo, o resíduo proveniente das embalagens de cimento e cal pode ser aproveitado, até mesmo dentro da própria obra, com a utilização de fibras vegetais advindas dos sacos de papel kraft desagregados em processos úmidos, para a produção de compósitos cimentícios de matrizes à base de cimento Portland,

utilizando teores variados de fibras para lhes dar incrementos de resistência à deformação plástica, suportando assim mais as cargas instantâneas de alto impacto.

De certa forma, pode-se colocar que até pouco tempo atrás não havia interesse para solucionar problemas, já que a legislação e a fiscalização não eram rigorosas. Hoje, os aspectos ambientais servem de incentivo para pesquisas e elas surgem em inúmeras empresas e universidades. Esses estudos focam a aplicabilidade industrial do saco de papel kraft em processos de reciclagem que não são necessariamente na reconversão ao papel (FOELKEL, 2014), como exemplo citado anteriormente.

Com o intuito de melhorar a gestão de resíduos, a Lei 12.305 de agosto de 2010 determina que, os lixões a céu aberto e aterros controlados serão proibidos e deverão ser substituídos por aterros sanitários ou industriais, só podendo receber resíduos sem qualquer possibilidade de reciclagem e reaproveitamento. Essa Lei também obriga o setor da construção civil a dar uma destinação final ambientalmente adequada aos resíduos de construção e demolição, não podendo mais encaminhá-los aos aterros.

Atualmente, os resíduos como os sacos utilizados como embalagens de cimento, argamassa e cal em sua grande parte, não recebem tratamento adequado, muitas vezes estes são incinerados, para evitar problemas com a fiscalização. Desta maneira, papéis com excepcional qualidade fibrosa acabam sendo desviados da rota da reciclagem, onde poderiam ser absorvidos com sucesso e convertendo-se em matérias-primas valiosas para a sociedade e evitar índices de poluição, contaminação de solos e cursos d'água.

Alguns avanços estão acontecendo rapidamente na indústria da construção civil, na busca de materiais mais sustentáveis e capazes de fabricarem residências e obras mais baratas e com menores impactos ambientais (FOELKEL, 2014).

Desta forma, o cenário composto pelo grande volume de embalagens de cimento descartadas, que se opõem à falta de capacidade de absorção desse montante de resíduo, bem como o despreparo das empresas quanto o cuidado com esses resíduos, se torna imprescindível à adoção de técnicas que solucionem a problemática.

2.3.1 Papel kraft

O papel kraft multifoliado dos sacos de cimento é uma embalagem fabricada com duas ou mais folhas, podendo chegar ao máximo a seis folhas (BAYLIS, 1997). O principal material utilizado para a fabricação do saco multifoliado é o papel kraft, fabricado com 100% de polpa química, não branqueada, essencialmente de fibra longa, geralmente nas gramaturas de 80 a 90 g/m².

O processo de polpa química do papel kraft consiste em um processo químico onde a madeira é cozida com agentes químicos para remover a lignina e carboidratos produzindo polpa de alta qualidade. Este processo é chamado de sulfato, mas também é conhecido como processo Kraft, palavra alemã que significa forte (PROCESSOS [s.d.]).

O kraft é considerado um papel grosso, com excepcional característica de resistência mecânica. Este, quando utilizado como embalagens, é altamente resistente ao rasgo e com boa resistência ao estouro. Usado essencialmente para sacos e embalagens industriais de grande porte (BRACELPA, 2013).

As embalagens confeccionadas em papel kraft, permitem o preenchimento com o material ainda bastante aquecido, e a embalagem garante a qualidade ao produto. Podem ser estampadas diversas informações como: composição do produto, cuidados com o manuseio, data de fabricação e validade, indicação para melhor utilização e dicas de armazenagem (MARCONDES, 2007).

Uma boa embalagem é importante, pois é responsável pela conservação do produto, permite seu transporte com segurança, otimiza a estocagem e é uma ferramenta importante de comunicação, pois informa o consumidor, auxiliando-o na utilização do produto.

A produção brasileira de papel kraft para sacos atingiu 352 mil toneladas em 2012. Sacos multifoliados de altíssima qualidade são produzidos no País a partir do processamento kraft (ou sulfato) para obtenção de fibras celulósicas de pinus ou de bambu. Os sacos multifoliados são utilizados principalmente em embalagens de cimento, cal, fertilizantes, argamassas, farinhas, rações e produtos químicos em geral. Os produtos embalados podem estar na forma

de pós ou granulados secos. Em geral, os sacos são produzidos para embalar produtos de 20 Kg a 50 Kg (FOELKEL, 2014).

De acordo com Buson (2009), o papel Kraft não demora tanto para decompor, leva de três a seis meses. O problema é o resto de cimento que fica dentro dos sacos. “O papel, depois de cerca de seis meses se decompõe, mas o cimento demora milhares de anos, podendo contaminar o lençol freático e o solo”, afirma. Para aproximadamente 50Kg de papel reciclado, poupa-se o corte de uma árvore. Os papéis mais recomendados para reciclagem são aqueles que apresentam resistência ao rasgo, desta forma o papel kraft é ideal para a reciclagem, até mesmo por este não passar por processo de branqueamento.

As duas principais fontes de madeira utilizadas para a produção de celulose no Brasil são as florestas plantadas de pinus ou pinheiro (fibra longa) e de eucalipto (fibra curta), responsáveis por mais de 98% do volume produzido; a celulose de fibra longa (originária do pinus) é a utilizada para sacos de embalagem, mas existem também algumas indústrias que produzem sacos para embalagem de cimento com celulose de bambu (BRACELPA, 2013). O bambu é uma fibra natural de origem vegetal, o qual é utilizado como reforço, devido ao seu baixo custo, boa resistência à tração, rapidez no crescimento do bambu e um baixo custo e consumo de energia na produção das fibras.

O Brasil possui alguns fabricantes de papel Kraft que utilizam as fibras do bambu, da espécie *Bambusa Vulgaris*. O bambu produz celulose de fibra longa, diferentemente do eucalipto, que é composto por fibras curtas. As fibras do bambu são longas como as do pinheiro e estreitas como as do eucalipto, o que faz com que se entrelacem mais, conferindo excelentes características físicas aos papéis. A celulose de bambu possui inúmeras vantagens, destacando-se pela produção de cartões de alta resistência final, com os menores índices de rasgo do mercado, sendo a embalagem mais usada em segmentos como cimento, cal, argamassa e gesso (MALHÃES, 2008). Assim, o papel de bambu tem a mesma qualidade que qualquer outro e suas fibras são muito resistentes, com qualidade igual ou superior à fibra de madeira comum.

O kraft é um papel de embalagem pesada, a fibra das embalagens de papel kraft natural tem excelentes propriedades físicas e mecânicas. Esse papel é fabricado seguindo as especificações rígidas exigidas pelos fabricantes e usuários de sacos multifoliados

(CELULOSEONLINE, 2009). Estes sacos de papel kraft devem ter uma alta qualidade para suportar as elevadas forças a que são submetidos quando em uso e devem ser duráveis.

Segundo Taves (2001), a baixa taxa de recuperação dos sacos multifoliados está intimamente vinculada à contaminação provocada pelos produtos ensacados, tais como cimento, adubos e produtos químicos em geral. Estas contaminações exigem procedimentos e cuidados adicionais aos processos de reciclagem desse material.

Após a utilização do cimento, o saco, constituído por material com tão boas características físicas e mecânicas, acaba não sendo utilizado pelas empresas de reciclagem de papel por se encontrar contaminado pelo cimento. Há, porém, potencial de seu aproveitamento na produção de novos componentes para habitação, visando à melhoria das propriedades técnicas e econômicas destes componentes, bem como à maior sustentabilidade ambiental e econômica do processo, já que poderá haver economia de energia e minimização de impactos ambientais com o aproveitamento deste resíduo (BUSON, 2009).

É muito importante selecionar o tipo adequado de reciclagem para a utilização do resíduo. Assim, o processo de obtenção da polpa de celulose através da trituração do papel kraft não gera qualquer novo resíduo ou contaminante, pois só é necessário um procedimento de limpeza dos sacos de cimento e decantação da água utilizada no processo.

2.3.2 Obtenção de celulose

A celulose é a base para a fabricação de papel, esta consiste em um polissacarídeo (similar ao açúcar) que é o principal componente da parede celular das fibras das plantas, junto com a lignina, as resinas e os minerais (compostos inorgânicos), a celulose é um dos compostos que constituem a madeira, cerca de 50%. Suas moléculas, agrupadas pela lignina, formam feixes de fibras que constituem as células vegetais que compõem as fibras presentes na madeira (CMPC, 2015). A celulose é um polissacarídeo mais abundante da natureza, e a molécula orgânica mais abundante da Terra (ROWELL et al., 2005)

As fibras vegetais são compostas, basicamente de celulose, hemicelulose e lignina (ILLSTON, 1994), sendo que a proporção de cada componente depende da fonte a partir da qual o material foi extraído (ZHANG; LYND, 2004). A estrutura das fibras vegetais é

constituída de várias fibras elementares fortemente ligadas entre si por um material de cimentação constituído na sua maioria de lignina, unindo as microfibrilas e a hemicelulose (JASTRZEBSKI, 1987).

As fibras celulósicas, também chamadas de lignocelulósicas têm recebido considerável atenção no desenvolvimento de diferentes produtos (papéis, papelões, tecidos, filtros e reforço em compósitos), por apresentarem inúmeras vantagens, como, por exemplo, disponibilidade, baixo custo e aspectos favoráveis quanto às questões ambientais (HORTAL, 2007).

A lignina representa 30% dos componentes dos vegetais. Se eliminarmos a celulose, os carboidratos, os açúcares, os sais orgânicos e as proteínas, somente restará esta substância que será preciso separar por meio de processos químicos para obter a polpa (BYLAARDT, 2015).

O processo de obtenção de polpa de madeira antecede a produção de papel, sendo genericamente definido como polpação, que consiste na obtenção de celulose. O processo envolve a separação das fibras da madeira mediante a utilização de energia mecânica, térmica ou química ou a combinação das três. O processo de polpa química do papel kraft tem como objetivo a dissolução da lignina, preservando a maior parte da celulose.

O processo de polpa química do papel kraft consiste em um processo químico. Este processo é chamado de sulfato, mas também é conhecido como processo kraft. As polpas são obtidas através de processos que podem aliar métodos químicos e/ou termomecânicos, sendo o kraft o mais empregado e difundido (SAVASTANO, 2000). Este método, também conhecido como método químico dos sulfatos, consiste no cozimento da matéria-prima em solução alcalina (sulfeto e hidróxido de sódio) a temperaturas elevadas (aproximadamente 170° C) (ZHU, 1993; COUTTS; WARDEN, 1990). Os produtos alcalinos associados à temperatura têm a função de decompor os componentes não-celulósicos.

As toras de madeira ao serem recebidas nas fábricas de celulose, são descascadas, lavadas e posteriormente picadas em cavacos (pequenos pedaços de madeira), e direcionadas à etapa de formação da polpa. Os cavacos são então transferidos por esteira transportadora aos digestores, onde passam por um processo de cozimento e são submetidos à reação com licor

branco (sulfeto de sódio e hidróxido de sódio). Os digestores possuem altas temperaturas e pressões, para que dissolvam componentes da madeira que não interessam ao produto final, principalmente lignina, molécula orgânica associada à celulose. Este processo de cozimento, designado processo "kraft", minimiza os danos às fibras da celulose, de forma a preservar sua uniformidade e resistência. Durante o cozimento, as fibras de celulose são separadas da lignina e resinas, quando então obtemos celulose não branqueada. (O PROCESSO,2015).

Numa fase de pré-branqueamento, a celulose é então lavada e submetida a um processo de deslignificação por oxigênio que, combinado com o processo kraft, remove aproximadamente 95% da lignina. A esta altura do processo, uma pequena parcela da fibra de celulose produzida é utilizada na produção de alguns tipos de papel cartão.

O processo de cozimento da madeira gera efluente conhecido "licor negro", que é separado e enviado para evaporadores para elevar a concentração de sólidos e em seguida para uma caldeira de recuperação. Neste equipamento, o licor negro é utilizado como combustível para a produção de vapor e energia elétrica, e recuperamos aproximadamente 99% das substâncias químicas utilizadas no processo Kraft. Caso este efluente não fosse tratado antes de ser despejado nos cursos d'água, poderia causar gravíssimos impactos ambientais, pois para ser processado pela natureza, retira todo o oxigênio da água (AMDA, 2015).

Após todo o procedimento de polpação para a obtenção das folhas de celulose, na fábrica de papel, essa folha retorna à condição de polpa.

2.3.3 Fibra natural

As fibras do papel Kraft, são fibras naturais de origem vegetal, essas fibras são de natureza celulósica e como exemplo tem-se o sisal, bambu, coco e bananeira, conforme Figura 2.5.

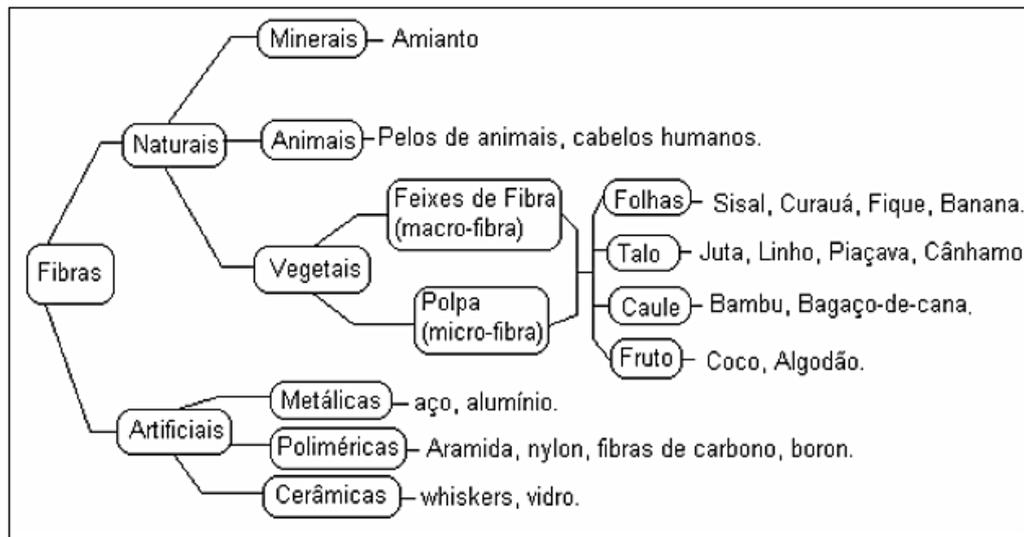


Figura 2.5 - Classificação das fibras (PICANÇO, 2005).

As fibras podem ser aproveitadas para diversas finalidades, dependendo da sua origem e composição. Essas fibras podem ser naturais ou artificiais (feitas pelo homem). As fibras naturais, interesse deste estudo, são as encontradas prontas na natureza, e podem ser de origem vegetal (exemplo são as fibras de madeira e bambu), mineral ou animal.

As fibras vegetais consistem em uma alternativa barata, podendo ser utilizada em diversos produtos da construção civil. Essas fibras são células alongadas, enfileiradas com paredes reforçadas por uma substância chamada lignina que serve para sustentar a planta.

O uso do bambu como material estrutural é talvez tão antigo quanto à civilização humana, entretanto o uso de suas fibras e polpas como reforço em matrizes cimentícias data de 1910 (SUBRAHMANYAM, 1984). As fibras naturais possuem como vantagem do o seu baixo custo, boa resistência à tração, rapidez no crescimento do bambu e baixo custo e consumo de energia na produção das fibras.

A polpa do bambu (Figura 2.6) é obtida da mesma forma que se obtém as polpas de madeira para fabricação de papel. Sendo a principal forma de obtenção a polpação Kraft. Esse processo tem como vantagem a remoção da lignina, a qual pode ser atacada pela alcalinidade da matriz cimentícia.



Figura 2.6 - Aspecto macroscópico da polpa de celulose obtida após procedimento de reciclagem das embalagens de cimento (do autor).

Algumas pesquisas foram feitas nos últimos anos sobre uso de fibras naturais como reforço em matrizes cimentícias. Essas foram motivadas pela grande quantidade de fibras disponíveis e pelo fato delas possuírem alta resistência mecânica.

2.3.4 Reciclagem embalagens de cimento

Quase todos os tipos de papel podem ser reciclados, gerando economia de recursos naturais. No processo de reciclagem, há uma redução considerável do consumo de energia e água e da poluição da água e do ar, comparando-se com a fabricação do papel a partir da matéria-prima virgem (AMDA, 2015).

As fibras resultantes dos papéis reciclados têm capacidade limitada de reciclagem, considerando assim um limite de 5 a 7 ciclos. A cada ciclo elas perdem tamanho, flexibilidade e capacidade de ligação (AMDA, 2015). Logo se considerar um índice de reciclagem muito grande, será necessário à produção de fibras virgens. O processo de reciclagem como qualquer processo industrial, pode gerar impactos negativos ao meio ambiente se os efluentes resultantes não forem devidamente tratados.

Todo processo de reciclagem necessita de energia para transformar o produto ou tratá-lo de forma a torná-lo apropriado a ingressar novamente na cadeia produtiva. Tal energia dependerá da utilização proposta para o resíduo, e estará diretamente relacionada aos processos de transformações utilizados. Além disso, muitas vezes, apenas a energia não é

suficiente para a transformação do resíduo. São necessárias também matérias-primas para modificá-lo física e/ou quimicamente (ÂNGULO et al., 2001).

No caso da transformação do papel kraft natural multifoliado em polpa de celulose para uso em componentes como os blocos de concreto, consome-se pouca energia e não são necessários outros materiais, além de água, para a realização do processo de reciclagem. Com processos manuais de transformação, por exemplo, não há consumo de energia elétrica, mas em contrapartida o processo torna-se mais demorado (BUSON, 2009).

Na produção das fibras dispersas de papel kraft utiliza-se energia para o processo de retirada de água da polpa de celulose, pois necessita-se de uma centrífuga para este procedimento. Desta forma Buson (2009), cita em sua pesquisa formas alternativas de elaboração da centrífuga., como por exemplo, um sistema que utiliza uma bicicleta, a qual gira o eixo de uma lavadora e secadora de roupas (Figura 2.7). Outro modelo existente no mercado consiste em centrífuga manual utilizada na apicultura, esta possui uma manivela de controle manual, a partir da qual movimenta-se um eixo que fica acoplado em um tambor (Figura 2.8). Esses modelos consistem em uma solução simples, as quais podem ser viáveis e representam um baixo custo.



Figura 2.7 - Modelo de baixo custo de centrífuga utilizada para retirada do excesso de água da polpa de celulose, após o processo de reciclagem (BUSON, 2009).



Figura 2.8 - Centrífuga manual utilizada em processos de obtenção do mel (AGRONOMEL, 2015).

Como qualquer outra atividade, a reciclagem também pode gerar resíduos, cuja quantidade e características também vão depender do tipo de reciclagem escolhida. Esses novos resíduos, nem sempre são tão ou mais simples que aqueles que foram reciclados. É possível que eles se tornem ainda mais agressivos ao homem e ao meio ambiente do que o resíduo que está sendo reciclado (ÂNGULO et al., 2001). No processo de reciclagem dos sacos de cimento não gera qualquer novo resíduo ou contaminante, sendo necessário apenas um simples procedimento de limpeza ou filtragem da água utilizada no processo.

2.4 BLOCO DE CONCRETO

O bloco de concreto para alvenaria foi inventado pelos ingleses em 1832, ainda no formato maciço. O elemento vazado, como é concebido hoje, com furos para diminuir o peso próprio, este foi patenteado em 1850. Atualmente o bloco de concreto é concebido e utilizado em mais de 50 países sendo os Estados Unidos, Alemanha, Itália e Japão os que mais se destacam no emprego desta tecnologia (FERNANDES, 2008).

Os blocos de concreto passaram a ser utilizados no Brasil por volta de 1940, com a construção de 2400 residências do conjunto habitacional do Realengo na cidade do Rio de Janeiro. As primeiras máquinas destinadas à produção dos blocos de concreto no Brasil foram importadas dos Estados Unidos na década de 1950, marcando o início da história desses componentes no país (LOURDSLEEM et al., 2008). Em 1966 foi instalada em São Paulo a primeira fábrica de blocos de concreto de alvenaria estrutural, mas foi somente na década de 1970 que esses blocos se consolidaram no mercado brasileiro, principalmente devido à divulgação das primeiras obras de blocos de concreto com função estrutural (BUTTLER, 2007).

A alvenaria de vedação tem papel primordial em qualquer projeto e possui a função apenas de vedação, pois não resiste às cargas da edificação. Estas podem ser construídas com blocos cerâmicos, concreto, entre outros. O bloco de concreto de vedação, objetivo deste estudo, tem como função o fechamento de vãos das edificações, de modo a proporcionar vãos modulados em função das dimensões dos blocos. Estes blocos devem apresentar requisitos mínimos de desempenho e segurança.

Como vantagem o bloco de concreto vazado, não contém fundo, viabiliza o aproveitamento dos furos, os quais ficam alinhados na vertical, para a passagem das instalações elétricas e hidráulicas, sem a necessidade de quebrar os blocos. Outra vantagem consiste em uma maior velocidade no levantamento de paredes, devido ao maior tamanho das peças, quando comparadas aos blocos cerâmicos.

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. Entretanto, para que os blocos efetivamente contribuam para a racionalização da produção das alvenarias é necessário assegurar a conformidade em relação às especificações estabelecidas pelas normas técnicas pertinentes (LORDSLEMM JÚNIOR et al., 2008).

Entende-se como coordenação modular a relação de medidas de elementos e componentes construtivos e das edificações que os incorporam, mediante o emprego do módulo básico, de um multimódulo ou de um submódulo. A modulação é utilizada para evitar cortes ou ajustes na execução das paredes.

As construções de alvenaria apresentam diversas vantagens e simplicidade no processo de execução. Entretanto, necessitam de desenvolvimentos constantes, principalmente no sentido da racionalização, produtividade e qualidade.

A alvenaria de vedação tradicional caracteriza-se pelos elevados desperdícios, adoção de soluções construtivas no próprio canteiro de obras (no momento da realização do serviço), ausência de fiscalização dos serviços, deficiente padronização do processo de produção e a ausência de planejamento. Já a alvenaria de vedação racionalizada é caracterizada pelo uso de blocos de melhor qualidade; projeto e planejamento da produção; treinamento da mão de

obra; uso de blocos compensadores (evitar quebra); redução do desperdício de materiais e melhoria nas condições de organização do canteiro (LORDSLEEM JÚNIOR, 2008).

A Norma ABNT NBR 6136:2014, para blocos vazados de concreto simples para alvenaria, estabelece requisitos para a produção e aceitação destes, os quais são destinados à execução de alvenaria com ou sem função estrutural. Esta Norma define bloco vazado de concreto simples como: Componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta. Este bloco pode ser visto na Figura 2.9.

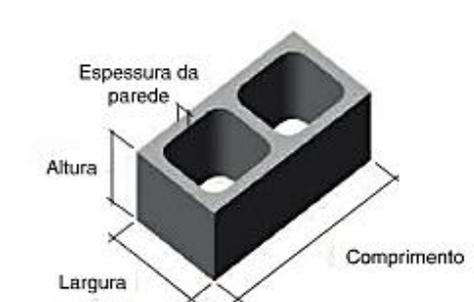


Figura 2.9 - Modelo de bloco vazado de concreto simples para alvenaria de vedação (ABNT NBR 6136:2014).

Segundo Medeiros e Sabbatini (1993), o bloco de concreto é definido como “a unidade de alvenaria constituída pela mistura homogênea, adequadamente proporcionada, de cimento Portland, agregados miúdo e graúdo, conformada através de vibrações e prensagem”.

Essa mesma Norma define área bruta como a área da seção perpendicular aos eixos dos furos, sem desconto das áreas dos vazios; e área líquida como a área média da seção perpendicular aos eixos dos furos, descontadas as áreas médias dos vazios.

Os materiais utilizados na fabricação de blocos de concreto são: cimento Portland, agregado graúdo e miúdo, e água. Porém a ABNT NBR 6136:2014 também permite o uso de aditivos, adições e pigmentos, desde que o produto final atenda aos requisitos físicos-mecânicos (resistência, absorção e retração linear por secagem). Dessa forma é fundamental que os blocos sejam de boa qualidade, para isso os fabricantes precisam controlar a matéria-prima, ter procedimentos de dosagem, moldagem e cura, dispor de equipamentos adequados e calibrados e de uma equipe qualificada.

2.4.1 Classificação dos blocos de concreto

Os blocos são classificados segundo a Norma Brasileira ABNT NBR 6136:2014, a qual define como classe a diferenciação dos blocos segundo o seu uso, podendo ser com ou sem função estrutural. De acordo com a referida Norma e com a Portaria nº 261 de junho de 2014 do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - INMETRO, os blocos são diferenciados em três classes (A, B e C), sendo estas definidas e mostradas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração blocos (Adaptado de: ABNT NBR 6136:2014).

Requisitos normativos						
Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial ^a Mpa	Absorção %			
			Agregado normal ^b		Agregado leve ^c	
			Individual	Média	Individual	Média
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 8,0$	$\leq 6,0$		
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 8,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 12,0$	$\leq 10,0$		

^aResistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias

^b Blocos fabricados com agregado normal (ver definição na ABNT NBR 9935).

^cBlocos fabricados com agregado leve (ver definição na ABNT NBR 9935).

A Classe “A” compreende os blocos com função estrutural, para uso acima ou abaixo do nível do solo, e que apresentam resistência à compressão axial maior ou igual a 8,0 MPa.

Incluídos na Classe “B” estão os blocos com função estrutural, para uso exclusivamente acima do nível do solo, e que apresentam resistência à compressão axial maior ou igual a 4,0 MPa e menor que 8,0 MPa.

Já, a Classe “C” consiste em blocos com ou sem função estrutural, para uso exclusivamente acima no nível do solo, e que apresentam resistência mínima à compressão axial de 3,0 MPa. Os blocos de Classe C com largura de:

- 90 mm podem ser utilizados com função estrutural em edificações de no máximo um pavimento.
- 115 mm podem ser utilizados com função estrutural em edificações de no máximo dois pavimentos.
- 140 mm e 190 mm podem ser utilizados, com função estrutural em edificações de no máximo cinco pavimentos.

Os blocos de Classe C com largura de 65 mm têm seu uso restrito para alvenaria sem função estrutural.

A Norma Brasileira ABNT NBR 6136:2014 define que a espessura mínima de qualquer parede de bloco deve atender os valores apresentados na Tabela 2.2. A tolerância permitida nas dimensões das paredes é de 1,0 mm para cada valor individual.

Tabela 2.2 - Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos de concreto (Adaptado de: ABNT NBR 6136:2014).

Espessura mínima das paredes				
Classe	Largura nominal mm	Paredes longitudinais^a mm	Paredes transversais	
			Paredes^a mm	Espessura equivalente^b mm/m
A	190	32	25	188
	140	25	25	188
B	190	32	25	188
	140	25	25	188
C	190	18	18	135
	140	18	18	135
	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

^a Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito

^b Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros).

Ainda de acordo com a Norma ABNT NBR 6136:2014, família de blocos é constituída por um conjunto de modelos de blocos pertencentes à mesma classe (A, B ou C), oriundos da

mesma unidade fabril e de mesmo processo produtivo. As dimensões reais dos blocos vazados de concreto, modulares e submodulares, devem corresponder às dimensões constantes na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Dimensões nominais dos blocos de concreto (Adaptado de: ABNT NBR 6136:2014).

Dimensões nominais										
Família	20x4 0	15x4 0	15x3 0	12,5x4 0	12,5x2 5	12,5x37, 5	10x4 0	10x3 0	7,5x 40	
Largura (mm)	190	140		115		90		65		
Altura (mm)	190	190	390	190	190	190	190	190	190	
Medida nominal (mm) Comprimento (mm)	Meio	390	390	290	390	240	365	390	290	390
	2/3	190	190	140	190	115	-	190	140	190
	1/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
	Amarração L	-	-	-	-	-	115	-	90	-
	Amarração T	-	34	-	-	-	-	-	-	-
	Compensad or A	-	540	440	-	365	-	-	290	-
	Compensad or B	90	90	-	90	-	-	90	-	90
	Compensad or C	40	40	-	40	-	-	40	-	40
	Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290	-
	Meia canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140	-
NOTA 1 As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados na Tabela são de = 2,0 mm para a largura e = 3,0 mm para a altura e comprimento.										
NOTA 2 Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação de acordo com a ABNT NBR 15873.										
NOTA 3 As dimensões da canaleta J devem ser definidas mediante acordo entre fornecedor e comprador, em função do projeto.										

Desta forma, define-se família de blocos como o conjunto de componentes de alvenaria que interagem modularmente entre si e com outros elementos construtivos. Os blocos que compõem uma família, segundo suas dimensões, são designados como: bloco inteiro (bloco predominante), meio bloco, blocos de amarração L e T (blocos para encontros de paredes), blocos compensadores A e B (blocos para ajustes de modulação) e blocos tipo canaleta, alguns desses blocos podem ser vistos nas Figura 2.10 e Figura 2.11.



Figura 2.10 - Blocos de concreto tipo canaleta utilizados para racionalizar a execução de vergas, contra vergas e cintas (ABNT NBR 6136:2014).

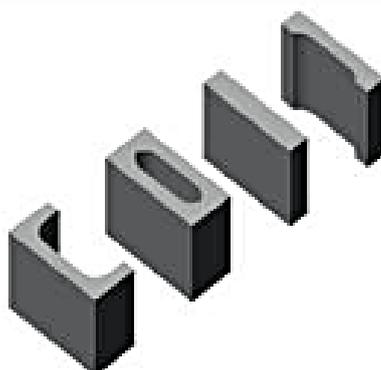


Figura 2.11- Bloco compensador utilizado para ajuste de modulação (ABNT NBR 6136:2014).

A adoção de blocos integrantes de uma mesma família na construção de uma alvenaria de vedação, propicia no sentido vertical e horizontal da alvenaria, o consumo de um número inteiro de blocos, evitando assim o corte indesejável dos blocos, o qual gera grandes quantidades de entulho e elevados desperdícios no canteiro de obras. Desta forma, é necessário que toda alvenaria antes de sua construção, seja precedida de um projeto de paginação, sendo elaborado por um profissional qualificado, objetivando a redução de desperdícios e cortes dos blocos vazados, bem como propiciar maior produtividade da mão de obra.

2.4.2 Produção dos blocos de concreto

Os principais materiais empregados na fabricação dos blocos de concreto são cimento Portland, agregados miúdos e graúdos e água. Podendo também utilizar adições e aditivos.

De acordo com Buttler (2007), normalmente são utilizados para a fabricação de blocos o cimento Portland de alta resistência inicial, agregado miúdo (areia natural/artificial e/ou pó de pedra), agregado graúdo (pedrisco) e aditivo plastificante, sendo que a utilização de cimento CP V - ARI (alta resistência inicial) é recomendada, pois acelera a retirada dos moldes do material.

Pagnussat (2004) comenta a diferenciação entre concretos plásticos dos concretos secos (com menor quantidade de água na mistura), afirmando que a diferença entre estes concretos consiste no fato de que em concretos plásticos, a pasta de cimento ocupa praticamente todos os espaços deixados pelos agregados, já no concreto seco, principalmente os utilizados para blocos, existe presença de ar em quantidade significativa na mistura.

A produção de blocos de concreto vibroprensa dos para alvenaria estrutural e de vedação se caracteriza pelo uso dos “concretos secos”, com abatimento no tronco de cone próximo de zero, que possui consistência significativamente superior à dos concretos plásticos, devido a menor quantidade de água empregada, facilitando a realização da desforma imediata das peças (MARCHAND et al., 1996). Esta particularidade o torna um concreto pouco úmido, necessitando do emprego de equipamentos especiais para compactação, neste caso, as máquinas vibroprensas, que aplicam, simultaneamente, um esforço de compressão aliado a um efeito de vibração para a redução dos vazios e moldagem das peças.

Os blocos são produzidos em um sistema de desforma rápida, em que a consistência da massa recém-moldada deve se auto sustentar, a operação torna-se delicada, pois qualquer choque ou vibração excessiva nesse momento pode provocar fissuras, muitas vezes imperceptíveis a olho nu, responsáveis por prejudicar a resistência das peças.

Os equipamentos utilizados na produção dos blocos de concreto são denominados de vibroprensas. Elas recebem esta denominação devido ao mecanismo de funcionamento empregado durante o processo de moldagem dos blocos: vibração associada à prensagem. A primeira função é responsável pelo preenchimento e adensamento da mistura nos moldes, e a segunda, influencia o adensamento e o controle da altura dos blocos, conhecido como acabamento (SOUSA, 2001). A resistência dos blocos também é proporcional à energia de compactação utilizada na vibração, sendo a eficiência da vibroprensa, bem como a relação

a/c, o cimento e outros fatores, os responsáveis pela qualidade final das unidades produzidas (BUTTLER,2007).

De modo geral, a melhor vibração é aquela que permite obter, em um tempo mínimo, blocos de qualidade homogênea em todos os pontos da forma. A Norma ABNT NBR 6136:2014 define requisitos para os blocos, os quais devem ter arestas vivas e não devem apresentar trincas, fraturas ou outros defeitos que possam prejudicar o seu assentamento ou afetar a resistência e a durabilidade da construção, não sendo permitido qualquer reparo que oculte defeitos eventualmente existentes no bloco.

A sequência básica de funcionamento das vibroprensas durante a moldagem dos blocos, resume-se nas etapas apresentadas a seguir e conforme Figura 2.12 (MEDEIROS, 1993).

- a) Preenchimento da gaveta alimentadora com a mistura destinada a moldagem dos blocos;
- b) Preenchimento do molde metálico onde os blocos são moldados. Esta fase é acompanhada por vibração do molde;
- c) Compactação dos blocos através dos extratores. Esta fase também é acompanhada de nova vibração do molde finalizando quando a altura desejada para os blocos é atingida;
- d) Desforma dos blocos logo após o término da operação anterior. Nesta fase os extratores permanecem imóveis, enquanto o molde ascende, permitindo que os blocos permaneçam sobre o “palet” onde foram moldados;
- e) O “palet” com os blocos recém-moldados avançam para a frente da máquina, enquanto um novo “palet” vazio ocupa seu lugar sob o molde;
- f) O molde metálico desce então para sua posição original, enquanto os extratores ascendem, preparando-se para um novo ciclo.

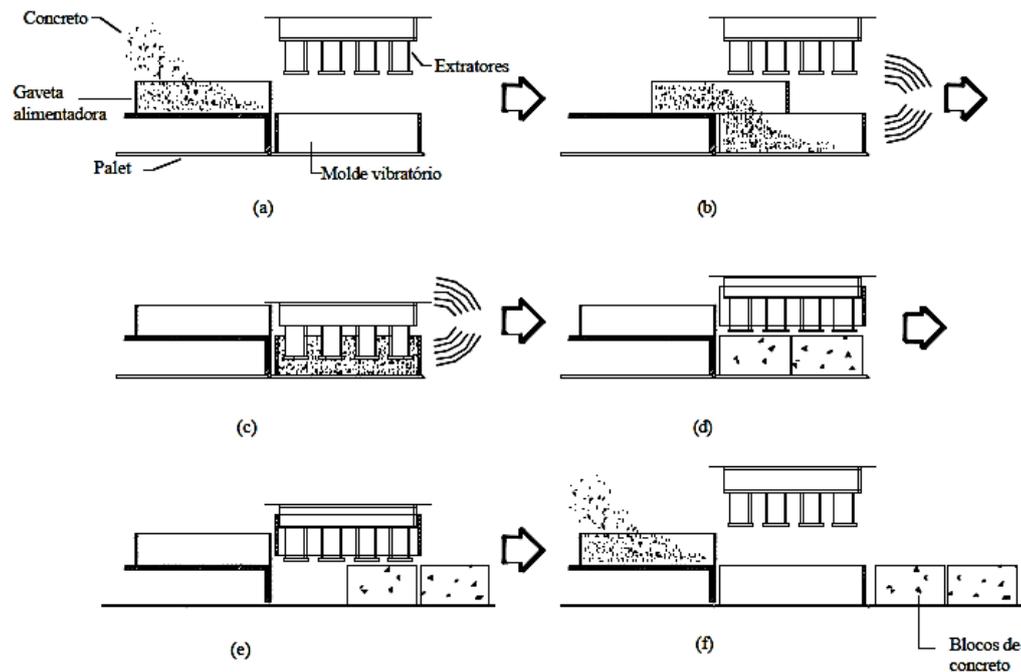


Figura 2.12 - Sequência básica de funcionamento de uma vibroprensa automática (SOUSA, 2001).

Atualmente existe no mercado uma grande diversidade de equipamentos (desde totalmente automatizados a manuais), com elevada produção e custos relativamente baixos. O processo de fabricação dos blocos hoje em dia é altamente automatizado, podendo uma máquina produzir até 2000 blocos por hora. Essa produção em série dos blocos contribui para a diminuição dos seus custos e melhoria da qualidade.

2.4.3 Requisitos dos blocos

Os requisitos necessários para a produção e aceitação de blocos vazados de concreto simples, destinados à execução de alvenaria com ou sem função estrutural são apresentados na norma ABNT NBR 6136:2014 blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos.

De acordo com essa norma, o lote de inspeção deve ser formado por um conjunto de blocos com as mesmas características, produzidos sob as mesmas condições e com os mesmos materiais, cabendo ao fabricante a indicação, no documento de entrega, das seguintes informações: data de fabricação e identificação do lote, resistência à compressão axial,

dimensões nominais e classe. Ressalta-se que o lote deve ser composto de no máximo um dia de produção, limitado a 40.000 blocos.

A referida norma diz que a idade de controle pode ser tomada de duas formas. A primeira consiste em a idade de controle ser a data da entrega dos carregamentos que compõem o lote, ou seja, o fabricante deve fornecer o componente com as características físico-mecânicas atendidas na data da entrega. O segundo método consiste em a idade de controle pode ser tomada após a data da entrega e ser no máximo de 28 dias, contados a partir da data de produção mais recente dos diversos carregamentos que compõem o lote. Ficando esta última sujeita a aceitação do consumidor.

Para a amostragem, deve-se verificar se os blocos estão em perfeita condição, não havendo nenhuma trinca, fratura e se possuem arestas vivas, de modo que possam prejudicar o seu assentamento ou afetar a resistência e a durabilidade.

Referente à amostragem, cabe ao comprador ou representante legal: identificar as amostras antes de serem remetidas a um laboratório para execução dos ensaios prescritos na ABNT NBR 6136:2014. A identificação de cada bloco não deve cobrir mais de 5% da área superficial do bloco. Deve-se definir também o tamanho da amostra, conforme a Tabela 2.4, onde as amostras devem ser encaminhadas para ensaios.

Tabela 2.4 - Tamanho da amostra (Adaptado de: ABNT NBR 6136:2014).

Tamanho da amostra					
Quantidade de blocos do lote	Quantidade de blocos da amostra		Quantidade mínima de blocos para ensaio dimensional e resistência à compressão axial		Quantidade de blocos para ensaios de absorção e área líquida
	Prova	Contraprova	Critério estabelecido ^a	Critério estabelecido ^b	
Até 5000	7 ou 9	7 ou 9	6	4	3
5 001 a 10000	8 ou 11	8 ou 11	8	5	3
Acima de 10000	9 ou 13	9 ou 13	10	6	3

^aValor não conhecido do desvio-padrão da fábrica

^bValor conhecido do desvio -padrão da fábrica

Para a aceitação e rejeição, o lote deve atender as seguintes condições simultaneamente: constatação visual, verificar as dimensões nominais de todos os blocos da amostra e as características físico-mecânicas atendem ao especificado no projeto. A Tabela 2.5 mostra os quesitos de aceitação e rejeição.

Tabela 2.5 - Avaliação da conformidade dos blocos em aceitação ou rejeição (Adaptado de: ABNT NBR 6136:2014)

Aceitação e rejeição		
Ensaio	Aceitação	Rejeição
Inspeção visual	$\leq 10\%^a$	$> 10\%$
Dimensional	Prova ou contraprova	Contraprova ^(b)
Compressão	Prova ou contraprova	Contraprova ^(b)
Absorção	Prova ou contraprova	Contraprova ^(b)

^aAcordo entre as partes para substituição de peças variadas

^b No caso de substituição integral em casos de blocos não aplicados e para casos de blocos aplicados na alvenaria deve ser cumprido o contrato entre as partes.

2.5 COMPÓSITOS

De acordo com Callister (2002), o compósito é “qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades”

Desta forma, os compósitos são materiais formados por, no mínimo, dois componentes ou fases: fase matriz, que pode ser cimentícia, cerâmica, polimérica ou metálica e fase dispersa, geralmente composta por fibras ou partículas que são empregadas para melhorar propriedades mecânicas, eletromagnéticas, físicas ou químicas do material como um todo. (PEREIRA, 2002). A interação química e/ou física entre as duas fases é necessária para que ocorra a transferência de esforços mecânicos da matriz para os reforços fibrosos (BRASKEM, 2002).

Dentre diversos trabalhos realizados na área de compósitos, pode-se destacar os que possuem a adição de fibras de papel kraft, oriundas da reciclagem de embalagens de cimento, cal e argamassa, sendo assim destacam-se alguns trabalhos regionais:

- Buson (2009) desenvolve um compósito denominado kraftterra, o qual consiste em uma análise do desempenho técnico de componentes de terra compactada (blocos de solo-cimento) com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical. Para esse estudo são utilizados diferentes traços e adição de fibra nos teores de 2%, 4% e 6%. Foram realizados ciclos de envelhecimento acelerado, ensaio de absorção de água, resistência à compressão simples e diagonal, retração e resistência ao fogo. Verificou-se no kraftterra um aumento dos índices de absorção de água e melhores resultados de resistência à compressão e resistência ao fogo. Os melhores resultados obtidos foram para o teor de 6% de adição de fibra kraft e entre os solos estudados o mais recomendado é o que apresenta 30% de argila. Em sua análise de resultados Buson (2009) afirma que o kraftterra pode ser utilizado como mais uma alternativa para a produção de componentes e elementos construtivos.

- O trabalho realizado por Carvalho et al. (2012), consiste em produzir argamassa de assentamento de alvenaria de vedação, com adição de fibras de celulose (embalagens de cimento e cal) no teor de 5% e 10% em relação a massa do aglomerante (cimento e cal) e um outro traço com 10% de fibra, também em relação à massa de aglomerantes, porém em substituição à mesma quantidade de areia. Foram verificados o desempenho da argamassa no estado fresco e endurecido e em prismas de alvenaria assentados com essa argamassa. Posteriormente verificou-se em obra a prática da proposta. A argamassa com teor de 10% de adição de fibra em substituição a areia foi a que obteve melhor desempenho, tendo estes resultados superiores a argamassa do mesmo traço, sem adição.

- CARVALHO et al. (2013) desenvolve um estudo da durabilidade de argamassas com fibras kraft. Para análise da durabilidade são confeccionados corpos de prova prismáticos, os quais são submetidos a ciclos de molhagem e secagem consecutivos, após essa etapa são realizados ensaios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão. Para o período estudado as argamassas não apresentaram prejuízos à durabilidade dos compósitos, e para o ensaio de resistência à tração na flexão a fibra foi benéfica, impedindo perdas significativas de desempenho, como ocorreu para a argamassa de referência, sem fibra. Os autores

destacam que devem ser realizados mais estudos com períodos de ataque prolongados, para verificação da durabilidade, pois ainda não pode afirmar que a fibra kraft não apresenta prejuízo à durabilidade do compósito.

- CARVALHO et al. (2014) realiza um trabalho de caracterização do papel kraft para emprego de suas fibras em compósitos cimentícios, desta forma são estudadas amostras de papel na sua forma original e como fibra. Para desenvolvimento da pesquisa são realizados ensaios de absorção de água, gramatura, grau de polimerização, resistência a tração, alongamento e microscopia eletrônica de varredura. Os resultados obtidos são satisfatórios e possibilitam a utilização das fibras em compósitos cimentícios, uma vez que apresentam valores menores de absorção de água e possuem relação de aspecto adequado (62,5), permitindo uma boa ancoragem e suportando as tensões de ruptura. Em relação a durabilidade, as fibras não foram afetadas pelas variações bruscas de temperatura e umidade, seu alto valor de grau de polimerização, acima de 850 e o baixo teor de lignina, indicam uma resistência ao meio alcalino.

Ressalta-se que além dos trabalhos anteriormente citados com reforço da fibra de papel kraft, é importante listar alguns trabalhos com empregos de outras fibras bem como de outros materiais como destinação adequada de resíduos sólidos, por exemplo:

- Avaliação de blocos de concreto produzido com pet reciclado (CÂNDIDO et al., 2014).
- Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural (IZQUIERDO, 2011).
- Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto (SOUSA, 2001).
- Desempenho termo energético de paredes de blocos de resíduos de construção e demolição (CALLEJAS et at., 2014).
- Desenvolvimento, caracterização mecânica e durabilidade de compósitos solo-cimento autoadensáveis reforçados com fibras de sisal (MARTNS, 2014).
- Revisão de uma pesquisa australiana sobre fibras naturais em compostos cimentícios (COUTTS, 2005).
- Efeitos do ciclo de molhagem/secagem na química e microestrutura das fibras celulósicas - compósitos cimentícios. (MOHR et al., 2006).

- Estudo das propriedades mecânicas de adobe com adição de fibras de vegetais de coco verde (FERREIRA, 2009).
- Fibras de polpa de eucalipto como alternativa para o reforço de compósitos cimentícios na engenharia (TONOLI et al., 2010).
- Folhas alinhadas de fibra de celulose kraft para o reforço de argamassas (MOHR et al., 2006).

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo apresenta-se a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho, onde são abordados os aspectos relacionados à obtenção dos materiais, os ensaios que foram realizados e os seus procedimentos.

A elaboração deste programa experimental adveio da necessidade de afirmar a possibilidade sobre a viabilidade técnica da adição de fibras de celulose provenientes de papel kraft, utilizada em embalagens de cimento, denominada neste trabalho de fibra kraft, na produção de blocos de concreto sem função estrutural (bloco de concreto Classe C). Esta é uma forma de destinação ambientalmente adequada para essas embalagens após a sua utilização, sendo estas consideradas neste trabalho como resíduo. Desta forma, foi fundamental a verificação quanto à interferência da adição de fibras kraft no processo de produção, como também, a sua resposta em relação ao comportamento físico-mecânico dos blocos de concreto sem função estrutural.

3.1 ASPECTOS GERAIS

Para conhecer melhor o mercado em que a pesquisa está inserida realizou-se um levantamento inicial, com o auxílio da Associação Brasileira de Cimento Portland regional Centro-Oeste (ABCP-CO). Determinando-se assim, o cenário produtor de blocos de concreto no Distrito Federal, que é composto por 13 empresas, das quais 03 são fabricantes credenciadas junto a ABCP, e denominadas nesse trabalho de Empresas ‘‘A’’, ‘‘B’’ e ‘‘C’’.

Desta forma, para a viabilização desse estudo obteve-se o apoio da Empresa ‘‘A’’, a qual forneceu os materiais (insumos) e se propôs a produzir os blocos de concreto com adição de fibras de celulose oriunda de papel kraft.

3.1.1 Etapas do programa experimental

O programa experimental constituiu-se de quatro etapas principais, conforme mostra o fluxograma apresentado na Figura 3.1 e descritas a seguir.

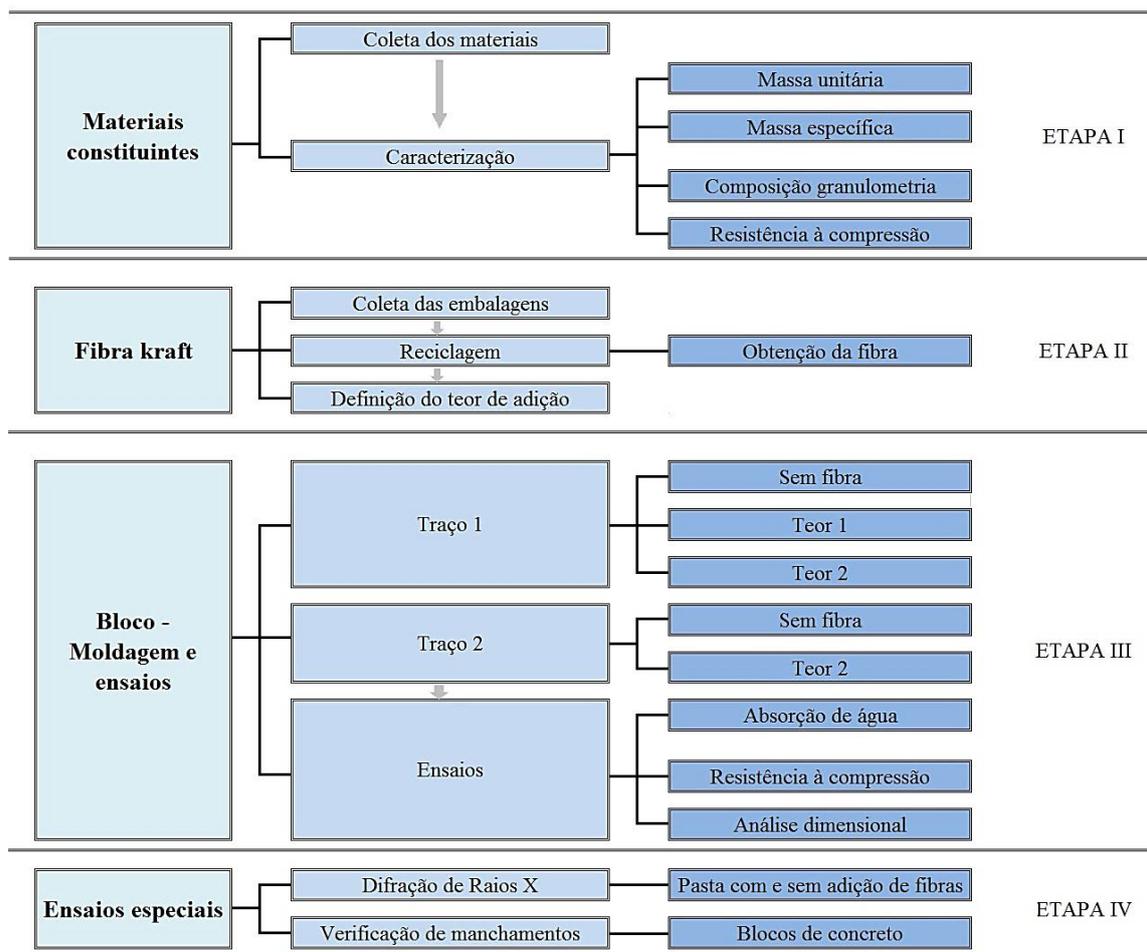


Figura 3.1 - Fluxograma das etapas do programa experimental.

Etapa I – Materiais constituintes

A primeira etapa do programa experimental consistiu em coletar e caracterizar os materiais fornecidos pelo fabricante (Empresa ‘A’), para a produção de blocos de concreto, os quais foram utilizados no desenvolvimento da pesquisa.

Etapa II – Fibra kraft

Nesta etapa, coletaram-se embalagens de cimento, as quais passaram por um processo denominado de reciclagem para a obtenção de fibras dispersas de papel kraft. Após a obtenção da fibra kraft foram definidos os teores de adição de fibras de acordo com as propriedades e características obtidas para esse material.

Etapa III – Bloco - Moldagem e ensaios

Na terceira etapa, foram moldados blocos de concreto sem fibra, utilizados como referência, e com teores de fibra kraft de 1,0% e 0,5% em massa de material seco. Posterior

a moldagem, foram realizados ensaios físico-mecânicos.

Etapa IV – Ensaios especiais

Nesta última etapa do programa experimental realizaram-se ensaios de difração de raios – X complementares para avaliação do comportamento da fibra kraft e ensaio para verificação da susceptibilidade de manchamento na superfície dos blocos.

3.2 ETAPA I: MATERIAIS CONSTITUINTES

Nesta pesquisa foram produzidos blocos de concreto sem função estrutural (bloco de concreto Classe C). Esses blocos são confeccionados a partir da mistura homogênea de cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo, água, aditivo e podendo conter a utilização de adições.

Os materiais utilizados nesse estudo foram coletados no pátio de estocagem da empresa produtora no momento da produção dos blocos, e conforme levantamento inicial realizado, são de uso comum para a produção de blocos na região do Distrito Federal.

Os ensaios de caracterização dos materiais componentes (insumos) foram realizados na Universidade de Brasília no Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM/UnB), conforme descritos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Ensaios de caracterização realizados para os materiais constituintes, com as suas respectivas normas.

Caracterização dos materiais componentes		
Ensaios	Materiais ensaiados	Norma
Massa específica	Areia rosa, areia mix, pó de brita e pedrisco	ABNT NBR 9776:1988
Massa unitária	Areia rosa, areia mix, pó de brita e pedrisco	AMN NBR NM 45:2006
Composição granulométrica	Areia rosa, areia mix, pó de brita e pedrisco	AMN NBR NM 248:2003
Resistência à compressão	Cimento Portland	ABNT NBR 7215:1997

3.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland utilizado na produção dos blocos foi o CP V - ARI RS fabricado pela CIPLAN. Este consiste em um cimento de alta resistência inicial e resistente a sulfatos, indicado para situações em que se necessita de desforma rápida. Ressalta-se que esse cimento Portland é largamente empregado na produção de pré-fabricados de concreto em geral.

Para a caracterização do cimento Portland realizou-se o ensaio de resistência à compressão conforme a ABNT NBR 7215:1997.

3.2.2 Agregados

Para a produção dos blocos de concreto foram utilizados como agregados a areia rosa, areia mix (composição de areia rosa com pó de brita ou com areia natural), pó de brita e o pedrisco, sendo estas as denominações comerciais para os materiais utilizados na produção. Os agregados podem ser vistos na Figura 3.2.



Figura 3.2 - Agregados utilizados para o desenvolvimento do trabalho: Areia rosa (a); Areia mix (b); Pó de brita (c) e Pedrisco (d).

Para a caracterização dos agregados foram realizados ensaios conforme descrito abaixo:

- A massa específica: Foi realizada segundo as recomendações da ABNT NBR 9776:1988 para os agregados.
- Massa unitária: A massa unitária dos agregados foi determinada segundo o método C, a qual considera o material no estado solto, pela AMN NBR NM 45:2006.
- A composição granulométrica dos agregados foi realizada de acordo com a AMN NBR NM 248:2003. A partir deste ensaio foi possível definir o diâmetro máximo e o módulo de finura dos materiais.

3.2.3 Aditivo

Na fabricação dos blocos de concreto utilizou-se o aditivo plastificante produzido pela empresa Rheoset, chamado de Rheocast, sendo conhecido também como redutor de água. Este aditivo é comumente utilizado pelas empresas produtoras de artefatos pré-fabricados de concreto seco, como por exemplo, o bloco de concreto.

Foi utilizado esse aditivo com a finalidade de adequar a trabalhabilidade do concreto para o processo de produção dos blocos. A quantidade de aditivo para a produção dos blocos com fibras foi a mesma utilizada na fabricação dos blocos sem fibra. Para tanto, utilizou-se o mesmo teor empregado pela empresa produtora dos blocos, não alterando o traço ou processo.

3.2.4 Água

A água utilizada na produção dos blocos de concreto dessa pesquisa, assim como na maioria das empresas produtoras de blocos do Distrito Federal, foi fornecida pela empresa de abastecimento público, CAESB, proveniente da rede pública de abastecimento. Foram utilizadas as informações constantes nas contas de água (Figura 3.3) e avaliado o atendimento para uso de acordo com os requisitos constantes na ABNT NBR 15900-1:2009.

QUALIDADE DA ÁGUA DISTRIBUÍDA	PARÂMETROS	TURBIDEZ	COR	COLORO	FLÚOR	COLIF. TOTAIS	Escherichia coli NMP/100ml
	Nº AMOSTRAS	511	121	511	0	511	511
MÍNIMO EXIGIDO	585	364	585	0	575	575	
REALIZADAS	584	364	578	0	567	575	
QUE ATENDERAM A LEGISLAÇÃO	amostras atenderam						
CONCLUSÃO	amostras atenderam						

INFORMAÇÕES SOBRE QUALIDADE DA ÁGUA NO VERSO

“Brasília - Patrimônio Cultural da Humanidade”

caesb COMPROVANTE 13/11/15 12:32:08 AUTENTICAÇÃO NO VERSO

Figura 3.3 - Dados referentes a qualidade da água distribuída, informados pela CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal.

3.3 ETAPA II: FIBRA KRAFT

A fibra kraft utilizada para a produção de bloco de concreto é proveniente do processo denominado de reciclagem, através da obtenção de fibras kraft, pelo processo de dispersão desse papel kraft das embalagens utilizadas para ensacar cimento. Neste item abordou-se o processo de reciclagem das embalagens de cimento Portland, para a obtenção das fibras e a determinação do teor de fibras a ser utilizado na moldagem dos blocos de concreto. Na Figura 3.4 apresenta-se um fluxograma referente as etapas de reciclagem.

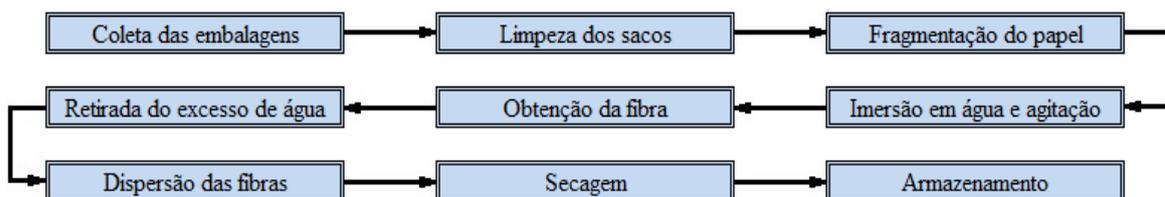


Figura 3.4 - Fluxograma das etapas do processo de reciclagem das embalagens de cimento Portland.

3.3.1 Processo de obtenção da fibra

Para a realização desta etapa, fez-se necessário primeiramente obter os sacos de cimento. A embalagem referente a um saco de cimento Portland de 50 Kg gera aproximadamente 150 g de fibras dispersas. As embalagens são de papel kraft e multifoliada, as quais contém duas folhas, podendo ter gramatura de 80 a 90 g/m².

As embalagens foram coletadas no canteiro de obra de uma empresa em Brasília, que aceitou colaborar com a pesquisa. Esta juntou e armazenou os sacos referentes a uma semana de trabalho para a sua posterior coleta, Figura 3.5.



Figura 3.5- Armazenamento dos sacos de papel kraft utilizados como embalagens após sua utilização no canteiro de obra uma empresa em Brasília-DF.

O processo de reciclagem das embalagens de cimento Portland, para a obtenção de fibras kraft foi realizado no Laboratório de Construção, LABCON, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, UnB. A realização da reciclagem das embalagens baseou-se nos procedimentos descritos por Buson (2009) e com algumas adaptações em função da experiência adquirida no decorrer do processo.

Buson (2009) utilizou em sua pesquisa embalagens que foram rejeitados devido a defeitos identificados antes da operação de envasamento na indústria de cimento Portland. Na presente pesquisa foram utilizadas embalagens descartadas no canteiro de obra, as quais possuem restos de cimento principalmente entre as dobras de fechamento. Este foi o diferencial no processo de aquisição da fibra de celulose, o qual é descrito a seguir.

A primeira etapa do processo consistiu na limpeza das embalagens, tendo em vista que os sacos coletados na obra foram descartados ainda com uma quantidade de cimento no fundo da embalagem, principalmente entre as dobras de fechamento. Essa limpeza foi necessária, uma vez que as embalagens podem ter sido expostas a umidade excessiva ou em contato com a água, o que acaba proporcionando a hidratação do cimento Portland e estes produtos hidratados podem danificar os equipamentos utilizados, Figura 3.6.



Figura 3.6 - Resíduo sólido de cimento hidratado encontrado nas embalagens, durante o processo de reciclagem dos sacos.

O cimento Portland ainda presente nas embalagens foi coletado durante o processo de limpeza e foi calculada a porcentagem de cimento não aproveitado na obra. Pôde-se observar que os sacos de cimento continham aproximadamente 1,0% do total de cimento da embalagem. Este levantamento mostrou a falta de cuidado no manuseio e o seu conseqüente desperdício.

O processo de limpeza dos sacos iniciou-se com a sua abertura para uma primeira remoção do cimento presente no fundo e nas dobras do saco, conforme apresentado na Figura 3.7.



(a)



(b)

Figura 3.7 - Abertura das embalagens de cimento Portland (a). Processo de limpeza para posterior armazenamento (b).

As embalagens de cimento foram armazenadas no LEM/UnB para que estas ficassem em local protegido de intempéries até a data de obtenção das fibras kraft, Figura 3.8.



Figura 3.8 - Embalagens armazenadas em ambiente protegido, LEM/UnB.

Durante o processo de limpeza dos sacos no LABCON/UnB, observou-se que por ser um ambiente fechado, este estava ficando com bastante cimento Portland no ar. Sendo assim, passou-se a aproveitar a água utilizada para dispersão das fibras, quando está já estava bastante utilizada, para a limpeza dos sacos a serem reciclados, Figura 3.9.



(a)



(b)

Figura 3.9 - Água proveniente da reciclagem das embalagens (a); Limpeza das embalagens (b).

Após o procedimento de limpeza, seguiu-se com a transformação dos sacos de cimento em polpa de celulose. Esta etapa consistiu na dispersão das fibras do papel kraft natural multifoliado e isto ocorreu com a imersão dos sacos de cimento em água e posterior agitação até a total separação da fibra do papel. Para a dispersão da fibra não foi necessário o aquecimento da água ou adição de qualquer produto químico.

Esta etapa contou com os seguintes procedimentos: fragmentação do papel em pedaços menores, para facilitar o processo de obtenção da polpa de celulose; colocação desse papel em um tonel com aproximadamente 30 litros de água, para que não fosse jogada durante a agitação, imergiu-se um misturador/agitador, para a obtenção da polpa de celulose, Figura 3.10 a Figura 3.12.



Figura 3.10 - Embalagens de papel kraft fragmentadas em pedaços menores para evitar que enroscuem no misturador durante o processo de obtenção da polpa de celulose.



Figura 3.11 - Tonel com aproximadamente 30 litros de água para receber o papel kraft e realizar a dispersão das fibras (a); Mistura da água com o papel kraft, através do agitador mecânico para obtenção da polpa de celulose (b).

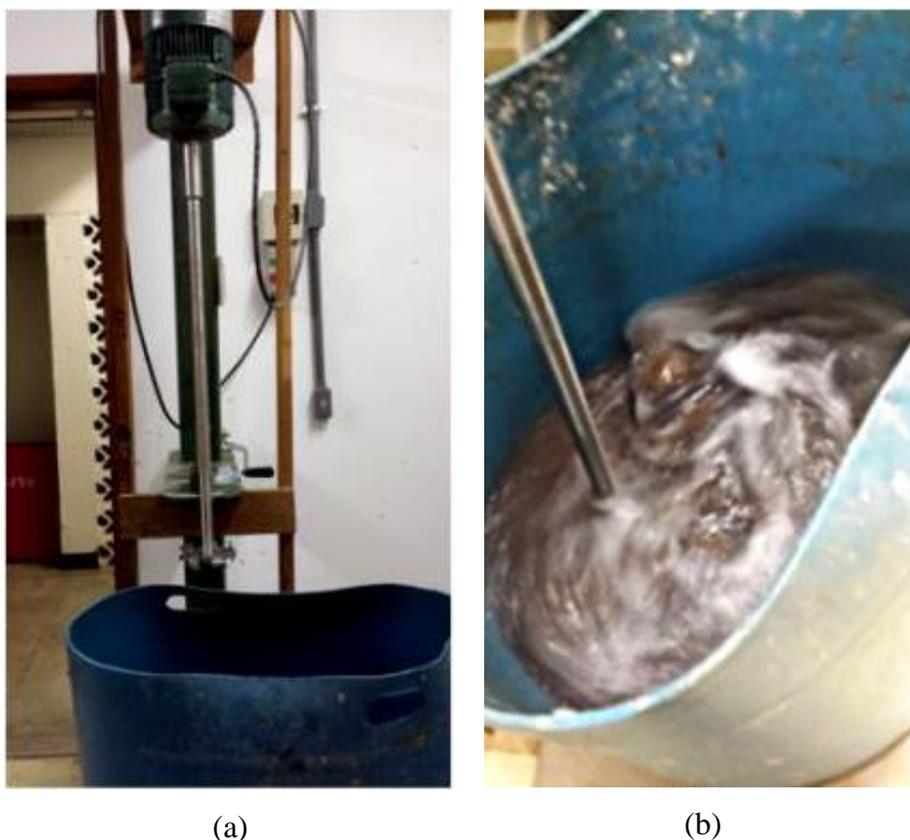


Figura 3.12 - Misturador utilizado para a dispersão das fibras do papel kraft (a); Detalhe do processo de mistura do papel kraft com a água para a dispersão das fibras (b).

O processo de obtenção da polpa de celulose consome muita água, de forma que são necessários aproximadamente 3 litros de água para cada saco de cimento ou 150 gramas de papel kraft. Levando em consideração o grande consumo de água e questões ambientais, recomenda-se a reutilização desta o maior número de vezes possível.

Na Figura 3.13 ilustra-se o modelo de misturador/agitador e da hélice utilizada no processo de agitação para transformação das embalagens em polpa de celulose. Esse misturador/agitador não possui lâminas, logo não corta o papel. A transformação em polpa de celulose leva em média 30 minutos e ocorre apenas pelo processo de agitação.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.13 - Imersão dos sacos de cimento no tonel com água (a); Processo de agitação desses sacos para dispersão das fibras (b); Obtenção da polpa de celulose (c); Detalhe da polpa de celulose obtida após o processo de reciclagem das embalagens (d).

Após a transformação dos sacos de cimento em polpa de celulose procedeu-se a retirada do excesso de água. Este excesso foi retirado inicialmente com uma peneira, coando o material. Posteriormente, a polpa de celulose ainda com excesso de água foi colocada dentro de um tecido ou bobina geotêxtil, onde fez-se a torção manual para retirada do excesso de água da polpa. O tecido ou bobina geotêxtil é um material de baixo custo (Figura 3.14).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.14 - Retirada do excesso de água da polpa de celulose com o auxílio de uma peneira (a); Colocação da polpa em um tecido ou bobina geotêxtil (b); Torção da polpa para retirada do excesso de água (c); Polpa de celulose após retirado o excesso de água (d).

Posterior à retirada do excesso de água da polpa fez-se necessário a dispersão das fibras de papel kraft, pois estas ficam bastante aglomeradas após a torção. Este procedimento facilita a incorporação da fibra ao bloco de concreto e assim obtém-se uma mistura mais homogênea, Figura 3.15.



Figura 3.15 - Fibras aglomeradas após o processo de retirada do excesso de água.

Para a dispersão da polpa foi utilizado um triturador de resíduos sólidos, o que proporcionou uma excelente dispersão das fibras. Este triturador é de 1,5 Hp monofásico, e bastante utilizado para triturar pequenos galhos e folhas em serviços de jardinagem, Figura 3.16



Figura 3.16 - Triturador de folhas utilizado em serviços de jardinagem (a); Triturador sendo utilizado para dispersar as fibras de papel kraft (b).

A polpa de celulose foi triturada até as fibras ficarem soltas e serem facilmente visualizadas. Quanto mais eficiente for a retirada da água em excesso da polpa de celulose mais fácil será o processo de dispersão das fibras, Figura 3.17.



Figura 3.17 - Fibras dispersas após passarem pelo triturador.

Decorrido o processo de dispersão das fibras, estas foram colocadas sob uma lona, para secarem e foram armazenadas para posterior utilização. Neste procedimento a fibra levou três dias para ficar completamente seca. Em função da demora neste processo de secagem a fibra foi colocada na estufa, mas este procedimento prejudicou a qualidade da mesma, sendo esta descartada. Desta forma, a fibra foi espalhada sob a lona e foram colocados ventiladores no laboratório para auxiliar no processo de secagem da mesma, Figura 3.18.



Figura 3.18 - Fibras dispersas espalhadas em uma lona para a secagem, com auxílio de ventilador, para posterior armazenagem.

Após a obtenção e secagem das fibras, estas foram armazenadas, para a sua utilização no estudo do teor de fibra e para a produção dos blocos de concreto. Na Figura 3.19 tem-se o aspecto dessa fibra após o procedimento e secagem.



Figura 3.19 - Aspecto macroscópico da fibra seca utilizada na produção dos blocos de concreto sem função estrutural.

3.3.2 Determinação do teor de fibra para a produção de blocos

Na tentativa de produzir um bloco de concreto com as propriedades semelhantes ao que se encontra no mercado, optou-se por trabalhar com um traço de concreto utilizado na linha de produção de uma empresa do ramo. Desta forma a Empresa ‘A’, a qual irá produzir os blocos de concreto para essa pesquisa forneceu o seu traço para que fosse feita a determinação do teor de adição máximo a ser utilizado na produção dos blocos de concreto.

Após a definição do traço de concreto foram realizados os ajustes do teor de fibras. Vale ressaltar que todos os insumos para determinação do teor de fibra e para ensaios referentes a essa pesquisa são utilizados na linha de produção da Empresa ‘A’, estes foram coletados diretamente na empresa produtora dos blocos de concreto.

O teor de fibra foi definido em um estudo realizado por Santana (2015), desenvolvido no Laboratório de Ensaio de Materiais - LEM/UnB. Este estudo utilizou a resistência à compressão axial em corpos de prova cilíndricos nas dimensões 10 x 20 cm como parâmetro

para a determinação do teor de fibras kraft utilizadas em concretos para a produção de blocos sem função estrutural.

Em sua pesquisa Santana (2015) realiza um estudo do teor de adição de fibras de papel kraft

A metodologia utilizada para o adensamento dos corpos de prova inicialmente foi pelo processo de adensamento por vibração, adaptado de Sousa (2011), pois este utilizou um peso para auxiliar na compactação. Este método demonstrou-se ineficiente para a metodologia aplicada. Através desse processo foram obtidos baixos valores de resistência à compressão e os corpos de prova gerados por esse processo de adensamento apresentaram falhas, com aspecto frágil e quebradiço, o qual demonstrou falha no processo de adensamento (Figura 3.20 (a)). Constatando-se, portanto, a inviabilidade dessa metodologia adotou-se, então, o adensamento por compactação com soquete de 4,5 Kg, onde são compactados corpos de prova em 05 camadas de 12 golpes cada, conforme a compactação de solos ABNT NBR 7182:1988, apresentando assim melhores resultados. Esse processo levou à produção de corpos de prova homogêneos, uniformes e sem falhas de compactação (Figura 3.20 (b)).



(a)



(b)

Figura 3.20 - Corpos de prova compactados com auxílio de mesa vibratória (a). Corpos de prova compactados com soquete utilizado para compactar solos (b).

Nesse estudo Santana (2015) rodou o traço disponibilizado pela Empresa ‘A’ (traço este utilizado na produção dos blocos), variando a quantidade de fibras adicionadas em relação à massa de material seco do traço, em teores com incrementos de 1,0%, até a incorporação de 5,0% de adição de fibra. Os teores de adição de fibras utilizados não apresentaram qualquer dificuldade de homogeneização desse concreto durante o processo de preparo deste; não houve formação de grumos. Desta forma tem-se que o incremento dessa adição pode ser

realizado na Empresa “A”, sem que haja mudanças no processo de mistura já existente na sua produção, uma vez que Santana (2015) obteve uma mistura homogênea na produção desse concreto (Figura 3.21).



Figura 3.21 - Concreto produzido por Santana (2015) no LEM/UnB com teor de adição de fibras 4%, onde nota-se uma mistura homogênea e sem a formação de grumos.

A partir da análise dos resultados obtidos definiu-se o teor de fibra a ser utilizado na produção dos blocos, este teor será de 1,0% em massa de material seco do traço, pois foi o que obteve melhor resultado em relação aos demais teores investigados.

3.4 ETAPA III: BLOCOS – MOLDAGEM E ENSAIOS

Neste trabalho foram utilizados blocos de concreto, os quais são classificados segundo a ABNT NBR 6136:2014 como Classe C (vedação), sem função estrutural, os quais possuem as dimensões nominais de 9 cm x 19 cm x 39 cm (largura, altura e comprimento).

A moldagem de todos os blocos deste estudo foi feita em uma única empresa produtora de blocos de concreto, definida nessa pesquisa como Empresa “A”, localizada no Distrito Federal, utilizando-se uma vibroprensa da marca Vibroprex, conforme Figura 3.22.



Figura 3.22 - Vibroprensa utilizada na moldagem dos blocos de concreto.

Para a realização desse estudo foram utilizados dois traços para moldagem dos blocos de concreto, e dois teores de fibra, sendo o primeiro teor de 1,0% (teor 1), e o segundo teor de 0,5% (teor 2), adotado para fins de avaliação e comparação com o primeiro teor adotado, conforme pode ser visto na Figura 3.23.

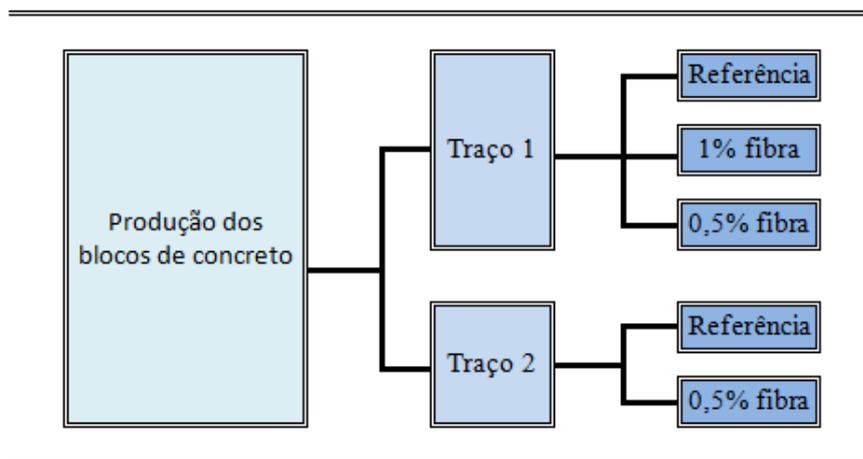


Figura 3.23 - Traços e teores de fibra utilizados na produção dos blocos de concreto.

Ressalta-se que a adoção de dois traços distintos adveio de estudos da empresa responsável pela moldagem dos blocos, a qual no início desta pesquisa utilizava um determinado traço e depois desenvolveu e adotou um novo traço durante o decorrer dessa pesquisa.

O Traço 1 é composto por: cimento, areia rosa, pó de brita, pedrisco, água e aditivo. O Traço 2 possui os mesmos insumos do Traço 1 com o acréscimo da “areia mix” (composição de areia rosa com pó de brita ou com areia natural) para a composição do novo traço (Traço 2).

O Traço 1 utilizado possui um teor de argamassa de 61% e no Traço 2 esse teor é de 91%. Esses dois traços utilizados possuem uma relação a/c igual a 1. Nesta pesquisa o traço não foi mostrado devido a exigência da Empresa “A” produtora dos blocos.

As etapas do processo de produção dos blocos de concreto englobam desde o proporcionamento dos materiais até a cura dos blocos. Ressalta-se que para a produção dos blocos de concreto com fibras não ocorre modificações no traço ou alterações no processo de produção adotado pela empresa, ocorre apenas a adição das fibras kraft durante a fase de mistura dos insumos. Desta forma tem-se as seguintes etapas de produção dos blocos Figura 3.24.

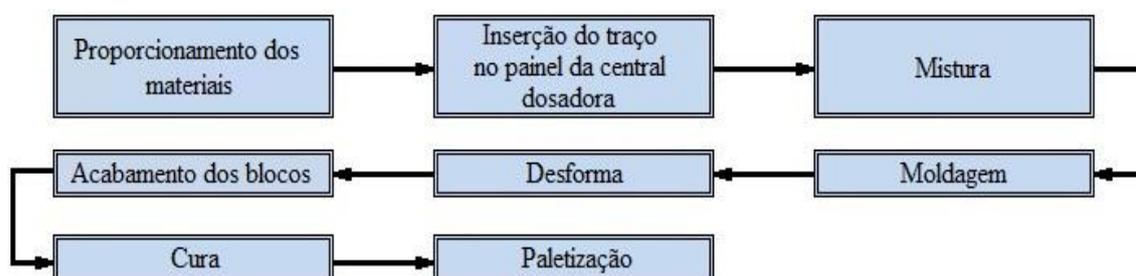


Figura 3.24 - Fluxograma das etapas da produção dos blocos de concreto.

3.4.1 Proporcionamento dos materiais constituintes:

Nesta etapa executou-se a dosagem de cada material constituinte sólido que estavam acondicionados em silos graneleiros (Figura 3.25). A programação da central produtora informatizada foi feita através de um painel digital, onde foram inseridos os dados relativos a cada um dos materiais componentes do traço.



Figura 3.25 - Silos graneleiros utilizados para efetuar a dosagem dos materiais constituintes do traço.

3.4.2 Mistura:

Após a saída dos insumos dos silos graneleiros, estes foram encaminhados por esteiras, até o misturador orbital, onde ocorreu o processo de homogeneização dos materiais constituintes dos blocos Figura 3.26. Durante esse processo de mistura a água é liberada aos poucos.



(a)



(b)

Figura 3.26 - Esteira para transporte dos materiais componentes sólidos ligando a saída localizada na parte inferior dos silos graneleiro até uma segunda esteira, que leva os materiais para descarga na cuba do misturador (a); Misturador orbital durante o processo de homogeneização dos materiais (b).

Nessa etapa de mistura notou-se que o tempo de mistura foi suficiente para ter a dispersão das fibras, não sendo percebido a formação de grumos ou a presença de fibras presas as aletas do misturador (Figura 3.27).



Figura 3.27 - Traço 1 com adição de 1% de fibra onde nota-se uma mistura homogênea e sem a formação de grumos.

Para os blocos com adição de fibras kraft, depois de uma prévia homogeneização dos materiais durante 2 minutos, inseriu-se as fibras de papel kraft, conforme mostra a Figura 3.28 (a) e a água foi adicionada à mistura Figura 3.28 (b).

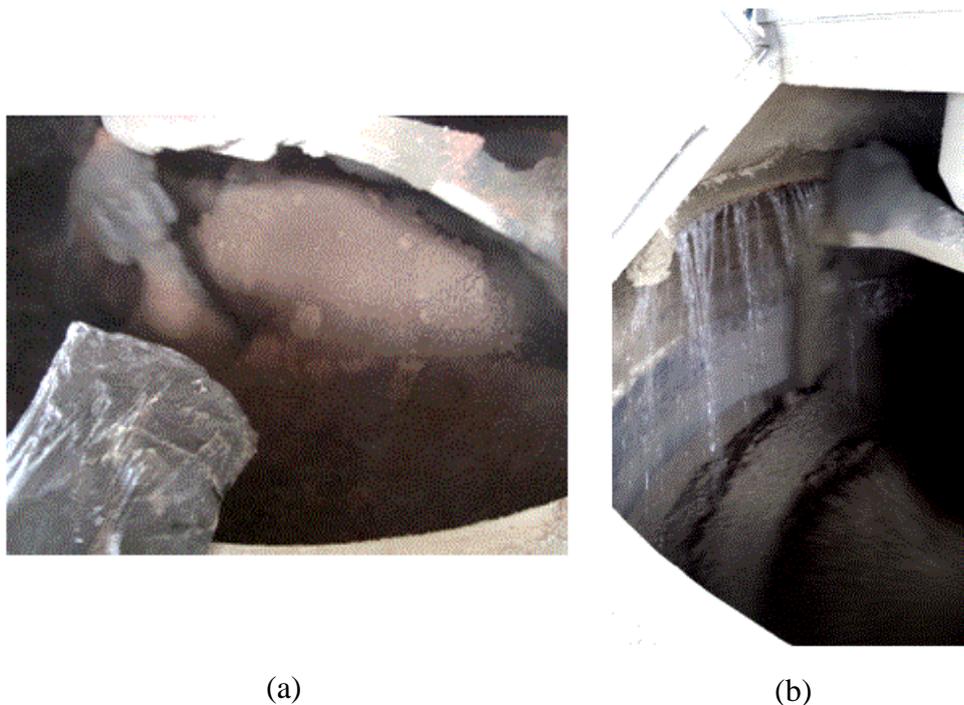


Figura 3.28 - Adição das fibras kraft durante o processo de mistura do traço para a confecção dos blocos (a); Liberação da água na mistura (b).

3.4.3 Moldagem:

Após o processo de mistura, o concreto foi levado por esteira até a vibroprensa para que fossem moldados os blocos de concreto. Na vibroprensa ocorreu o preenchimento da gaveta, a qual destinou-se à moldagem dos blocos. Na sequência preencheu-se o molde metálico, sendo esta acompanhada de uma vibração. Posteriormente ocorreu a compactação dos blocos através de extratores, sendo esta fase acompanhada de nova vibração do molde, essa vibração foi finalizada quando a altura desejada para os blocos foi alcançada, Figura 3.29.



(a)

(b)

Figura 3.29 - Esteira de transporte do concreto até a vibroprensa (a); Vibroprensa utilizada, onde pode-se ver o extrator e o molde vibratório utilizados para a produção dos blocos de concreto (b).

3.4.4 Desforma dos blocos:

Posteriormente à moldagem, os blocos foram desformados, sendo que nesta etapa o molde ascende e os extratores permanecem imóveis sobre o palet onde foram moldados (Figura 3.30). O palet com os blocos recém-produzidos saem do molde, sendo este substituído por um novo palet, para que se reinicie o ciclo de produção. Esta etapa pode ser vista na Figura 3.31.



(a)

(b)

Figura 3.30 - Molde e extratores posicionados para produção dos blocos (a); Ascensão do molde e extrator imóvel, para desforma dos blocos (b).



Figura 3.31 - Imagem onde pode ser visto o fim do processo de desforma dos blocos de concreto para dar início a um novo ciclo de produção.

3.4.5 Acabamento:

Como última etapa da produção dos blocos, estes ao saírem do molde passaram por um rolo, o qual retirou o excesso de material (rebarbas), dando o acabamento final da superfície superior dos blocos, Figura 3.32.



Figura 3.32 - Processo de acabamento final dos blocos com uso de rolo para retirada do excesso de material e regularização da sua superfície superior.

Nessa etapa de acabamento da superfície bloco não se detectou nenhuma interferência das fibras, não ficando está visível, dando a aparência de um bloco ‘’peludo’’.

3.4.6 Cura:

Logo após os blocos serem produzidos, estes foram paletizados e levados para a câmara úmida, a qual possui ventiladores e aspersores de água. Os blocos foram curados por um período de 24 horas e posteriormente permaneceram em paletes, envoltos com plástico filme, Figura 3.33 e Figura 3.34.



(a)



(b)

Figura 3.33 - Paletização dos blocos recém-fabricados (a); Processo de cura dos blocos em câmara úmida (b).



Figura 3.34 - Estocagem dos blocos de concreto protegidos com plástico.

Os blocos de concreto referente a essa pesquisa ficaram na câmara úmida da empresa por 24 horas e posteriormente foram coletados e levados para o Laboratório do SENAI e do LEM/UnB, onde estes permaneceram na câmara úmida até a preparação para os ensaios (Figura 3.35).



Figura 3.35 - Continuação do processo de cura dos blocos empregados na pesquisa em câmara úmida no LEM/UnB.

3.4.7 Ensaios de caracterização dos blocos

Os ensaios de caracterização dos blocos de concreto foram realizados no Laboratório de Ensaio de Materiais – LEM/UnB. Apenas o ensaio de resistência à compressão dos blocos

de concreto foi realizado simultaneamente no LEM/UnB e no Laboratório do SENAI-DF.

Foram verificadas as propriedades físico-mecânicas dos blocos de referência (sem adição fibra kraft) e dos blocos com adição de fibra através dos ensaios de resistência à compressão, análise dimensional e absorção de água, de acordo com a ABNT NBR 12118:2014.

Os ensaios foram realizados no Laboratório do SENAI-DF, pois este faz o controle dos blocos certificados pela ABCP, sendo importante para avaliar se os blocos com adição de fibra estão dentro da amostragem dos blocos ensaiados pelo SENAI.

3.4.8 Análise dimensional

O ensaio de análise dimensional consistiu na verificação das dimensões do bloco como: largura, comprimento, altura, espessura das paredes e dimensões dos furos. Este ensaio foi realizado conforme descrito na ABNT NBR 12118:2014 (Figura 3.36).

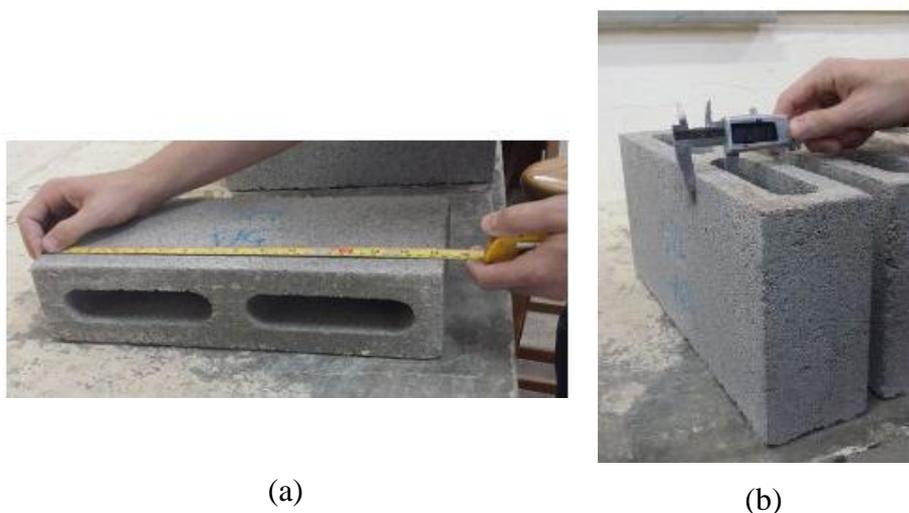


Figura 3.36 - Realização do ensaio de análise dimensional dos blocos de concreto com auxílio da trena metálica (a) e do paquímetro (b).

Para a aferição das dimensões reais dos blocos e realização do ensaio utilizou-se paquímetro de marca DIGIMESS com precisão de 0,01mm/.0005" e trena metálica com precisão de milímetros da marca Starrett, conforme mostrado na Figura 3.37.



Figura 3.37 - Paquímetro e trena utilizados no ensaio de análise dimensional, para aferição das dimensões reais do bloco.

Para elaboração da planilha de resultados considerou-se a média para os valores de comprimento, altura, largura e para a espessura da parede transversal do bloco. Para as paredes longitudinais necessitou-se calcular a espessura equivalente (mm/m), essa é obtida conforme ABNT NBR 12118:2014 e de acordo com a equação (3.1), onde fez-se a soma de todas as espessuras transversais, dividida pelo comprimento nominal.

$$e_{eq} = \frac{\sum e_{ti}}{l_{real}} \quad (3.1)$$

Onde e_{eq} é a espessura equivalente mínima, expressa em milímetros por metro (mm/m), e_{ti} são as espessuras das paredes transversais do bloco, expressas em milímetros (mm) e l_{real} é o comprimento real do bloco, expresso em metros (m).

3.4.9 Determinação da resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão dos blocos de concreto foi realizada de acordo com a norma, ABNT NBR 12118:2014. Conforme essa norma a resistência à compressão é definida como sendo a relação entre a carga de ruptura e a área bruta do bloco quando submetido ao ensaio de compressão axial.

O ensaio de resistência à compressão dos blocos de concreto, (com e sem adição de fibra kraft) foram realizados nas idades de 14 e 28 dias. De acordo com a ABNT NBR 6136:2014 a amostra a ser ensaiada deve ser composta por seis blocos.

No laboratório da UnB (LEM/UnB) utilizou-se a prensa de marca DENISON, com capacidade máxima de carga de 200 toneladas, conforme mostrada na Figura 3.38.



Figura 3.38 - Prensa da marca DENISON do Laboratório de Ensaio de Materiais LEM/UnB, utilizada para o ensaio de resistência à compressão dos blocos de concreto.

No laboratório do SENAI utilizou-se a prensa EMIC para o ensaio de resistência à compressão, a qual possui capacidade máxima de carga de 300 toneladas (Figura 3.39).



Figura 3.39 - Prensa da marca EMIC utilizada pelo laboratório do SENAI para a realização do ensaio de resistência à compressão dos blocos de concreto.

A primeira etapa para a realização do ensaio consistiu no capeamento para regularização das faces superior e inferior dos blocos, com uma pasta de cimento, não sendo esta camada

superior a 3 mm. Todas as amostras permaneceram na câmara úmida até dois dias antes da data de ruptura, quando foram retirados para serem regularizados (Figura 3.40).



Figura 3.40 - Blocos utilizados no ensaio para determinação da resistência à compressão, com as faces regularizadas com pasta de cimento Portland.

A norma ABNT NBR 12118:2014 recomenda que todos os corpos de prova devam ser ensaiados de modo que a carga seja aplicada na direção do esforço que o bloco deve suportar durante o seu emprego, devendo o bloco ser posicionado com a parede de maior espessura na parte superior (Figura 3.41). O bloco deve ser colocado na prensa de modo que o seu centro de gravidade coincida com o eixo de carga dos pratos da prensa.



Figura 3.41 - Bloco posicionado na prensa para o ensaio de resistência à compressão.

De acordo com as idades estabelecidas foram rompidos os blocos e anotados os valores da carga obtida no ensaio de resistência à compressão, para posterior análise dos resultados referentes a cada traço e para cada teor estudado.

3.4.10 Absorção de água

O processo de ensaio para a determinação da absorção de água baseou-se na ABNT NBR 12118:2014, que define a absorção de água como sendo a relação entre a massa de água contida no bloco saturado e a massa do bloco seco em estufa até sua constância de massa, expressa em porcentagem.

A primeira etapa do ensaio consistiu em identificar e pesar os blocos, obtendo assim a massa M_3 . Após esta etapa, os blocos foram levados para a estufa com temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ para o processo de secagem, por um período de 24 horas, quando estes foram retirados da estufa para aferição de sua massa, em uma balança da marca TOLEDO, com precisão de 0,01 Kg e capacidade máxima de 60 kg (Figura 3.42). Observando-se que os blocos não devem permanecer por mais de 10 minutos fora da estufa durante esse procedimento. Decorridas as 24 horas e a pesagem, os blocos foram levados novamente para a estufa, sendo posteriormente retirados e pesados a cada 2 horas, até que em duas determinações sucessivas não se registre para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5% em relação ao valor anterior, anotando-se então a sua massa seca M_1

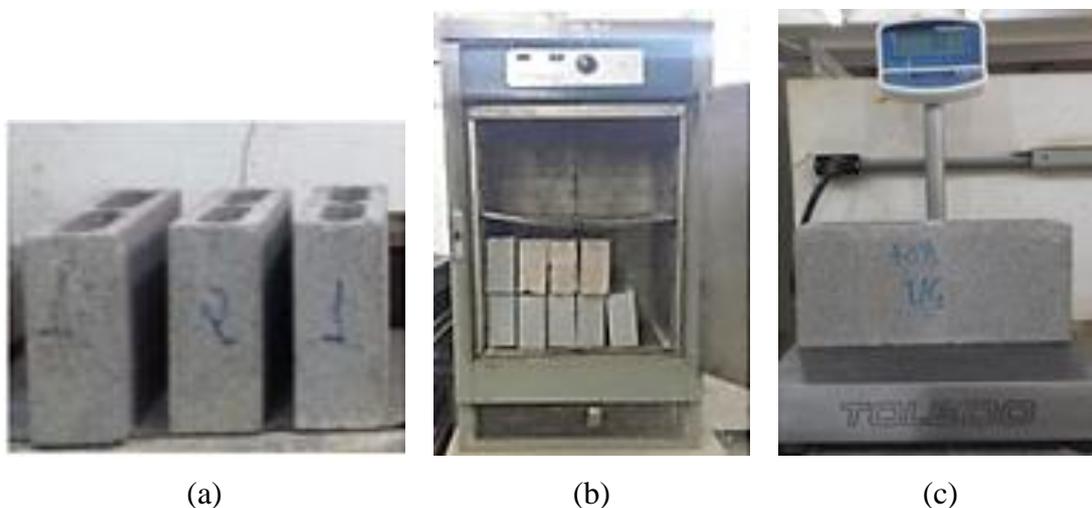


Figura 3.42 - Identificação dos blocos (a). Blocos colocados na estufa para o processo de secagem (b). Pesagem do bloco (c).

Posteriormente ao processo de secagem dos blocos, realizou-se a etapa de saturação. Os blocos foram resfriados naturalmente, em contato com o ar, até atingir temperatura ambiente, para assim imergi-los totalmente em água à temperatura de $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$, por um período de 24 horas. Após esse período, os blocos foram pesados na condição de saturado com a

superfície seca, onde retirou-se o excesso de água dos blocos com um pano (Figura 3.43). A massa saturada M_2 foi então anotada.

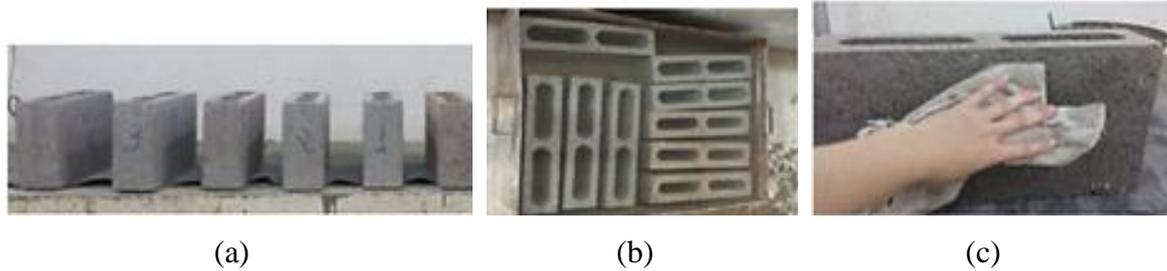


Figura 3.43 - Blocos expostos em uma bancada para o processo de resfriamento ao ar livre após serem retirados da estufa (a); Imersão dos blocos em água para a etapa de saturação (b); Secagem com pano úmido para a condição de saturado com a superfície seca (c)

Obteve-se o resultado do ensaio de absorção de água pela equação (3.2).

$$a = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (3.2)$$

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) e M_2 é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

3.5 ETAPA IV: ENSAIOS ESPECIAIS

Para os ensaios especiais foram realizados os ensaios de difração de raios X e avaliação dos blocos quanto a susceptibilidade ao manchamento.

3.5.1 Difração de raios X

Dentre as várias técnicas de caracterização microestrutural de materiais cristalinos, destaca-se a técnica de difração de raios X, a qual consiste em uma análise qualitativa, esta é utilizada para a identificação dos picos dos materiais cristalinos, os quais são posteriormente classificados com o auxílio de uma biblioteca digital, a qual possui o pico de diversos materiais. O ensaio de difração de raios X foi realizado no Laboratório de Difractometria de Raios X, no Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.

As amostras desse ensaio foram preparadas no laboratório do LEM/UnB, para a moldagem da pasta de cimento Portland com adição de fibras kraft e de referência (sem a adição).

Inicialmente tentou-se preparar uma pasta de cimento Portland com adição de 1,0% de fibra, sendo o teor determinado conforme a moldagem dos blocos com a fibra de papel kraft. Porém, este teor de adição foi considerado muito elevado, impossibilitando o preparo da amostra, devido ao baixo teor de pasta. Dessa forma, foi preparada uma outra pasta com um teor de 0,2% de adição de fibra kraft, com uma relação a/c 0,45 em massa (Figura 3.44).



Figura 3.44 - Etapa de mistura da pasta de cimento Portland com adição de fibras kraft através do uso de uma argamassadeira planetária, para preparo da amostra para o ensaio de difração de raios X.

Após o procedimento de mistura da pasta de cimento Portland, que seguiu as recomendações da ABNT NBR NM 65:2003 foram moldados corpos de prova com dimensões de 5 cm x 10 cm, os quais ficaram em repouso em uma bancada protegido com uma placa de vidro colocada por cima das formas com intuito de minimizar a perda de água da pasta para o meio ambiente. Após 24 horas do processo de moldagem os cilindros foram retirados das formas e colocados na câmara úmida até a data do ensaio (Figura 3.45).



(a)



(b)

Figura 3.45 - Pasta de cimento colocada em moldes metálicos cilíndricos (a). Superfície superior dos cilindros protegidos com uma placa de vidro para auxiliar na redução da perda de água da pasta de cimento para o meio ambiente do laboratório (b).

Para a realização da difração de raios X fez-se necessário preparar a amostra no dia do ensaio, sendo este realizado para a de 21 dias. Sendo assim, os corpos de prova moldados foram seccionados com uso de uma serra circular com disco diamantado, de forma que apenas a parte interna deste fizesse parte da amostra (Figura 3.46). Esse procedimento foi adotado com intuito de retirar as partes que pudessem estar contaminadas com o desmoldante aplicado na forma metálica.



(a)



(b)

Figura 3.46 - Fragmentação dos corpos de prova cilíndricos para preparação das amostras da pasta sem (a) e com adição de fibras kraft (b) para o ensaio de difração de raios X.

A parte interna retirada da amostra foi colocada em um almofariz para que se transformasse em um pó bem fino, de granulometria passante na peneira de número 200 (0,075 mm), Figura

3.47. Ressalta-se que durante todo o processo de preparo da amostra deve-se tomar cuidado para que esta não fosse contaminada, mantendo-se assim os utensílios utilizados sempre bem limpos antes do seu uso.

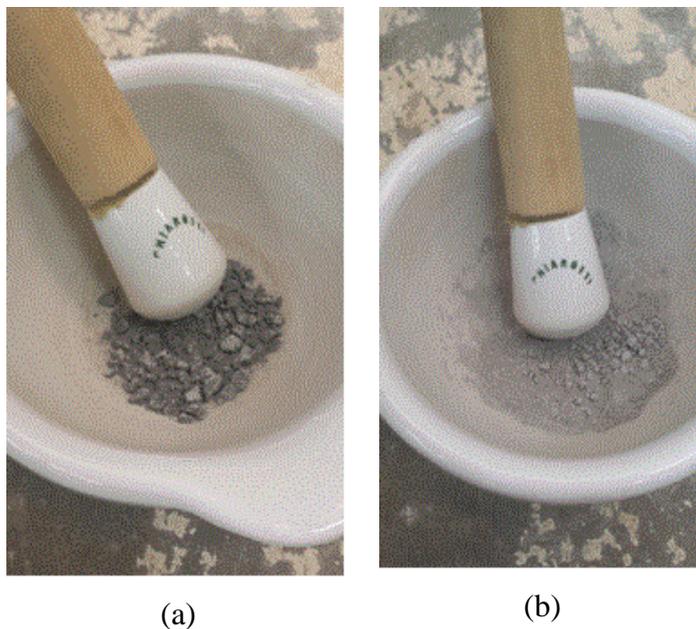


Figura 3.47 - Amostra sendo preparada no almofariz durante o processo obtenção do pó para o ensaio de difração de raios X da pasta de cimento sem adição de fibra.

Com a amostra já pronta, esta foi levada para o Instituto de Geociências no laboratório de difração de Raios X, inserindo-se a amostra em uma lâmina para a realização do ensaio e obtenção do difratograma, através do equipamento Goniometer Ultima IV, da marca Rigaku (Figura 3.48).

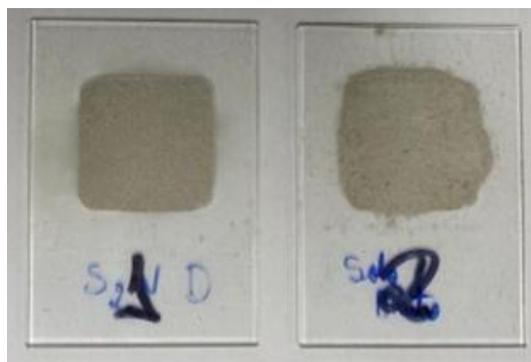


Figura 3.48 - Lâmina com a amostra para o ensaio de difração de raios X. Lâmina 1 referente a amostra sem adição de fibra e lâmina 2 com a adição de fibra.

3.5.2 Avaliação da susceptibilidade da superfície dos blocos de concreto ao manchamento

Com o intuito de verificar o comportamento dos blocos de concreto (com e sem adição), estes foram submetidos à seguinte condição: colocados em um recipiente que proporcionasse $2/3$ de sua altura imerso em água por um período de 30 dias e foram acompanhados e realizados registros fotográficos para posterior análise visual comparativa (Figura 3.49).



Figura 3.49 - Blocos acondicionados em recipiente com água, com $2/3$ de sua altura imerso em água.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios para cada etapa constante do programa experimental.

4.1 ETAPA I: MATERIAIS CONSTITUINTES

Inicialmente são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização dos materiais.

4.1.1 Cimento Portland

Na Tabela 4.1, apresenta-se os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão para o cimento Portland CP V – ARI RS utilizado nesta pesquisa.

Tabela 4.1 - Resultados obtidos no ensaio de caracterização de resistência à compressão do cimento CP V - ARI RS, realizado no Laboratório de Materiais (LEM/UnB) e valores normativos exigidos.

Resistência à compressão do cimento Portland – ABNT NBR 5733:1991			
Idade (dias)	Resultado obtido (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Exigência: valores de referência (MPa)
1	26,81	4,81	14,0
3	36,24	3,14	24,0
7	36,26	0,98	34,0

Pode-se observar que os valores obtidos no ensaio, nas três idades, estão acima dos exigidos pela ABNT NBR 5733:1991 para este tipo de cimento. Ressalta-se que o ganho de resistência mais significativo foi obtido nas primeiras 24 horas, e que dos 3 aos 7 dias o ganho de resistência foi de 0,02 MPa, que equivale a 0,06% da resistência à compressão total obtida aos 7 dias.

4.1.2 Agregados

A Tabela 4.2 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização realizados para os agregados, constam também as referências normativas utilizadas para a execução de cada

um dos ensaios. No ANEXO A e B são apresentados os resultados de cada determinação para os ensaios de massa unitária e massa específica dos agregados.

Tabela 4.2 - Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados miúdo e graúdo e as suas respectivas normas.

Ensaio de caracterização dos agregados					
Ensaio	Areia rosa	Areia mix	Pó de brita	Pedrisco	Norma
Massa unitária (Kg/dm ³)	1,21	1,48	1,57	1,41	AMN NBR NM 45:2006
Massa específica (g/cm ³)	2,65	2,70	2,72	2,72	ABNT NBR 9776:1988
Módulo de finura (%)	0,98	3,78	2,88	5,49	AMN NBR NM 248:2003
Dimensão máxima característica (mm)	0,60	4,80	4,80	6,30	AMN NBR NM 248:2003

De acordo com a ABNT NBR 7211:2009, são considerados agregados miúdos os grãos passantes na peneira com malha de 4,75 mm e retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, dessa forma os agregados miúdos são: areia rosa, areia mix e pó de brita. Conforme essa mesma norma, os agregados graúdos são os passantes na peneira de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira de 4,75 mm, sendo assim tem-se neste estudo como agregado graúdo o pedrisco.

Na Figura 4.1 é apresentada a curva granulométrica dos agregados miúdos e na Figura 4.2 apresenta-se a curva granulométrica do agregado graúdo, os quais são utilizados na produção dos blocos de concreto. No ANEXO C são apresentados os resultados obtidos no ensaio de peneiramento para cada agregado.

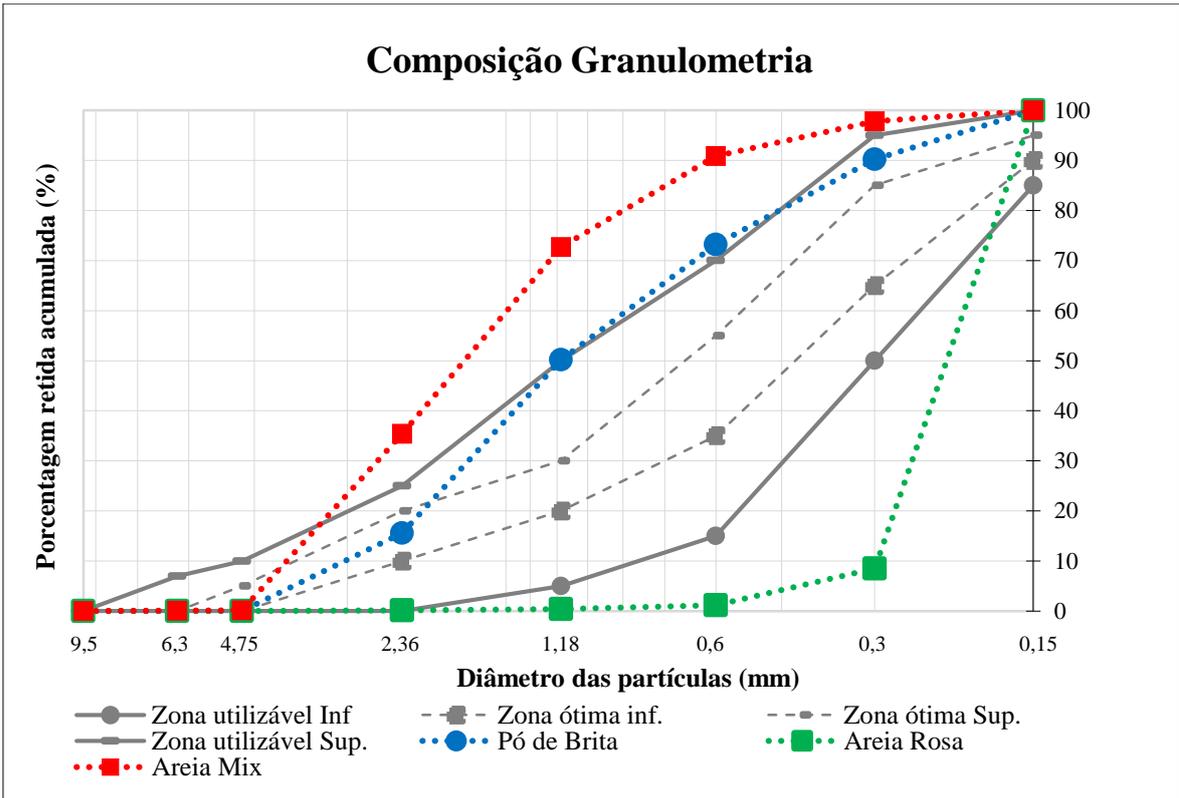


Figura 4.1 - Curva granulométrica dos agregados miúdos.

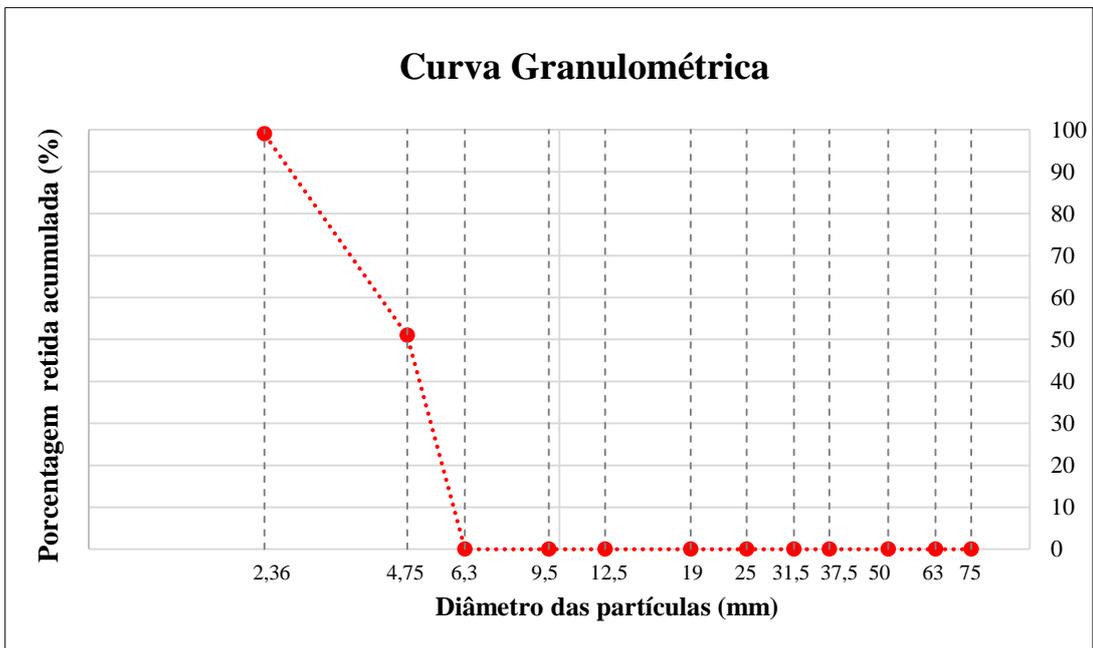


Figura 4.2 - Curva granulométrica do agregado graúdo.

Tendo em vista que não existe uma curva granulometria para os blocos de concreto, utilizou-se a norma para concreto, apenas com fim comparativo.

Observou-se que a empresa produtora dos blocos utiliza uma composição com as três areias, sendo necessária essa composição para ajuste da curva granulométrica para o seu uso na fabricação dos blocos de concreto. Coloca-se que, o conhecimento da curva granulométrica é importante para a dosagem do concreto, podendo influenciar na quantidade de água a ser utilizada, a qual influencia na trabalhabilidade e, também na resistência mecânica do produto final. De acordo com a Figura 4.1 nota-se que o agregado que melhor se enquadra com os limites normativos é o pó de brita, este segue a zona utilizável superior.

4.2 ETAPA II: FIBRA KRAFT

Para o presente estudo foram empregadas 90 embalagens de cimento, as quais resultam em 13,5 Kg de fibra, considerando-se que cada embalagem de cimento gera 150 g de fibras kraft, as quais foram adicionadas ao concreto utilizado para a produção de blocos sem função estrutural.

De acordo com as considerações apresentadas podem ser feitas algumas relações, por exemplo, para o teor de fibra de 0,5%, utilizou-se uma embalagem de cimento para três blocos de concreto, já para o teor de adição de 1,0% consegue-se produzir três blocos com 2 embalagens. Observando-se as relações da quantidade de blocos que se pode produzir com uma embalagem de cimento, conclui-se que quanto maior o teor de adição, maior será a quantidade de embalagens utilizadas, uma vez que este teor é calculado a partir da quantidade em massa de material seco do traço.

4.2.1 Processo de obtenção da fibra kraft

O processo de transformação das embalagens de cimento (reciclagem) em fibras dispersas de papel kraft atende a necessidade de obtenção da fibra kraft, a qual pode ser utilizada em matrizes cimentícias, neste caso em especial, para os blocos de concreto.

Durante o processo de obtenção das fibras dispersas de papel kraft notou-se a formação de espuma durante o processo de agitação, a qual dificulta a etapa subsequente de retirada do excesso de água, Figura 4.3.



Figura 4.3 - Espuma advinda do processo de imersão dos sacos de cimento em água e agitação para dispersão das fibras de papel kraft.

Um fator que tornou a etapa de reciclagem demorada, foi a retirada do excesso de água, a qual realiza-se primeiramente com o auxílio de uma peneira, e posteriormente estas são colocadas em um tecido ou bobina geotêxtil para poder proceder-se com uma torção manual. Ressalta-se que esta etapa pode ser acelerada com a utilização de uma centrífuga mecanizada, a qual tornaria o processo mais eficiente.

Observou-se que o processo de reciclagem e obtenção da polpa de celulose possui uma geração mínima de resíduos, consistindo este apenas na água utilizada no processo, a qual pode conter restos de cimento como contaminante, e que podem ser separados através de decantação, possibilitando o reaproveitamento dessa água para reuso no processo, pode-se utilizar também água coletada da chuva.

4.3 ETAPA III: BLOCOS – MOLDAGEM E ENSAIOS

A etapa de produção dos blocos de concreto, de cada variável da pesquisa, foi realizada em meia betonada de volume de 250 litros, a qual gera aproximadamente 39 blocos de concreto. Para a produção do Traço 1 e Traço 2 são utilizadas as mesmas quantidades de aglomerante, o qual possui uma relação com a embalagem de cimento no valor de 0,44 sacos, ou seja, na produção desse traço utiliza-se 0,44 da embalagem de um total de 150 g (uma embalagem). Sendo assim, para os teores estudados todo o resíduo pode ser aproveitado na produção dos blocos.

Para o teor estudado de adição de fibra kraft de 0,5% com uma embalagem de cimento pode-se produzir 3 blocos de concreto, já para o teor de adição de 1%, a cada duas embalagens de cimento são produzidos 3 blocos de concreto (Figura 4.4).

Teor de adição de fibra kraft de 0,5%:



Teor de adição de fibra kraft de 1,0%:



Figura 4.4 – Representação de quantos blocos são produzidos com as embalagens de cimento, para os teores de adição de fibra adotados na pesquisa.

Os blocos foram ensaiados quanto às suas propriedades físicas e mecânicas, conforme são apresentadas nas etapas seguintes.

A Empresa ‘A’ tem como vantagem do seu cimento ser armazenado em silos, porém se fosse em embalagens de papel kraft todas estas embalagens seriam utilizadas na produção dos blocos de concreto. A empresa pode receber as embalagens de outras empresas e utilizá-las na sua produção, dando uma destinação adequada.

4.3.1 Análise dimensional

Para o ensaio de análise dimensional apresenta-se os resultados individuais na Tabela 4.3, obtidos durante os ensaios realizados no laboratório do LEM/UnB para uma amostra de 3 blocos de concreto do Traço 1 e do Traço 2 e para cada teor conforme determina a ABNT NBR 12118:2014. No ANEXO E apresenta-se os resultados individuais, para cada corpo de prova, obtidos para cada uma das dimensões avaliadas

Tabela 4.3 - Resultados dos ensaios de análise dimensional realizado no laboratório do LEM/UnB para os dois traços e teores utilizados.

Análise dimensional dos blocos de concreto									
Traço	Teor de adição	Comprimento real (mm)	Largura real (mm)	Altura real (mm)	Paredes longitudinais (mm)	Paredes transversais		Área bruta (mm ²)	
						Parede (mm)	Espessura equivalente (mm/m)		
Traço 1	Referência	390	91	189	22	21	164,10	35490	
		390	91	190	22	20	164,10	35490	
		388	89	189	22	22	167,53	34532	
	1%	390	90	188	22	22	166,67	35100	
		390	90	189	22	20	156,41	35100	
		390	90	187	21	21	164,10	35100	
		390	90	190	25	26	199,15	35100	
		0,50%	390	90	188	27	26	127,21	35100
			390	89	188	26	25	189,97	34710
		Traço 2	Referência	392	91	189	27	30	227,00
390	90			192	27	30	231,33	35100	
390	89			191	25	26	202,64	34710	
0,50%	387		89	190	25	26	203,62	34443	
	390		89	189	22	22	167,87	34710	
	388		89	190	25	27	209,26	34532	

Os resultados obtidos nos ensaios permitem afirmar que os blocos das amostras analisadas (Traços 1 e 2 e blocos de concreto de referência e teores de 0,5% e 1,0%), estão em conformidade com as especificações dimensionais exigidas pela ABNT NBR 6136:2014. Desta forma, pode-se afirmar que não ocorreu interferência significativa da adição de fibras kraft, independente de teor utilizado, nos traços avaliados.

4.3.2 Determinação da resistência à compressão

São apresentados na Tabela 4.4 a média dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão dos blocos de concreto ensaiados pelo laboratório do SENAI e pelo LEM/UnB. Foram ensaiados 6 blocos de concreto para cada caso, conforme determina a ABNT NBR 12118:2014. As amostras ensaiadas constam no ANEXO D os valores individuais obtidos no ensaio de resistência à compressão.

Tabela 4.4 - Média dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão separados por laboratório de ensaio, traço e teor de adição.

Resistência à compressão (MPa) – Média dos valores						
Local	Traço	Teor de adição	14 Dias	28 Dias	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
SENAI	Traço 1	Referência	-	4,62	2,35	50,86
		1%	-	1,61	0,55	34,16
		Referência	5,38	6,08	1,24	20,39
LEM	Traço 1	0,50%	2,31	2,82	0,07	2,48
		1%	2,16	2,12	0,73	34,43
	Traço 2	Referência	4,05	5,33	0,68	12,76
		0,50%	3,92	5,03	0,91	18,09

Ressalta-se que o laboratório do SENAI realizou os ensaios para avaliação das resistências à compressão na idade de 28 dias, idade de referência conforme a ABNT NBR 6136:2014. Conforme os resultados apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, de uma forma geral nota-se a interferência da adição de fibras na resistência à compressão dos blocos ensaiados para esta pesquisa.

Baixos valores de desvio padrão das amostras representam valores mais uniformes e consequentemente uma menor dispersão dos valores obtidos. O coeficiente de variação é uma medida da dispersão relativa dos resultados obtidos, um baixo coeficiente de variação indica uma menor dispersão dos resultados. Os resultados obtidos encontram-se bastante dispersos.

No gráfico da Figura 4.5 apresenta-se um comparativo dos valores médio obtidos nos blocos de referência e com adição de 1,0% de fibras kraft no Traço 1, na idade de 28 dias, a qual é a idade padrão para os dois laboratórios de ensaio (LEM/UnB e SENAI), conforme a ABNT NBR 6136:2014.

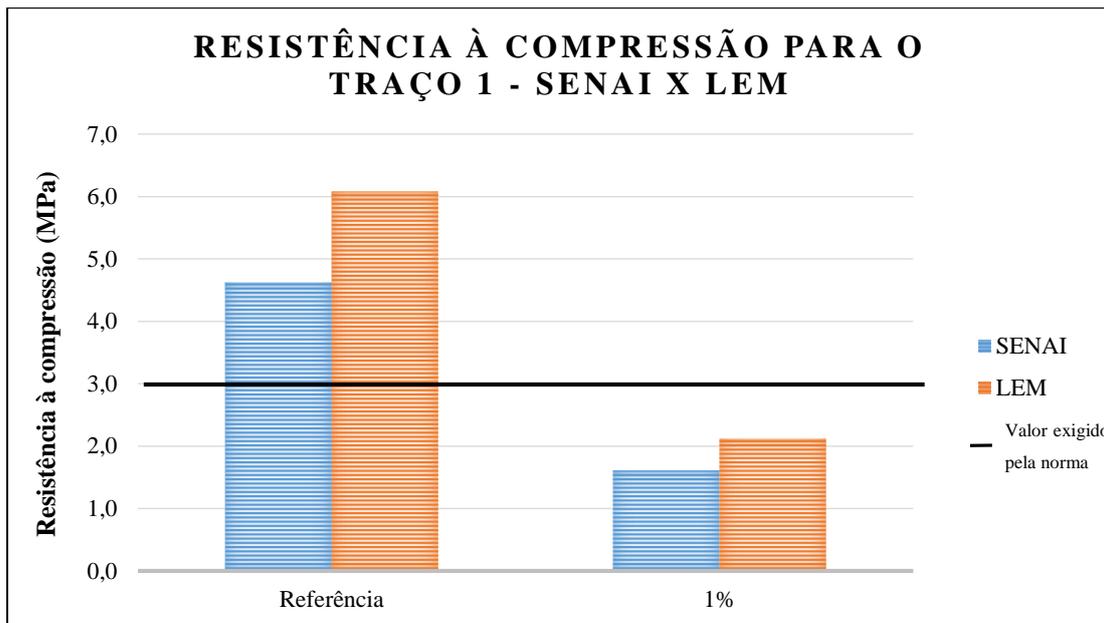


Figura 4.5 - Dados referentes ao ensaio de resistência à compressão do Traço 1, realizado pelo SENAI e o LEM para a idade de 28 dias para os blocos de referência e 1,0% de adição de fibra kraft, de acordo com a ABNT NBR 6136:2014.

Conforme mostra a **Erro! Fonte de referência não encontrada**, nota-se que os blocos de concreto do Traço 1 com adição de 1,0% de fibra kraft não atingem o valor mínimo de 3 MPa exigido pela ABNT NBR 6136:2014. Percebe-se também que os resultados para o Traço 1 de referência e com adição de 1,0%, obtidos no laboratório do SENAI foram abaixo dos resultados obtidos no LEM.

Acredita-se que essa diferença possa ser resultante das diferenças dos equipamentos utilizados no ensaio, sendo a prensa utilizada pelo SENAI fabricada pela EMIC, a qual possui controle de velocidade de carga, enquanto no LEM utiliza-se a prensa de marca DENISON, na qual a velocidade de ruptura é diretamente dependente do operador. De modo a minimizar as interferências na execução dos ensaios realizados no LEM, todos os blocos dessa pesquisa foram sempre rompidos pelo mesmo operador.

Na Figura 4.6 apresenta-se um gráfico com um comparativo dos valores médio obtidos nos blocos do Traço 1 com diferentes teores de adição de fibras kraft, nas idades de 14 dias e 28 dias.

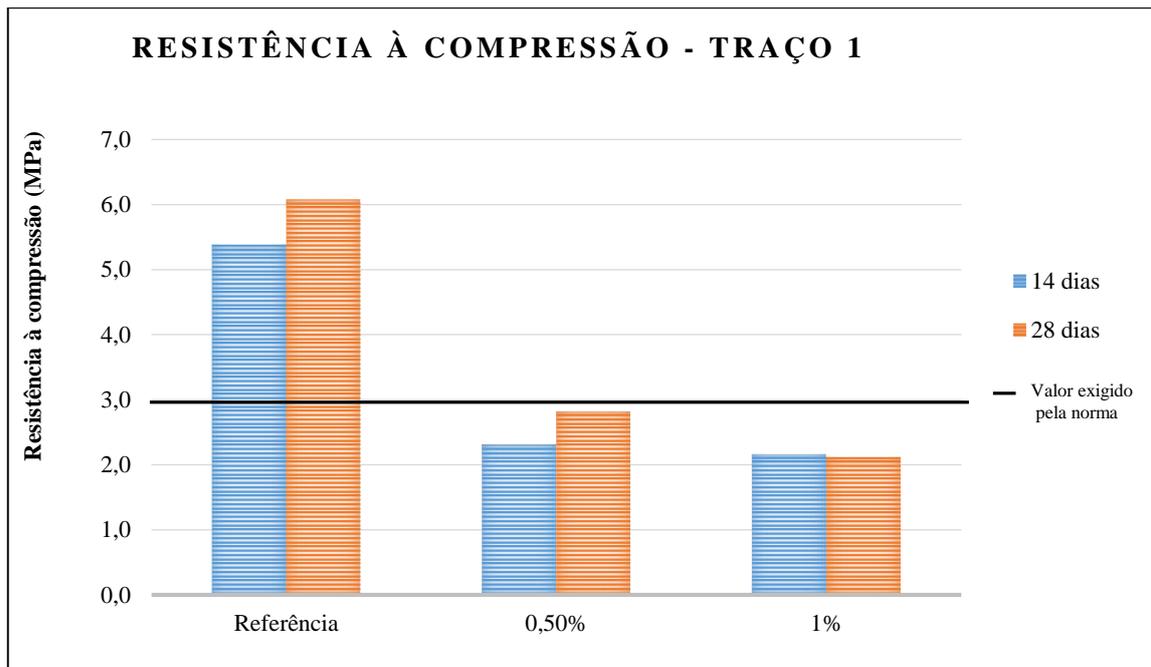


Figura 4.6 - Resultados de resistência à compressão referente ao Traço 1, para os blocos de referência e com teores de adição de fibra kraft de 0,5% e 1,0% nas idades de 14 e 28 dias, de acordo com a ABNT NBR 6136:2014.

Similar aos valores já apresentados, os blocos do Traço 1 produzidos com adição de fibras kraft não alcançaram o valor mínimo exigido por norma que é 3 MPa, já os blocos sem adição apresentam resultados satisfatórios e atendem a norma, no quesito resistência à compressão, já aos 14 dias de idade. Deste modo, a partir da Figura 4.6, pode-se observar a interferência da adição de fibras kraft na composição dos blocos, pois ao aumentar o teor de adição os resultados de resistência à compressão sofrem uma diminuição nessa propriedade mecânica. Nesse sentido vale ressaltar que de acordo com o estudo realizado por Santana (2015) o teor máximo de adição de fibras kraft a ser utilizado é de 1,0%, porém ao se ensaiar os blocos com 0,5% de fibras, estes apresentam melhores resultados.

Para o Traço 2 foram moldados blocos de concreto de referência e com o teor de adição de 0,5%, ensaiados apenas pelo LEM/UnB, nas idades de 14 e 28 dias. O comparativo dos resultados obtidos pode ser visto na Figura 4.7.

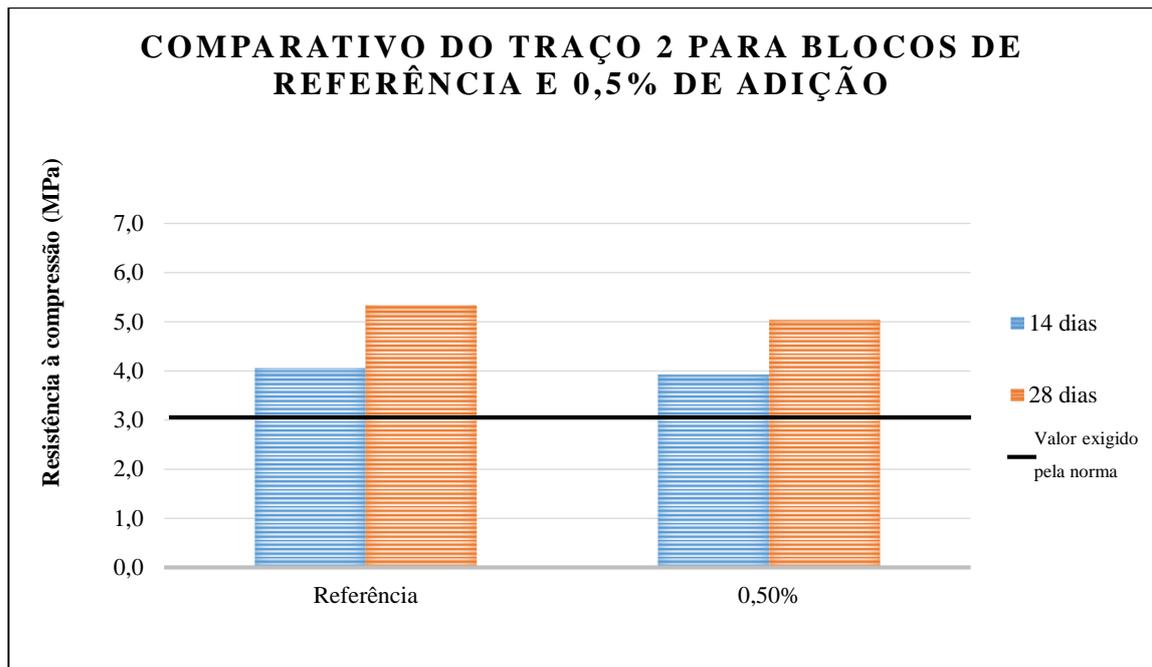


Figura 4.7 - Resultados de resistência à compressão referentes aos blocos moldados com o Traço 2 no teor de 0,5% de adição e sem fibra, para as idades de 14 e 28 dias, tendo como limite inferior ao valor mínimo de 3,0 MPa de acordo com a ABNT NBR 6136:2014.

Coloca-se que os resultados obtidos no Traço 2 podem ser considerados satisfatórios, uma vez que estes apresentaram valores acima do mínimo exigido pela ABNT NBR 6136:2014.

Pode-se observar que a adição de 0,5% de fibra kraft nesse traço exerceu pouca interferência na resistência à compressão, pois os valores obtidos estão próximos aos resultados obtidos pelos blocos de referência.

Conforme anteriormente apresentado, faz-se necessário realizar uma comparação dos resultados obtidos no Traço 1 com o Traço 2, logo estes resultados são exibidos em forma de gráfico na Figura 4.8. Ressalta-se que os resultados apresentados são referentes apenas aos blocos ensaiados no LEM/UnB.

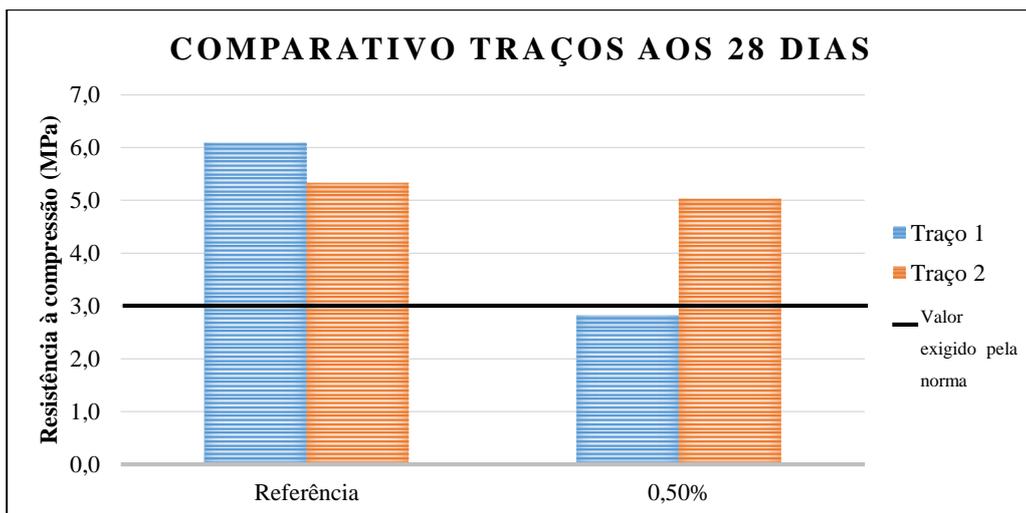


Figura 4.8 - Comparativo do Traço 1 e do Traço 2, na idade de 28 dias para os blocos de referência e os blocos com 0,5% de adição de fibra kraft, tendo como limite inferior o valor mínimo de 3,0 MPa conforme descrito na ABNT NBR 6136:2014.

Analisando os resultados dos blocos obtidos com os Traços empregados na pesquisa, de forma comparativa, nota-se que o Traço 1 com adição de 0,5% de fibra kraft não atende aos requisitos normativos referente a resistência à compressão (valor mínimo de 3,0 MPa descrito de acordo com a ABNT NBR 6136:2014), diferentemente dos blocos do Traço 2 que obtiveram resultados que ficaram acima desse valor. Sabendo-se que o diferencial entre os traços consiste no incremento da areia mix para a produção do Traço 2.

Outro ponto importante observado nessa comparação foi que os blocos de referência, sem adição de fibra, do Traço 2 apresentaram uma média inferior a do Traço 1, mas quando adicionado 0,5% de fibra kraft, apesar de ter baixado a resistência de uma forma geral, o Traço 2 se mostrou mais eficiente do que o Traço 1. Dessa forma, associa-se esse fato a uma possível mudança positiva no teor e na granulometria da argamassa desse traço, que pode ter melhorado a inter-relação física da matriz com a fibra kraft. O Traço 2 possui teor de argamassa de 91%, enquanto o Traço 1 possui 61%, logo o Traço 2 mostrou-se mais adequado para a inserção de fibras, podendo ser atribuído ao teor de argamassa deste, pois com um maior teor de argamassa pode ter envolvido melhor as fibras.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão disponibilizados pela Regional Centro Oeste da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP-CO, referente às três empresas

certificadas pela ABCP no Distrito Federal, realizados pelo laboratório do SENAI, são apresentados nas Figura 4.9 a Figura 4.11.

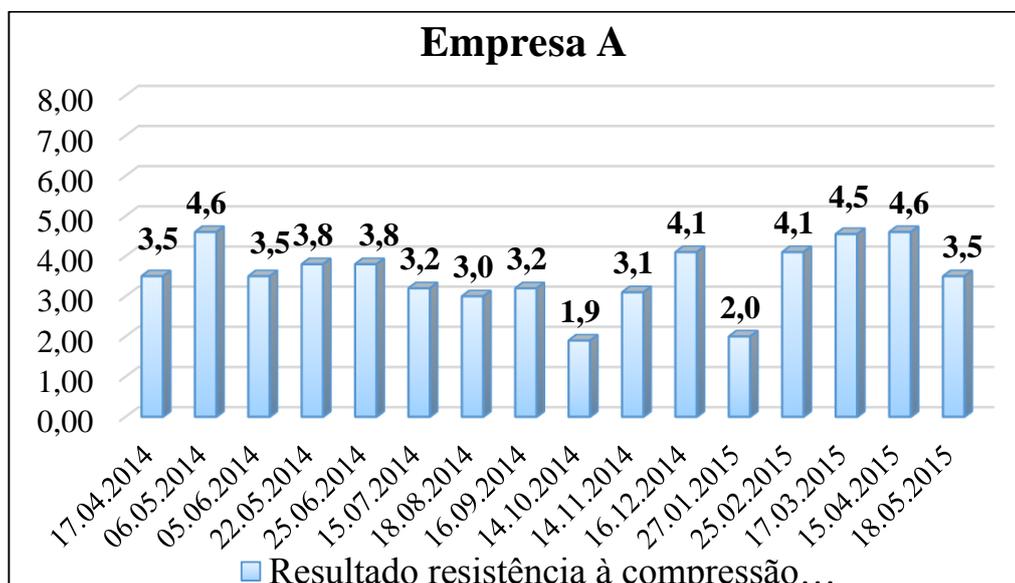


Figura 4.9 - Série com a média dos resultados obtidos no ensaio para obtenção da resistência à compressão realizados nos blocos de concreto produzidos pela Empresa “A”, durante a avaliação da certificação, selo de qualidade da ABCP.

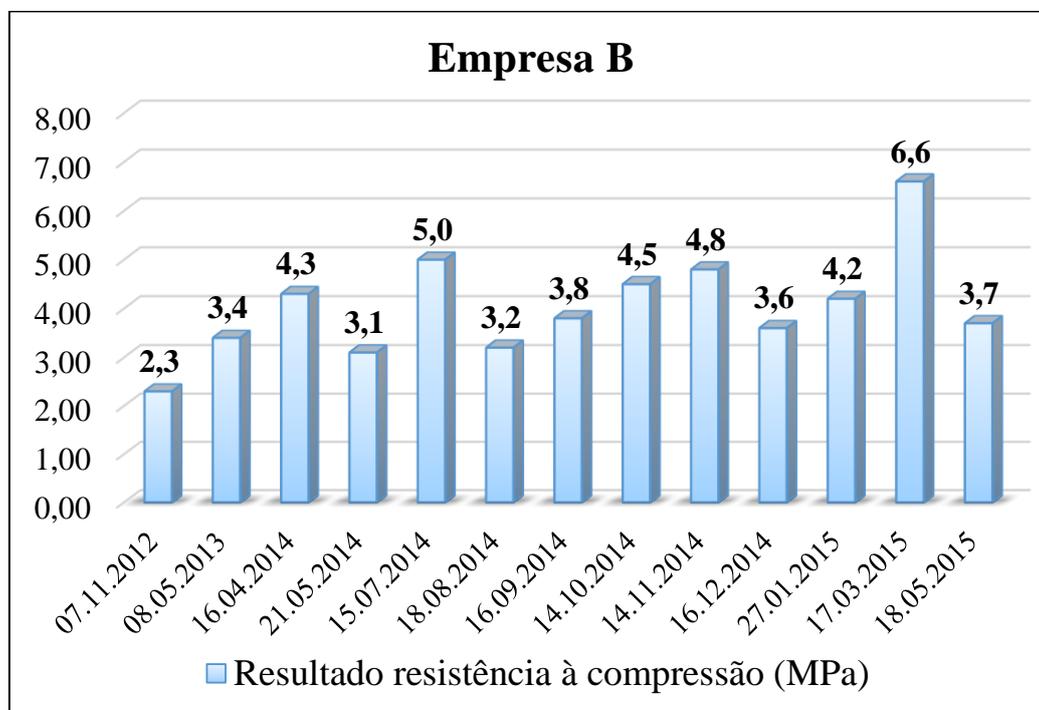


Figura 4.10 - Série com a média dos resultados obtidos no ensaio para obtenção da resistência à compressão realizados nos blocos de concreto produzidos pela Empresa “B”, durante a avaliação da certificação, selo de qualidade da ABCP.

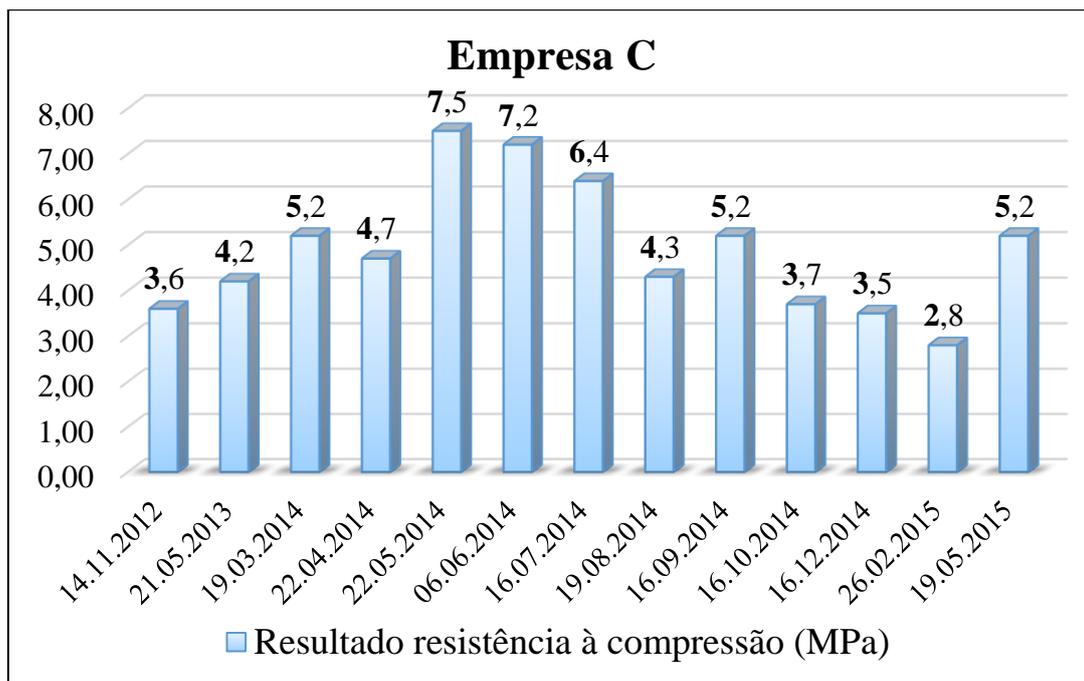


Figura 4.11 - Série com a média dos resultados obtidos no ensaio para obtenção da resistência à compressão realizados nos blocos de concreto produzidos pela Empresa “C”, durante a avaliação da certificação, selo de qualidade da ABCP.

Para os resultados de resistência à compressão disponibilizado pela ABCP-CO nota-se que em algumas verificações para a certificação, os blocos não possuem a resistência à compressão de 3 MPa exigida pela ABNT NBR 6136:2014. Destaca-se que a empresa “A” foi a empresa que moldou os blocos desta pesquisa; comparando os resultados obtidos e os cedidos pela ABCP para a empresa “A”, os blocos de concreto de referência dos dois traços utilizados atendem aos requisitos normativos. As empresas “A”, “B” e “C” apresentam desvio padrão (MPa) respectivamente de 2,96; 3,30 e 4,99, sendo a empresa “A” a que possui menor desvio padrão, o qual está relacionado com os valores mais uniformes do ensaio de resistência à compressão, garantindo uma melhor qualidade dos seus produtos, pois um desvio padrão alto pode significar falhas no processo de produção, como por exemplo, na etapa de compactação.

4.3.3 Absorção de água

Para a determinação da absorção de água os resultados dos ensaios realizados nos blocos com e sem adição de fibra kraft, realizados pelo laboratório do LEM/UnB são apresentados na Tabela 4.5. A ABNT NBR 12118:2014 determina que sejam ensaiados 3 blocos de

concreto, desta forma os mesmos blocos que foram analisadas suas dimensões, posteriormente foram ensaiados quando a absorção de água.

Tabela 4.5 - Resultados da avaliação da absorção de água, para os dois traços e teores estudados.

Absorção de água dos blocos de concreto											
Traço	Teor de fibra	Massa da amostra (g) - m3	Massa da amostra seca em estufa (g) - ml			Média	Massa da amostra saturada (g) - m2			Média	Absorção individual (%)
			24h	2h	2h		24h	2h	2h		
Traço 1	Referência	8480	8323	8323	8323	8323	8894	8894	8894	8894	6,9
		8446	8266	8266	8266	8266	8883	8883	8883	8883	7,5
		8426	8256	8255	8255	8256	8875	8875	8875	8875	7,5
										Média	7,3
	1,00%	7446	7229	7226	7226	7228	8315	8315	8315	8315	15,1
		7499	7294	7292	7292	7293	8407	8407	8407	8407	15,3
		7890	7714	7714	7714	7714	8756	8756	8756	8756	13,6
										Média	14,7
	0,50%	8230	8070	8070	8060	8067	8710	8780	8780	8757	8,6
		8150	7920	7920	7920	7920	8750	8760	8760	8757	10,6
		7920	7650	7650	7640	7647	8590	8600	8600	8597	12,4
										Média	10,5
Traço 2	Referência	8880	8600	8600	8600	8600	9340	9360	9360	9353	8,8
		8910	8620	8620	8620	8620	9350	9350	9350	9350	8,5
		8270	8010	8010	8010	8010	8720	8730	8730	8727	9,0
										Média	8,7
	0,50%	8240	7990	7980	7980	7983	8690	8710	8710	8703	9,0
		8220	7990	7990	7990	7990	8690	8690	8690	8690	8,8
8180		7950	7940	7940	7943	8650	8670	8670	8663	9,1	
									Média	9,0	

De acordo com os requisitos exigidos pela ABNT NBR 6136:2014 para o ensaio de absorção de água, os blocos devem apresentar resultado individual $\leq 12,0$ e média $\leq 10,0$, sendo esses resultados expressos em porcentagem (%). Desta forma, analisando os valores referentes ao Traço 1 apresentados na Tabela 4.5, observa-se que os resultados obtidos pelos blocos de referência atendem aos requisitos de norma, porém os blocos com adição de 1,0% e 0,5% de fibra estão acima do limite mínimo exigido.

O valor das médias obtidas a partir dos resultados dos ensaios para determinação da absorção de água dos blocos de referência e dos blocos com 0,5% e 1,0% de adição de fibra, referentes ao Traço 1 são representados em um gráfico de barras e podem ser vistos na Figura 4.12.

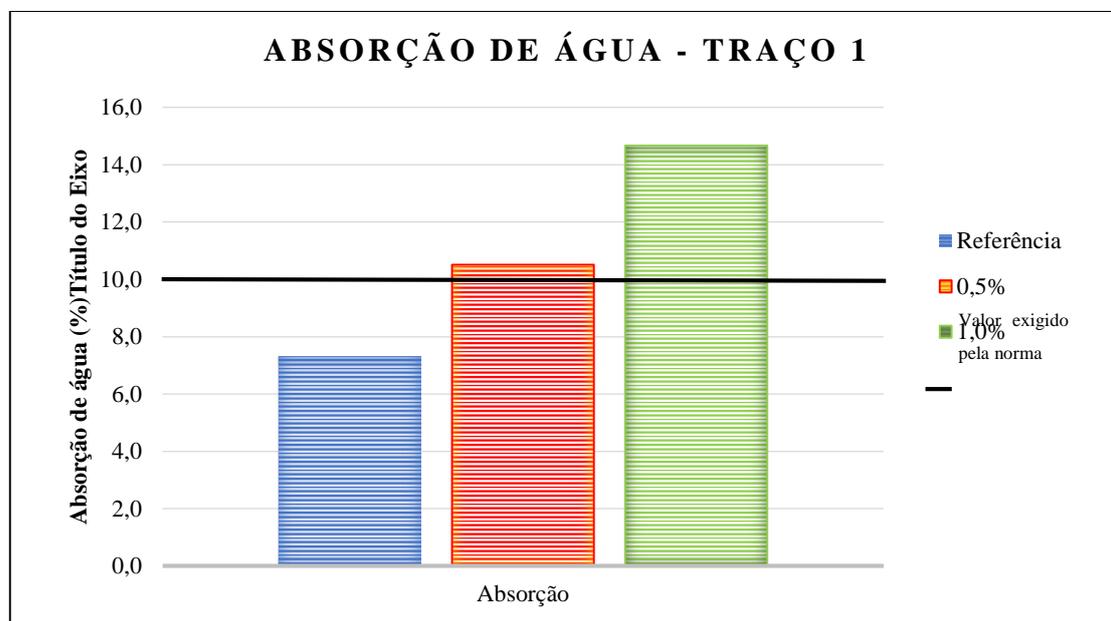


Figura 4.12 - Comparativo com os valores médios dos resultados obtidos no ensaio para determinação da absorção de água para os blocos do Traço 1 nos teores de 1,0% e 0,5% de adição de fibra kraft e para os blocos de referência, tendo como limite superior o valor médio $\leq 10,0\%$, conforme prescrito na ABNT NBR 6136:2014.

De acordo com a Figura 4.12 a única série produzida com o Traço 1 que se enquadra no requisito normativo é a série dos blocos de referência. Dessa forma, pode-se afirmar que conforme ocorreu o incremento de fibra kraft o valor de absorção de água aumentou, pois a fibra kraft propiciou uma mudança no compósito, tornando-o mais absorvente.

Conforme a ABNT NBR 6136:2014, os blocos produzidos com o Traço 2 com teor de adição de fibra de 0,5%, e os blocos de referência, atendem aos requisitos normativos, uma vez que estes apresentam valores individuais menores que 12% e média inferior a 10%.

O valor das médias obtidas a partir dos resultados dos ensaios para determinação da absorção de água dos blocos de referência e dos blocos com 0,5% de adição de fibra kraft, produzidos com o Traço 2 são representados em um gráfico de barras e podem ser vistos na Figura 4.13.

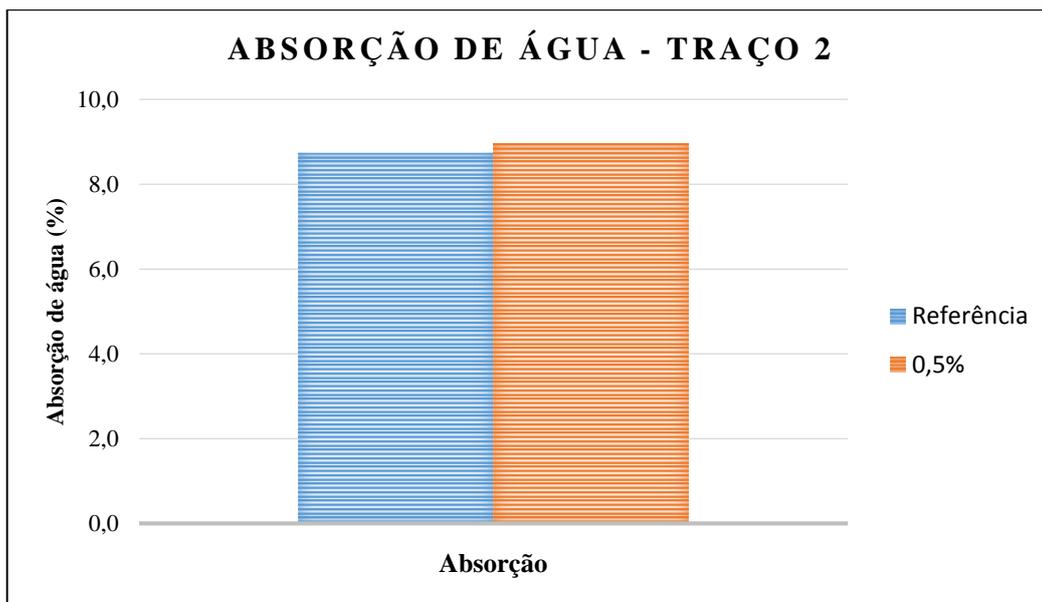


Figura 4.13 - Comparativo com os valores médios dos resultados obtidos no ensaio realizado LEM/UnB para determinação da absorção de água para os blocos do Traço 2 no teor de 0,5% de adição de fibra e para os blocos de referência, tendo como limite superior o valor médio $\leq 10,0\%$, conforme prescrito na ABNT NBR 6136:2014.

De acordo com a Figura 4.13 nota-se que todos os blocos referentes ao Traço 2 atendem aos requisitos exigidos pela norma para os valores de absorção de água. Obteve-se que para o Traço 2, com maior teor de argamassa tem-se uma menor absorção de água.

Os resultados dos ensaios de absorção de água disponibilizados pela Regional Centro Oeste da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP-CO, referente às três empresas certificadas pela ABCP no Distrito Federal, realizados pelo laboratório do SENAI, são apresentados nas Figura 4.14 a Figura 4.16.

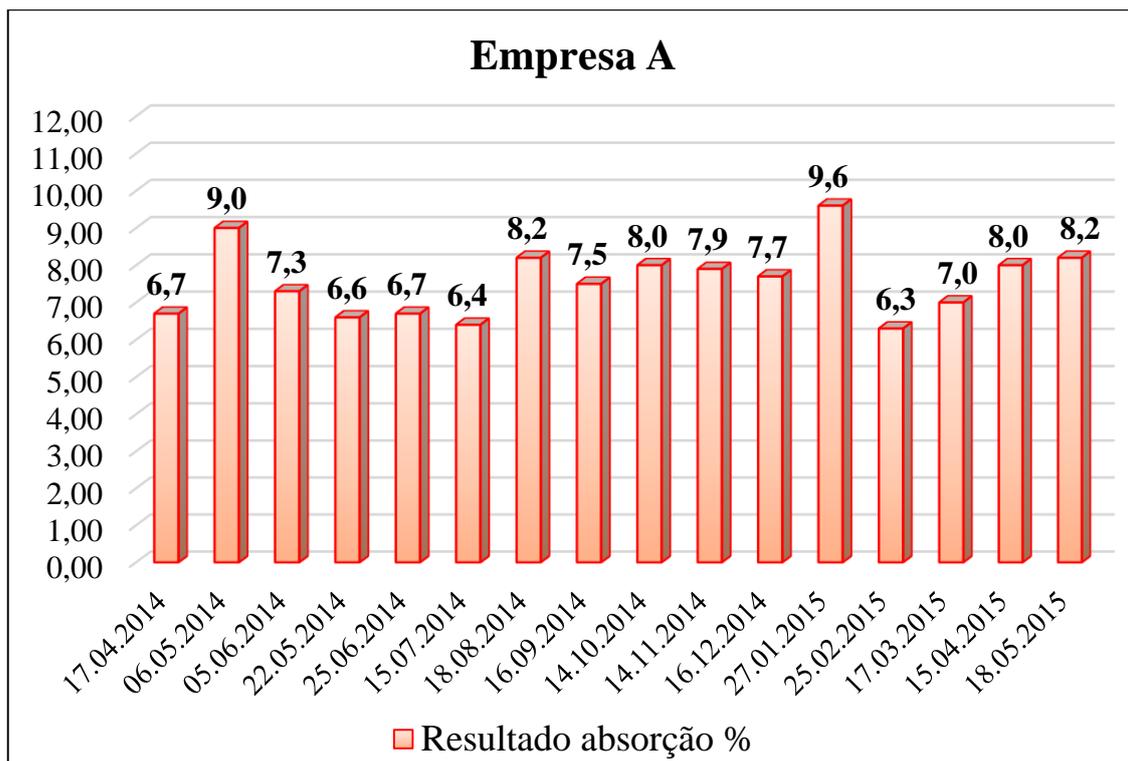


Figura 4.14 - Resultados de absorção de água para obtenção do selo de qualidade da ABCP: Empresa A.

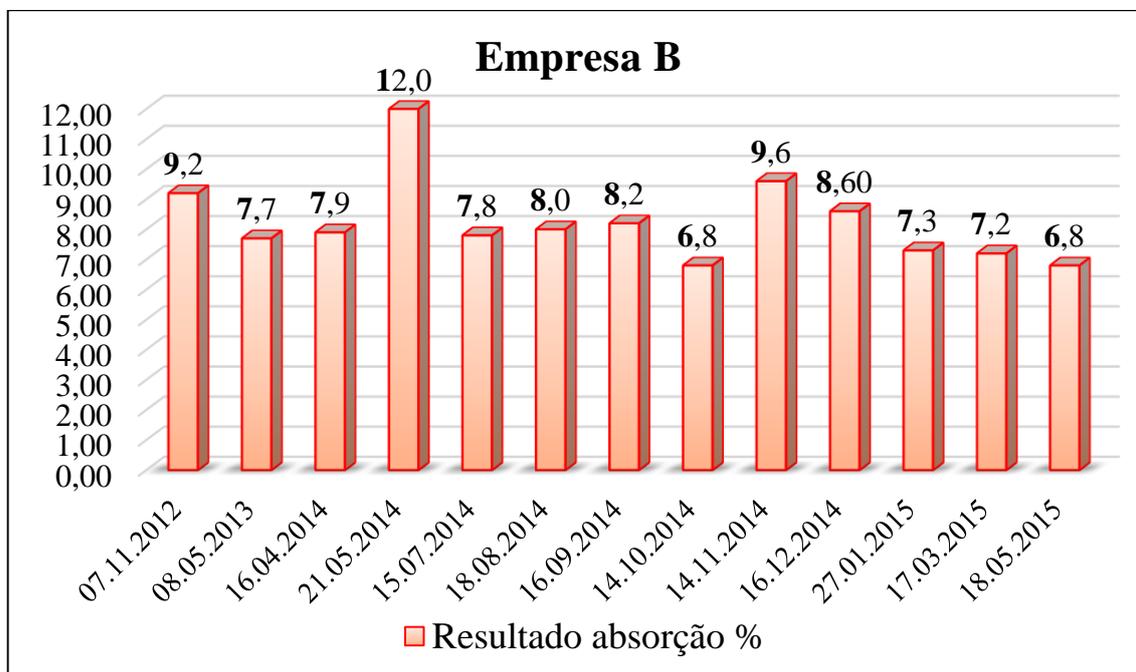


Figura 4.15 - Resultados de absorção de água para obtenção do selo de qualidade da ABCP: Empresa B.

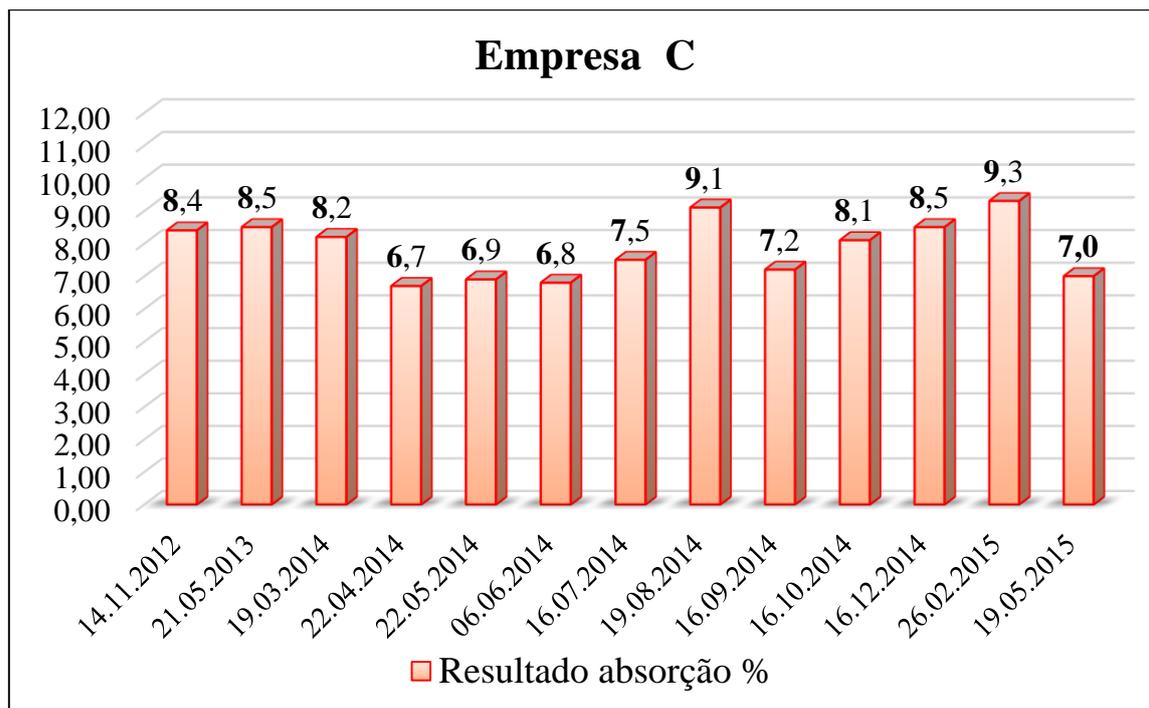


Figura 4.16 - Resultados de absorção de água para obtenção do selo de qualidade da ABCP: Empresa C.

Os ensaios de absorção realizados para os blocos de concreto, pelo laboratório do SENAI para as empresas “A” e “C”, atendem aos requisitos normativos. A empresa “C” em uma das verificações realizadas, não atendeu ao limite de 10% de absorção exigido pela ABNT NBR 6136:2014.

4.4 ETAPA IV: ENSAIOS ESPECIAIS

Nesta etapa são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de difração de raios X e na verificação da susceptibilidade de manchamento na superfície dos blocos de concreto.

4.4.1 Difração de Raio X

Na difração de raios X são obtidos os difratogramas para a amostra de referência (Figura 4.17) e com adição de fibra (Figura 4.18), para a idade de 21 dias. Na Tabela 4.6 são apresentados os principais produtos identificados e a nomenclatura adotada na identificação do difratograma.

Tabela 4.6 - Produto identificados no difratograma e suas respectivas nomenclaturas.

Produtos identificados no difratogramas		
Composto	Fórmula química	Legenda
Etringita	$Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$	E
Portlandita	$Ca(OH)_2$	P
Periclásio	MgO	Pc
Belite	Ca_2SiO_4	B
Calcita	$CaCO_3$	C
Silicato de Cálcio Hidratado	$Ca_{15}SiO_{35} \cdot xH_2O$	S
Quartzo	SiO_2	Q

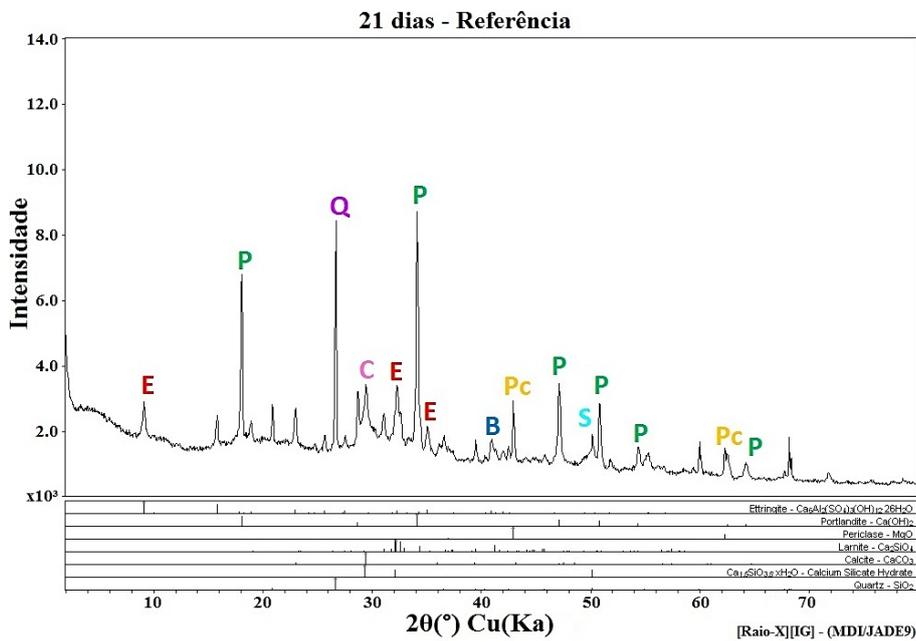


Figura 4.17 - Difratograma aos 21 dias para a amostra de referência.

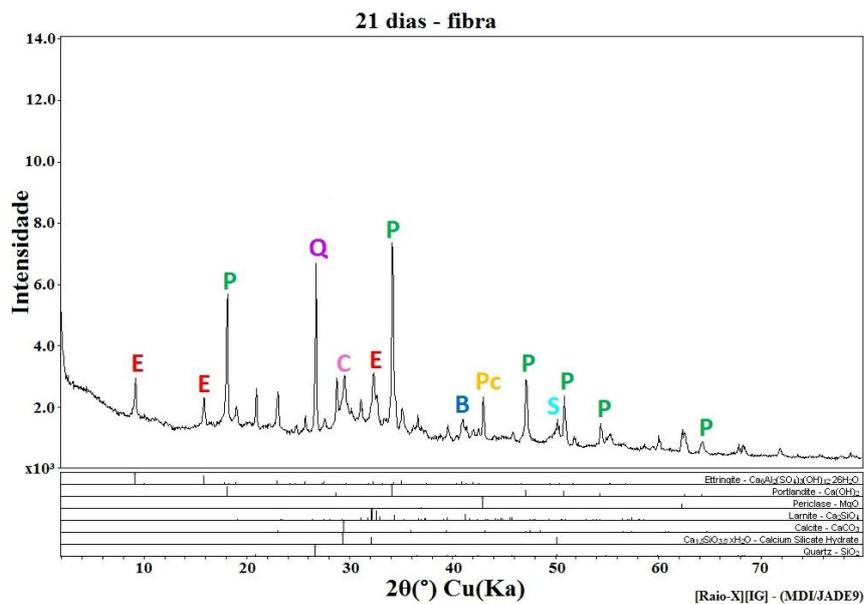


Figura 4.18 - Difratograma aos 21 dias para a amostra com adição de fibra.

De acordo com os difratogramas obtidos pode-se observar picos característicos e mais acentuados da presença de portlandita (Hidróxido de Cálcio). A partir desse ensaio qualitativo, foi possível perceber a interferência da fibra nos produtos de hidratação do cimento Portland, uma vez que ocorre a redução de alguns picos, como o da portlandita, quando comparado o difratograma de referência com o que possui adição de fibra.

4.4.2 Avaliação da susceptibilidade da superfície dos blocos de concreto ao manchamento

Avaliou-se o desempenho dos blocos de concreto de referência (sem fibras) e os com adição de fibras kraft frente a susceptibilidade da sua superfície ao manchamento através de imersão parcial e secagem. Para a verificação de manchamento nos blocos apresenta-se a Figura 4.19, referente aos blocos de concreto com e sem adição de fibra kraft.

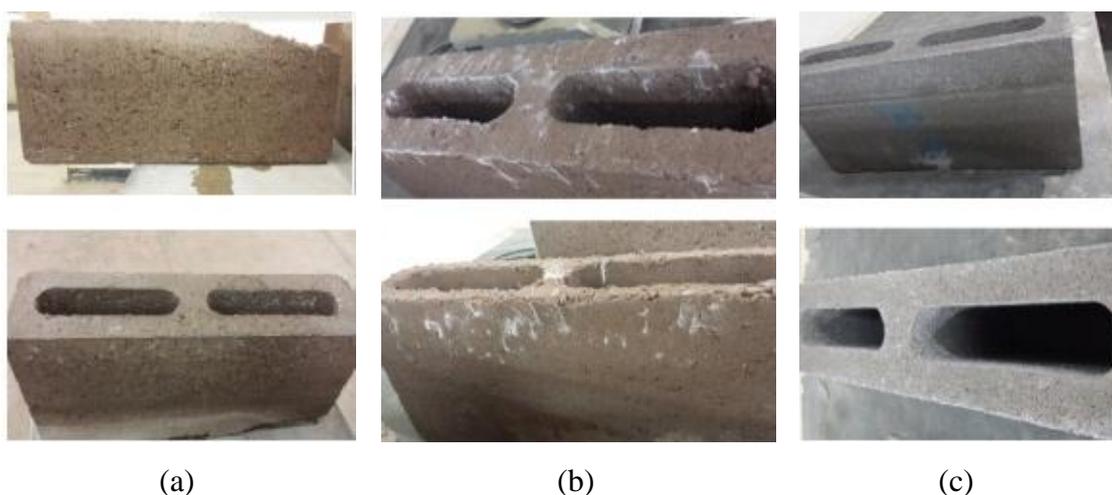


Figura 4.19 - Imagens das superfícies dos blocos de concreto sem adição de fibra (a), com adição de 1,0% de fibras kraft(b) e com adição de 0,5% de fibras kraft(c), onde podem ser observadas a presença de manchas esbranquiçadas (eflorescência).

Ao observar os blocos aos 30 dias, pode-se perceber a presença da cristalização de sais na sua superfície, caracterizando assim o fenômeno da eflorescência. Considerando os blocos como um material poroso e por estes estarem inseridos em um recipiente com água, sais solúveis presentes nos blocos foram dissolvidos e cristalizados na superfície.

De acordo com as imagens, pode-se notar que quanto maior for o incremento de fibras kraft, maior será a incidência de manchas esbranquiçadas na superfície dos blocos. Desta forma tem-se que os blocos com 1,0% de adição possuem mais eflorescência do que os com adição de 0,5%, e este por sua vez ainda apresentam mais manchas superficiais do que os blocos de referência. Desta forma temos a fibra potencializando esse fenômeno de manchamento.

Os blocos de concreto são materiais considerados bastante porosos e no cimento utilizado para a sua produção existe um composto, denominado hidróxido de cálcio (Cal liberada na hidratação do cimento), o qual pode estar sendo responsável pelo surgimento das eflorescências bem como as areias utilizadas Assim como evidenciado no ensaio de determinação da absorção de água a porosidade pode estar sendo influenciada pela adição de fibras kraft, e dessa forma a dissolução do hidróxido de cálcio e o seu transporte para a superfície pode estar sendo intensificado pela ação das fibras adicionadas a matriz desse compósito.

5 CONCLUSÃO

No presente trabalho, foi avaliada a viabilidade técnica da produção de blocos de concreto sem função estrutural (vedação) com adição de fibra, proveniente de papel kraft utilizado como embalagem de cimento, visando dar uma destinação ambientalmente adequada para esse resíduo.

5.1 ORGANIZAÇÃO DAS CONCLUSÕES

A seguir, são apresentadas as conclusões sobre os principais pontos avaliados, a qual divide-se em seis itens. Apresenta-se também neste capítulo algumas sugestões para trabalhos futuros. As conclusões representadas a seguir são referentes as avaliações realizadas nesta pesquisa.

5.1.1 MATERIAIS CONSTITUINTES E COMPOSIÇÃO DOS BLOCOS

Para esta pesquisa foram utilizados dois traços, o Traço 1 e o Traço 2, possuindo este último a areia mix além dos demais insumos utilizados no primeiro. Dessa forma, tem-se que ao adicionar as fibras kraft ao traço, ocorre um aumento do volume total do material sólido que será utilizado para a produção de blocos, levando a uma diminuição da relação cimento/materiais seco do traço com fibra, ocasionando uma menor concentração de produtos de hidratação do cimento e modificação na -zona de transição fibra/matriz,

Deverá ser avaliado o aspecto econômico, pois pode ser necessário elevar o consumo de cimento devido ao incremento de fibras na composição do traço, o qual acarretará em um maior custo de produção.

5.1.2 FIBRA KRAFT – PROCESSO DE OBTENÇÃO (“RECICLAGEM”)

O resíduo, embalagem de cimento possui potencial para ser reciclado e empregado em compostos cimentícios, atribuindo assim uma destinação adequada para esse resíduo coletado em obra.

Dessa forma, o processo de reciclagem das embalagens de cimento utilizado nesse trabalho mostrou-se viável em escala de laboratório, sendo este capaz de transformar as embalagens

em fibras dispersas de papel kraft para emprego em compósitos de matriz cimentícias, para uso em blocos de concreto sem função estrutural.

5.1.3 BLOCOS – MOLDAGEM

A produção de blocos de concreto com adição de fibras kraft em uma empresa do setor foi possível, uma vez que a adição de fibras kraft para esse trabalho é viável, não necessitando de modificações significativas na linha de produção existente.

5.1.4 BLOCOS – ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS

Na análise dimensional todos os blocos avaliados atenderam aos requisitos normativos, ressaltando que não se detectou a interferência da adição da fibra kraft nas amostras ensaiadas.

Para o ensaio de resistência à compressão os únicos blocos com adição de fibras de papel kraft desse estudo que atenderam a essa especificação são referentes ao Traço 2, com teor de adição de 0,5%. Dessa forma, fica evidenciada a interferência da adição de fibras kraft e do teor usado na produção dos blocos de concreto, pois ao diminuir o teor de adição de 1% para 0,5% notou-se uma melhoria nos valores de resistência à compressão.

Para absorção de água, assim como ocorreu na resistência à compressão dos blocos de concreto, foi perceptível a interferência do incremento de fibra kraft. Neste caso, quanto maior o teor de fibra empregado, maior foi a absorção de água dos blocos avaliados. Os blocos de referência e os blocos com adição de fibra kraft no teor de 0,5%, referente ao Traço 2 atenderam aos requisitos normativos para os valores de absorção, logo esse fato demonstra a possibilidade de utilização das fibras frente a essa propriedade.

5.1.5 BLOCOS – ENSAIO PARA VERIFICAÇÃO DE ANOMALIAS

Para o quesito de anomalias dos blocos, pode-se perceber o surgimento de manchamentos na sua superfície, originando assim o fenômeno de eflorescências. Desta forma tem-se que

a fibra kraft exerce interferência, pois ao adicioná-las o processo de eflorescência torna-se mais intenso.

5.1.6 BLOCOS – ENSAIO DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X

No ensaio qualitativo de difração de raios-X permitiu verificar a interferência da adição de fibras, pois notou-se o consumo dos produtos de hidratação do cimento na pasta com adição da fibra.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Com base no trabalho realizado são sugeridos alguns pontos para aprofundamento e continuação da pesquisa. Desta forma seguem as recomendações:

- Avaliar o processo de reciclagem das embalagens de cimento na empresa produtora dos blocos e utilização na sua linha de produção (em escala);
- Realizar um estudo de dosagem aprofundado para a produção de blocos de concreto com adição de fibras kraft e avaliação do processo em escala de produção;
- Verificar a interferência nas propriedades físicas e mecânicas de teores menores a 0,5% de adição de fibras kraft para utilização em blocos de concreto;
- Avaliação dos efeitos no compósito com adição de fibra kraft após submissão às condições de envelhecimento acelerado (umidade e temperatura);
- Verificar a causa da eflorescência observada na superfície dos blocos de concreto e o sal que está sendo dissolvido por meio de ensaios relacionas a microestrutura da fibra e do compósito; e
- Modelagem numérica do comportamento físico-mecânico do compósito e interferência no envelhecimento do material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRONAMEL - **Centrífuga extratora de mel para 16 quadros de melgueira, em inox.** Disponível em: <<http://www.agronamel.com.br/apicultura/centrifuga-extratora-de-mel-para-16-quadros-de-melgueira-em-inox>>. Acesso em: 7 de dez. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil.** São Paulo, 2012. Disponível em: <www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2013.

Associação Mineira de Defesa do Ambiente - AMDA. **Ciclo de vida do papel.** Disponível em: <<http://www.amda.org.br/?string=interna-projetos&cod=31>>. Acesso em: 1 de abril de 2015.

ÂNGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos.** 2005. 167p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2005.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil.** Evento: IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil – materiais reciclados e suas aplicações. CT206 – IBRACON. São Paulo, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. **Relatório Estatístico 2011/2012.** 2013. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/rel2011.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733.** Cimento Portland de alta resistência inicial: Classificação. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 6136**. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos: Classificação. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7182**. Ensaio normal de compactação de solos - Especificações: Classificação. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 7211**. Agregados para concreto - Especificações: Classificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7215**. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão: Classificação. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 9776**; Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 10004**. Resíduos sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 11768**. Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos: Classificação. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 12118**. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio: Classificação. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 15900-1**. Água para amassamento do concreto parte 1 - Requisitos: Classificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO – **AMN NBR NM 45**. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios: Classificação. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 65**. Cimento Portland - Determinação do tempo de pega: Classificação. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 248**. Agregados - Determinação da composição granulométrica: Classificação. Rio de Janeiro, 2003.

BAYLIS, A. M. Multiwall Bags. In: **The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology**. 2. Ed. New York: John Wiley & Sons, 1997, p61–66.

BELTRÃO, L. M. P. **Resíduos sólidos da construção civil: planos para sua redução, reutilização e reciclagem no Distrito Federal**. 2014. 131 f. Monografia (Graduação) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

BLUMENSCHNEIN, R.: **Diretrizes para intervenções urbanas e em moradias de comunidades remanejadas em áreas de construção de usinas hidroelétricas**. Projeto encaminhado a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Brasília: UnB, 2005.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei 9.605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 15 fev. 2015.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Portaria nº 261, 05 de junho de 2014. Instituto Nacional de Metrologia, qualidade e tecnologia - INMETRO. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002116.pdf>>. Acesso em: 6 de jun. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS**, ago.2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Construção Sustentável**, 14 de maio de 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/destaques/item/8059>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

BUSON, M. A. **Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel Kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical**. 2009. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

BUTTNER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

BRASKEM, S. A. **Boletim Técnico** nº 8. Glossário de termos aplicados a polímeros. Revisão 2002. Disponível em: <<http://www.braskem.com.br/site.aspx/Produto-Boletim-Tecnico>>. Acesso em: 30 de outubro de 2015.

BYLAARDT, M. P. et al. **O papel artesanal**. Disponível em: <<http://www.eba.ufmg.br/alunos/kurtnavigator/artesanal/papel.html>>. Acesso em: 7 mar. 2015.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia dos materiais: Uma introdução**. São Paulo: LTC editora, 2002.

CÂNDIDO, L. P.; BARRETO, J. M. L.; CABRAL, A. E. B. Avaliação de blocos de concreto produzido com pet reciclado. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, Maceió. **Anais ENTAC**. Maceió, 2014

CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; SILVA, R. A. F.; OLIVEIRA, S. A. Desempenho termo energético de paredes de blocos de resíduos de construção e demolição. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, Maceió. **Anais ENTAC**. Maceió, 2014

CARVALHO, P. E. F.; CINTRA, C.; CARASEK, H. Argamassas com fibras de celulose provenientes de embalagens de cimento e de cal. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, Juiz de Fora. **Anais ENTAC**. Juiz de Fora, 2012.

CARVALHO, P. E. F.; SANTOS, V. D. B.; CARASEK, H. Estudo da durabilidade de argamassas com fibras kraft. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA ARGAMASSAS, 10, Fortaleza. **Anais SBTA**. Fortaleza, 2013.

CARVALHO, P.; VIEIRA, I.; AURIONE, D.; CARDOSO, T.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Caracterização do papel kraft de embalagens visando o emprego como fibras em compósitos cimentícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, Maceió. **Anais ENTAC**. Maceió, 2014.

CELULOSEONLINE – Portal Celulose OnLine (2009): **Coletânea dos principais tipos de papel fabricados no país, com suas características, composição, terminologia, mais usada, acabamento, formas de comercialização, formatos e pesos mais comuns**. Disponível em: <<http://www.celuloseonline.com.br/pagina/pagina.asp?iditem=193#K>>. Acesso em: 7 jun. 2015.

CMPC Celulose Riograndense. **Celulose**. Disponível em: <<http://www.celuloseriograndense.com.br/produtos>>. Acesso em: 8 março 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Conama nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

_____. Resolução Conama nº 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA no 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res04/res34804.xml>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

_____. Resolução Conama nº 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

_____. Resolução nº 448, de 19 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONAMA. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?co_egi=672>. Acesso em 15 abr. 2015.

COUTTS, R.S.P e NI, Y. Autoclaved bamboo pulp fibre reinforced cement. **Cement & Concrete Composites**. v.17, 1995. p. 99-106.

COUTTS, R. S. P.; WARDEN, P. G. **Effect of compaction on the properties of air-cured wood fibre reinforced cement**. *Cement & Concrete Composites*, v. 12, 1990. p. 151-6.

COUTTS, R. S. P. **A review of Australian research into natural fibre cement composites**. *Cement & Concrete Composites*. v. 27, 2005. p. 518-526.

CHRISTOFIDIS, D. Notas de aula, Disciplina: **Sistemas Hidráulicos de Saneamento**, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 2013

FERNANDES, I. **Blocos e Pavers: Produção e controle de qualidade**. Ribeirão Preto, SP: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda editora, 2008.

FERREIRA, S. R. SILVA, A. C. Estudo das propriedades mecânicas de adobe com adição de fibras de vegetais de coco verde. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO. Feira de Santana: **ENARC**. Bahia, 2009.

FOELKEL, C. Reciclagem de Papéis Contendo Fibras Longas de Pinus. **Pinus Letter**, n. 41, jan. 2014.

GARCIA, R. L. et al. **Perguntas Frequentes sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:CdczxISPB3oJ:www.abrelpe.org.br/imagens_intranet/files/Perguntas%2520frequentes%2520sobre%2520Pol%25C3%25A4tica%2520Nacional%2520De%2520Res%25C3%25A4duos%2520S%25C3%25B3lidos%2520%28PNRS%29.pdf+%26cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 7 mar. 2015.

HORTAL, J. Fibras papeleras. UPC, Barcelona, Spain. 2007. 224p.

ILLSTON, J. M. **Construction materials: their nature and behaviour**. Chapman & Hall, London, 1994.

IZQUIERDO, I. S. **Uso de fibra natural de sisal em bloco de concreto para alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011. 128p.

JASTRZEBSKI, Z.D. **The nature and properties of engineering materials**. John Wiley & Sons, Inc, New York – EUA. 1987.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. SEMINÁRIO RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES. São Paulo. **Anais**. São Paulo, 2000. Disponível em: <http://www.observatorioderesiduos.com.br/obsr3df/banco_arquivos/228418683a1ea7af7f68b5cd715893e2.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2011.

LEVY, S.M. Reciclagem do entulho da construção civil para utilização como agregados para argamassas e concretos, 1997. In: MARQUES NETO, J. C. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Paulo: Ed. Rima, 2005, p.25.

LIMA, J. D. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

LIMA, R. S.; LIMA, R. R. R. **Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil**. Série de Publicações Temáticas do CREA-PR. [s.d.].

LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. **Alvenaria de vedação com blocos de concreto**. Cartilha de capacitação de equipes de produção. Comunidade da Construção. Recife, 2008.

LORDSLEMM JÚNIOR, A. C. et al. Blocos de concreto para vedação: estudo da conformidade através de ensaios laboratoriais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28. Rio de Janeiro. **Anais ENEGEP**. Rio de Janeiro, 2008.

MALHÃES, A. P. **Caracterização da cadeia produtiva do bambu no Brasil: abordagem preliminar**. 2008. 32 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MARCHAND, J.; HORNAIN, H.; DIAMOND, S.; PIGEON, M.; GUIRAUD, H. **The microstructure of dry concrete products**. Cement and Concrete Research, vol. 26, p. 427-438, 1996.

MARCONDES, C. G. **Embalagem com conteúdo**. Jul. de 2007. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/embalagem-com-conteudo/>>. Acesso em: 27 maio 2015.

MARQUES NETO, J. C. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Carlos, São Paulo: RiMa editora, 2005.

MARTINS, A. P. S. Desenvolvimento, caracterização mecânica e durabilidade de compósitos solo-cimento autoadensáveis reforçados com fibras de sisal. Tese (Doutorado), Instituto Alberto Luiz Coimbra, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MCBEAN, E. A.; ROVERS, F. A.; FARQUHAR, G. J. **Solid Waste Landfill Engineering and Design**. New Jersey: Prentice Hall, 1995. 521 p.

MEDEIROS, J.S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**. 1993. 449p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MOHR, B. J.; BIERNACKI, J. J.; KURTIS, K. E. Microstructural and chemical effects of wet/dry cycling on pulp fiber – cement composites. **Cement and Concret Research**. v. 36, p. 1240-1251, 2006.

MOHR, B. J.; NANKO, H.; KURTIS, K. E. Aligned kraft pulp fiber sheets for reinforcing mortar. - cement composites. **Cement and Concret Research**. v. 38, p. 161-172, 2006.

MONGROVEJO, D. R. L. **Avaliação das propriedades geotécnicas de um solo argiloso e outro arenoso com adição de fibras de papel kraft.** 2013. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

O PROCESSO de Produção de Celulose e do Papel. Disponível em: <<http://ri.suzano.com.br/modulos/doc.asp?arquivo=00406020.WAN&doc=ian480.doc&language=ptb>>. Acesso em: 30 mar. 2015.

PAGNUSSAT, D. T. **Utilização de escória granulada de fundição (EGF) em blocos de concreto para pavimentação.** 2004. 145 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PAKOTIPRAPHA, B.; PAMA, R.P.; LEE, S.L. Analysis of a bamboo fibre-cement paste composite. **Journal of Ferro cement**, v. 13, n.2, 1983a.

PAKOTIPRAPHA, B ; PAMA, R.P. ; LEE, S.L. Behavior of a bamboo fibre-cement paste composite. **Journal of Ferro cement**, v.13, n.3, 1983b.

PEREIRA, Marinalva M. **Processamento de cerâmicas.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Editora UFMG, 2002.

PICANÇO, M. S. Compósitos cimentícios reforçados com fibras de curauá. 2005. 25 f. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 1999. 189 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. **Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil.** Como implantar um Sistema de Manejo e Gestão dos Resíduos da Construção Civil nos Municípios. Brasília: Caixa Econômica Federal; Ministério das Cidades, Ministério do Meio Ambiente, 2005. v.1, 198 p.

PROCESSOS na fabricação da polpa. Disponível em: <<http://www.embalagensubatuba.com.br/produto/mecanico-e-quimico/>>. Acesso em: 27 de maio de 2015.

ROCHA, A. A. **A história do lixo.** São Paulo: Secretaria do Estado do Meio Ambiente, 1992. (Série Seminários e Debates).

ROCHA, E. G. A. **Os resíduos Sólidos de Construção e Demolição: gerenciamento, quantificação e caracterização:** Um estudo de caso no Distrito Federal. 2006. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J. S. ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. **Cell wall chemistry.** Taylor & Francis Group. New York, 2005.

SABBATINI, F. H. **Processo construtivo de edifícios de alvenaria sílico calcária.** 1984. 298 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

SANTANA, T. S. **Avaliação da adição de fibras de papel kraft, oriundas do saco de cimento, ao concreto utilizado na produção de blocos sem função estrutural.** 2015. 78p. Monografia de projeto final (Graduação). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SANTOS, L. R. CARVALHO, P. E. F. **Prática sustentável na construção civil por meio do reuso de sacos de cimento e de cal na produção e melhoria de argamassas de assentamento.** Prêmio Odebrecht. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2011. Disponível em: <<http://www.premioodebrecht.com/livros/brasil/2011/files/assets/basic-html/page9.html>>. Acesso em 16 maio 2015.

SAVASTANO JÚNIOR, H. **Materiais a base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** 2000. Tese (Doutorado em Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SCHMAL, A. K.; AVILA, M. **Projeto Construa Limpo.** Artigo Técnico Científico, 2008.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Números - Relatório anual de 2010.** Rio de Janeiro: SNIC, 2010. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/relatorio2010-11_web.pdf>. Acesso em: 24fev. 2016.

_____. **Números - Relatório anual de 2011.** Rio de Janeiro: SNIC, 2011. Disponível em: <<http://www.snic.org.br/pdf/Relatorio2011.pdf>>. Acesso em: 24fev. 2016.

_____. **Números - Relatório anual de 2012.** Rio de Janeiro: SNIC, 2012. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/relatorio_anual_2012-13_web.pdf>. Acesso em: 24fev. 2016.

_____. **Números - Relatório anual de 2013.** Rio de Janeiro: SNIC, 2013. Disponível em: <<http://www.snic.org.br/pdf/RelatorioAnual2013final.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2015.

_____. **Perfil da distribuição do Cimento Portland consumido, segundo as regiões geográficas de Jan. a Out. de 2014.** Rio de Janeiro: SNIC, 2014. Disponível em: <<http://www.snic.org.br/numeros/numeros.asp?path=Perfilconsumo2014.gif>>. Acesso em 16 maio 2015.

SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto:** aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado. 2001. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

SOUZA, A. P. et al. Resíduos industriais e sua destinação final: análise e proposta para o principal resíduo de uma fábrica de pré- moldados de concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33, Salvador. **Anais ENEGEP.** Salvador, 2013.

STACHERA Jr., Theodozio; CASAGRANDE Jr., Eloy Fassi (2008): **Desenvolvimento e a aceleração do crescimento de emissões de CO2 no Brasil: Cenário de um projeto do PAC no Paraná**. Anais do Tenth International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies - NOCMAT 2008. Cali, Colombia.

SUBRAHMANYAM, B.V. **Bamboo reinforcement for cement matrices**. In: **Concrete technology and Design**. v.2, ed RN Swamy, Surrey University Press 1984 p. 141-193.

TAVES, S. J. L.; POIANI, L. M.; SILVA, E. R. Projeto da cooperativa dos produtores de papel ecológico e artesanal de São Carlos. In: SEMINÁRIO DE METODOLOGIA PARA PROJETOS DE EXTENSÃO, 4, São Carlos. **Anais SEMPE**. São Paulo, 2001.

TONOLI, G.H.D.; SAVASTANO JÚNIOR. H.; FUENTE E.; NEGRO, C.; BLANCO, A.; LAHR, F. A. R. **Eucalyptus pulp fibres as alternative reinforcement to engineered cement-based composites**. Industrial crops and products. v. 31, p. 225-232, 2010.

VENTURINI, J. **Classificação de resíduos**. São Paulo: 2011. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/37/artigo220705-1.aspx>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

YUAN, H. et al. A dynamic model for assessing the effects of management strategies on the reduction of construction and demolition waste. **Waste Management**, v.32, n.3, 521-531, 2012.

ZHANG, Y. H. P.; LYND, L. R. Toward an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: Non complexed cellulose systems. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 88, p. 797 – 824, 2004.

ZHU, W. H. **Utilization of banana fibre in composite materials**. 1993. Dissertation (Master Thesis). Victoria University of technology, Melbourne, 1993.

ANEXOS

ANEXO A – MASSA UNITÁRIA

Nas Tabelas de 1 a 4 são apresentados os resultados obtidos para o ensaio de massa unitária dos agregados, o qual foi realizado no LEM/UnB.

Tabela 1 - Massa unitária da areia rosa.

Massa Unitária - Areia rosa		
Massa (Kg)	Volume (dm³)	γunit (Kg/dm³)
18,02	14,79	1,22
17,88	14,79	1,21
17,84	14,79	1,21
Média		1,21

Tabela 2 - Massa unitária da areia mix.

Massa Unitária - Areia mix		
Massa (Kg)	Volume (dm³)	γunit (Kg/dm³)
21,78	14,79	1,47
21,92	14,79	1,48
22,08	14,79	1,49
Média		1,48

Tabela 3 - Massa unitária da pó de brita.

Massa Unitária - Pó de brita		
Massa (Kg)	Volume (dm³)	γunit (Kg/dm³)
23,19	14,79	1,57
23,06	14,79	1,56
23,31	14,79	1,58
Média		1,57

Tabela 4 - Massa unitária do pedrisco.

Massa Unitária - Pedrisco		
Massa (Kg)	Volume (dm³)	γunit (Kg/dm³)
21,03	14,79	1,42
20,83	14,79	1,41
20,68	14,79	1,4
Média		1,41

ANEXO B – MASSA ESPECÍFICA

Nas Tabelas de 5 a 8 são apresentados os resultados obtidos para o ensaio de massa específica dos agregados, o qual foi realizado no LEM/UnB.

Tabela 5 - Massa específica da areia rosa.

Massa Específica - Areia rosa		
	1	2
	Determinação	Determinação
Massa (g)	500	500
L (cm³)	389	390,5
Y (g/cm³)	2,645	2,625

Tabela 6 - Massa específica da areia mix.

Massa Específica - Areia mix		
	1	2
	Determinação	Determinação
Massa (g)	500	500
L (cm³)	385	385
Y (g/cm³)	2,7	2,7

Tabela 7 - Massa específica do pó de brita.

Massa Específica - Pó de brita		
	1	2
	Determinação	Determinação
Massa (g)	500	500
L (cm³)	384	384
Y (g/cm³)	2,717	2,717

Tabela 8 - Massa específica do pedrisco.

Massa Específica - Pedrisco		
	1	2
	Determinação	Determinação
Massa (g)	500	500
L (cm³)	384	384
Y (g/cm³)	2,717	2,717

ANEXO C – COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Nas Tabelas de 9 a 16 apresentam-se os resultados obtidos para o ensaio de Composição granulométrica dos agregados através do peneiramento, realizado no LEM/UnB.

Tabela 9 - Resultados obtidos na primeira determinação para o ensaio de composição granulométrica por peneiramento realizado no LEM/UnB para a areia rosa.

Areia Rosa					
Peneiras (mm)	Massa peneira vazia (g)	Massa Amostra + Peneira (g)	Massa amostra (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	475,81	475,81	0	0	0
4,8	553,75	553,75	0	0,0	0
2,4	486,4	487,56	1,16	0,1	0
1,2	458,12	460,49	2,37	0,2	0
0,6	405,32	412,25	6,93	0,7	1
0,3	387,35	452,68	65,33	6,5	8
0,15	387,08	1203,8	816,72	81,7	89
0,075	381,92	465,8	83,88	8,4	98
Fundo	342,7	365,9	23,2	2,3	100
Total	3878,45	4878,04	999,59	99,994	100

Tabela 10 - Resultados obtidos na segunda determinação para o ensaio de composição granulométrica por peneiramento realizado no LEM/UnB para a areia rosa.

Areia Rosa					
Peneiras (mm)	Massa peneira vazia (g)	Massa Amostra + Peneira (g)	Massa amostra (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	475,81	475,81	0	0	0
4,8	553,75	553,95	0,2	0,0	0
2,4	486,4	487,91	1,51	0,2	0
1,2	458,12	461	2,88	0,3	0
0,6	405,32	411,84	6,52	0,7	1
0,3	387,35	445,31	57,96	5,8	7
0,15	387,08	1208,5	821,42	82,1	89
0,075	381,92	467,5	85,58	8,6	98
Fundo	342,7	366,4	23,7	2,4	100
Total	3878,45	4878,22	999,77	99,93802	100

Tabela 11 - Resultados obtidos na primeira determinação para o ensaio de composição granulométrica por peneiramento realizado no LEM/UnB para a areia mix.

Areia mix					
Peneiras (mm)	Massa peneira vazia (g)	Massa Amostra + Peneira (g)	Massa amostra (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	475,72	476,51	0,79	0,08	0
4,8	553,62	554,43	0,81	0,08	0
2,4	486,42	815,70	329,28	32,94	33
1,2	458,66	806,90	348,24	34,84	68
0,6	405,45	574,90	169,45	16,95	85
0,3	387,44	452,20	64,76	6,48	91
0,15	394,87	415,60	20,73	2,07	93
0,075	383,62	400,80	17,18	1,72	95
Fundo	542,65	591,10	48,45	4,85	100
Total	4088,45	5088,14	999,69	100,00	100

Tabela 12 - Resultados obtidos na segunda determinação para o ensaio de composição granulométrica por peneiramento realizado no LEM/UnB para a areia mix.

Areia mix					
Peneiras (mm)	Massa peneira vazia (g)	Massa Amostra + Peneira (g)	Massa amostra (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	475,91	476,97	1,06	0,10596	0
4,8	553,61	554,55	0,94	0,10	0
2,4	486,29	876,70	390,41	39,00	39
1,2	458,95	790,60	331,65	33,20	72
0,6	405,57	549,50	143,93	14,4	87
0,3	387,49	440,30	52,81	5,30	92
0,15	394,90	425,20	30,30	3,00	95
0,075	383,61	398,30	14,69	1,50	96
Fundo	542,64	576,50	33,86	3,40	100
Total	4088,97	5088,62	999,65	99,93	100

Tabela 13 - Resultados obtidos na primeira determinação para o ensaio de composição granulométrica por peneiramento realizado no LEM/UnB para o pó de brita.

Pó de brita					
Peneiras (mm)	Massa peneira vazia (g)	Massa Amostra + Peneira (g)	Massa amostra (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	475,81	475,81	0	0	0
4,8	553,75	553,75	0	0	0
2,4	486,40	623,80	137,40	13,70	13,70
1,2	458,12	763,30	305,18	30,50	44,20
0,6	405,32	608,40	203,08	20,3	64,50
0,3	387,35	537,30	149,95	15,00	79,50
0,15	387,08	473,50	86,42	8,70	88,20
0,075	381,92	428,30	46,38	4,60	92,80
Fundo	342,70	414,30	71,60	7,20	100
Total	3878,45	4878,46	1000,01	100	100

Tabela 14 - Resultados obtidos na segunda determinação para o ensaio de composição granulométrica por peneiramento realizado no LEM/UnB para o pó de brita.

Pó de brita					
Peneiras (mm)	Massa peneira vazia (g)	Massa Amostra + Peneira (g)	Massa amostra (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	475,81	475,81	0	0	0
4,8	553,75	553,75	0	0	0
2,4	486,58	612,60	126,02	12,6	13
1,2	458,2	755,80	297,60	29,8	42
0,6	405,32	612,60	207,28	20,7	63
0,3	387,32	541,70	154,38	15,4	79
0,15	387,20	478,80	91,60	9,2	88
0,075	381,97	429,80	47,83	4,8	93
Fundo	342,70	417,40	74,70	7,5	100
Total	3878,85	4878,26	999,41	100	100

Tabela 15 - Resultados obtidos na primeira determinação para o ensaio de composição granulométrica por peneiramento realizado no LEM/UnB para o pedrisco.

Pedrisco					
Peneiras (mm)	Massa peneira vazia (g)	Massa Amostra + Peneira (g)	Massa amostra (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	475,81	475,81	0	0	0
4,8	553,75	1059,00	505,25	50,5	51
2,4	486,40	973,60	487,2	48,7	99
1,2	458,12	463,40	5,28	0,5	100
0,6	405,32	405,40	0,08	0,0	100
0,3	387,35	387,50	0,15	0,0	100
0,15	387,08	387,30	0,22	0,0	100
0,075	381,92	382,10	0,18	0,0	100
Fundo	342,70	344,10	1,40	0,1	100
Total	3402,64	4402,40	999,76	100	100

Tabela 16 - Resultados obtidos na segunda determinação para o ensaio de composição granulométrica por peneiramento realizado no LEM/UnB para o pedrisco.

Pedrisco					
Peneiras (mm)	Massa peneira vazia (g)	Massa Amostra + Peneira (g)	Massa amostra (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	475,81	475,81	0	0	0
4,8	553,7	1044,4	490,7	49,1	49
2,4	486,7	990,8	504,1	50,4	99
1,2	458,1	462	3,9	0,4	100
0,6	405,32	405,4	0,08	0,0	100
0,3	387,34	387,4	0,06	0,0	100
0,15	387,06	387,2	0,14	0,0	100
0,075	381,78	381,9	0,12	0,0	100
Fundo	342,66	343,7	1,04	0,1	100
Total	3402,66	4402,8	1000,14	100	100

ANEXO D – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Na Tabela 17 apresentam-se os resultados obtidos para o ensaio de Resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados no LEM/UnB, nas idades de 14 e 28 dias.

Tabela 17 - Resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão realizados no LEM/UnB

Resistência à compressão					
Traço	Teor de fibra	14 dias		28 dias	
		Carga (Tf)	Tensão (MPa)	Carga (Tf)	Tensão (MPa)
Traço 1	Referência	15,52	4,42	18,92	5,39
		17,54	5,00	19,39	5,52
		19,13	5,45	21,2	6,04
		19,48	5,55	21,65	6,17
		20,14	5,74	23,02	6,56
		21,41	6,10	23,88	6,80
	0,5%	7,02	2,00	9,73	2,77
		7,59	2,16	9,84	2,80
		7,83	2,23	9,9	2,82
		8,53	2,43	9,93	2,83
		8,7	2,48	9,97	2,84
		9,02	2,57	10,05	2,86
	1%	5,77	1,64	6,08	1,73
		6,58	1,87	6,64	1,89
7,11		2,03	6,86	1,95	
8,2		2,34	7,64	2,18	
8,86		2,52	8,27	2,36	
8,91		2,54	9,17	2,61	
Traço 2	Referência	12,41	3,54	17,73	5,05
		12,75	3,63	18,13	5,17
		13,2	3,76	18,31	5,22
		13,71	3,91	18,52	5,28
		16,34	4,66	18,88	5,38
	0,5%	16,91	4,82	20,77	5,92
		12,66	3,61	16,23	4,62
		13,11	3,74	16,58	4,72
		13,17	3,75	17,12	4,88
		13,21	3,76	17,27	4,92
		14,09	4,01	18,69	5,32
		16,31	4,65	20,01	5,70

Na Tabela 18 apresentam-se os resultados obtidos para o ensaio de Resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados no SENAI, na idade de 28 dias.

Tabela 18 - Resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão realizados no SENAI

Resistência à compressão aos 28 Dias					
Traço	Teor de fibra	Carga (N)	Carga (tf)	Área (mm²)	Tensão (Mpa)
		105240	10,52	35490	3,00
		127400	12,74	35490	3,63
		178760	17,88	35490	5,09
	Referência	179250	17,93	35010	5,11
		182610	18,26	34621	5,20
		199360	19,94	35432	5,68
				Média	4,62
Traço 1		44750	4,48	35100	1,27
		50260	5,03	35100	1,43
		54340	5,43	35581	1,55
	1%	59180	5,92	35190	1,69
		60450	6,05	35100	1,72
		69660	6,97	34710	1,98
				Média	1,61

ANEXO E – ANÁLISE DIMENSIONAL

Na Tabela 19 apresenta-se os resultados individuais obtidos para o ensaio de análise dimensional realizado para os blocos de concreto.

Tabela 19 - Resultados obtidos nos ensaios de análise dimensional para os blocos de concreto sem função estrutural.

Análise dimensional dos blocos de concreto																									
Traço	Teor de fibra	Comprimento (mm)				Largura (mm)				Altura (mm)				Espessura de parede (mm)				Dimensão do furo (mm)							
		Individuais			Média	Individuais			Média	Individuais			Média	Longitudinal		Transversal		Long. 1	Long. 2	Trans. 1	Trans. 2				
Traço 1	Referência	390	390	391	390	90	91	91	91	188	189	189	189	22	22	23	22	21	22	21	154	153	38	39	
		Média:		22	21																				
		389	390	390	390	92	90	91	91	190	190	190	190	22	22	21	22	21	21	22	154	154	40	40	
	Média:		22	21																					
	388	388	389	388	90	89	89	89	189	189	188	189	22	22	21	21	22	22	21	155	155	39	39		
	Média:		22	22																					
1%		391	390	390	390	90	90	90	90	188	188	188	188	22	22	21	22	22	22	21	154	154	40	40	
	Média:		22	22																					
	390	390	390	390	90	90	91	90	189	189	189	189	22	21	22	22	20	21	20	155	155	40	39		
Média:		22	20																						
0,50%		391	390	390	390	90	89	91	90	187	187	187	187	22	21	21	21	21	22	21	155	155	40	39	
	Média:		21	21																					
	390	390	390	390	90	90	90	90	190	191	190	190	23	27	24	26	24	26	28	154	155	39	39		
Média:		25	26																						
		390	390	390	390	90	90	89	90	188	187	188	188	25	27	27	27	25	25	28	154	154	37	36	

