

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO**

Mário Sérgio de Andrade Zago

Estudo comparativo para reutilização das cinzas geradas na produção do etanol da cana-de-açúcar de primeira e segunda gerações em matrizes cimentícias

São Carlos

2024

Mário Sérgio de Andrade Zago

Estudo comparativo para reutilização das cinzas geradas na produção do etanol da cana-de-açúcar de primeira e segunda gerações em matrizes cimentícias

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Arquitetura, Urbanismo. Área de concentração: Arquitetura, Tecnologia e Urbanismo.

Orientador:
Prof. Dr. Javier Mazariegos Pablos

Versão corrigida
São Carlos

2024

AUTORIZO A REPRODUCAO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRONICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto de Arquitetura e Urbanismo
com os dados fornecidos pelo autor.

ZZ18e ZAGO, MARIO SERGIO DE ANDRADE
Estudo comparativo para reutilização das cinzas geradas na produção do etanol da cana-de-açúcar de primeira e segunda gerações em matrizes cimentícias / MARIO SERGIO DE ANDRADE ZAGO; orientador Javier Mazariegos Pablos. -- São Carlos, 2024.
97 p.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia -- Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2024.

1. Concretos. 2. Resíduos sólidos industriais. 3. Reutilização. 4. Cimento Portland. 5. Sustentabilidade. I. Pablos, Javier Mazariegos, orient. II. Título.

Bibliotecária responsável pela estrutura de catalogação da publicação de acordo com a AACR2:
Brianda de Oliveira Ordonho Sígolo - CRB - 8/8229

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: **Mário Sérgio de Andrade Zago**

Título da tese: "Estudo comparativo para reutilização das cinzas geradas na produção do etanol da cana-de-açúcar de primeira e segunda gerações em matrizes cimentícias".

Data da defesa: 15/05/2024

Orientador: Prof. Dr. Javier Mazariegos Pablos

Comissão Julgadora:

Resultado:

 Prof. Dr. Javier Mazariegos Pablos
 (IAU/USP)

Não votante

 Prof. Dr. Eduvaldo Paulo Sichiari
 (IAU/USP)

APROVADO

 Prof. Dr. Bruno Luís Daminelli
 (IAU/USP)

APROVADO

 Prof. Dr. Valdir Schalch
 (EESC/USP)

APROVADO

 Prof. Dr. José da Costa Marques Neto
 (UFSCar)

APROVADO

 Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Córdoba
 (UFSCar)

APROVADO

Coordenador e Presidente da Comissão de Pós-Graduação do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo: **Prof. Dr. João Marcos de Almeida Lopes.**

**“A maneira mais segura de prever o futuro é
construindo-o.”**

(Mário Sérgio de Andrade Zago)

**“As pedras do caminho não estão lá por acaso, elas fazem
parte das estratégias da vitória.”**

(Therezinha de Andrade)

DEDICATÓRIA

À minha família,
Aos meus pais, Mário Zago (*in memoriam*) e
Therezinha de Andrade.

Aos meus avós, Brenno de Andrade (*in memoriam*) e Maria Aparecida
Mesquita de Andrade (*in memoriam*).

Aos meus irmãos, Luciana, Marcelo e Márcio.

Dedico

AGRADECIMENTOS

- Ao Ser Supremo, pela vida e a possibilidade de trilhar esse caminho evolutivo, por propiciar tantas oportunidades de crescimento e aprendizado e por colocar em meu caminho pessoas amigas e preciosas.
- À minha mãe Therezinha de Andrade e ao meu pai Mário Zago (in memoriam) minha eterna gratidão pela vida, pela família, pela criação e educação.
- Ao Professor Doutor Javier Mazariegos Pablos minha gratidão pela orientação, oportunidade, confiança e amizade em anos de convivência, trabalho e ensinamentos.
- Ao Professor Doutor Eduvaldo Paulo Sichieri minha gratidão pelos conhecimentos transmitidos.
- Ao Professor Doutor Valdir Schalch pelas sugestões e presença no exame de qualificação e pelos conhecimentos compartilhados desde a graduação.
- Ao Professor Doutor Rodrigo Eduardo Córdoba pela presença e pelas sugestões no exame de qualificação.
- À Mara Aparecida Lino dos Santos, meu agradecimento pelo constante auxílio em todos os momentos, especialmente nos mais críticos.
- Aos técnicos e amigos do LCC: Sérgio Aparecido Trevelin; Paulo Wanderley Pratavieira; Paulo Cesar Albertini; José Renato Dibo; Odinei Carlos Canevarollo e Donizetti Aparecido Becaro.
- Às funcionárias de limpeza pela colaboração diária.
- À secretaria de Pós-Graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP – São Carlos.
- Ao departamento de Hidráulica e Saneamento da USP – São Carlos.
- Ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP – São Carlos.
- Ao Instituto de Química da USP – São Carlos.
- Agradeço por fim a TODOS aqueles que acreditaram no meu trabalho e que aqui não foram citados, mas com certeza, serão lembrados em algum momento, por todo apoio obtido nesta etapa de vida.

RESUMO

O presente projeto de pesquisa realizou um estudo comparativo para reutilização das cinzas geradas na produção do etanol da cana-de-açúcar de primeira e segunda gerações em matrizes cimentícias. O estudo envolveu a caracterização e classificação de resíduos sólidos, especificamente as cinzas geradas na produção de etanol de primeira geração (CBC1G) e das cinzas geradas na produção de etanol de segunda geração (CBC2G), bem como efetuou a análise desses resíduos como potenciais substitutos parciais do cimento Portland para a composição de materiais compósitos. A pesquisa abrangeu a investigação da atividade pozolânica das cinzas e a determinação de uma matriz apropriada, alinhada às características e propriedades específicas dos resíduos em questão, estabelecendo composições ideais para a combinação desses resíduos a matrizes cimentícias, seguido da avaliação abrangente do desempenho mecânico, físico e químico dos compósitos obtidos. Adicionalmente analisou-se a substituição parcial do agregado miúdo (areia) pelas cinzas. A otimização da composição visou alcançar o melhor desempenho mecânico possível. Os resultados foram então comparados com os parâmetros estabelecidos pela Norma NBR 15575 "Edificações Habitacionais – Desempenho" de 2013. Por fim, esse estudo comparativo demonstrou que os resíduos estudados podem servir como substitutos parciais do cimento Portland, considerando suas aplicações na construção civil.

Palavras-chave: Resíduos sólidos industriais, Cimento Portland, Reutilização, Concretos.

ABSTRACT

This research project carried out a comparative study for the reuse of ash generated in the production of first and second generation sugarcane ethanol in cement matrices. The study studied the characterization and classification of solid waste, specifically the ash generated in the production of first generation ethanol (CBC1G) and the ash generated in the production of second generation ethanol (CBC2G), as well as the effective analysis of these wastes as potential substitutes partial use of Portland cement in the composition of composite materials. The research covered the investigation of the pozzolanic activity of ash and the determination of a specific matrix, approving the specific characteristics and properties of the waste in question, establishing ideal compositions for combining these wastes with cementitious matrices, followed by a comprehensive assessment of the mechanics and physical performance. . and chemicals from the compounds obtained. Additionally, the partial replacement of fine aggregate (sand) with ash is analyzed. Composition optimization aims to achieve the best possible mechanical performance. The results were then compared with the configurations established by Standard NBR 15575 “Housing Buildings – Performance” of 2013. Finally, this comparative study demonstrated that the waste studied can serve as partial substitutes for Portland cement, considering its applications in civil construction.

Keywords: Industrial solid waste, Portland cement, Reuse, Concrete.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Classificação de Resíduos Sólidos (ABNT NBR-10004; 10005;10006 e 10007) . . .</i>	<i>24</i>
<i>Figura 2 – Classificação dos resíduos quanto a origem</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3 – Evolução cronológica das principais políticas de resíduos sólidos</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4 - Fluxograma de produção de Cana-de-Açúcar</i>	<i>32</i>
<i>Figura 5 – Canavial</i>	<i>33</i>
<i>Figura 6 - Bagaço da cana-de-açúcar</i>	<i>34</i>
<i>Figura 7 – ABENGOA BIOENERGIA – São João da Boa Vista – SP.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8 – GranBio – São Miguel dos Campos – AL</i>	<i>41</i>
<i>Figura 9 – Fluxograma simplificado da CBC (Freitas, 2005)</i>	<i>47</i>
<i>Figura 10 – Microscópio Eletrônico – IQSC-USP AL</i>	<i>48</i>
<i>Figura 11 - Amostras sendo vibradas para a remoção dos espaços vazios</i>	<i>52</i>
<i>Figura 12 - Peneirador Mecânico</i>	<i>54</i>
<i>Figura 13 – Granulometria CBC1G (zona utilizável)</i>	<i>55</i>
<i>Figura 14 - Granulometria CBC1G (zona ótima)</i>	<i>55</i>
<i>Figura 15 – Granulometria CBC2G (zona utilizável)</i>	<i>56</i>
<i>Figura 16 - Granulometria CBC2G (zona ótima)</i>	<i>56</i>
<i>Figura 17 – Granulometria da Areia (zona utilizável)</i>	<i>57</i>
<i>Figura 18 - Granulometria da Areia (zona ótima)</i>	<i>57</i>
<i>Figura 19 – Granulometria da Brita 0 (zona utilizável)</i>	<i>58</i>
<i>Figura 20 - Granulometria da Brita 0 (zona ótima)</i>	<i>58</i>
<i>Figura 21 – Frasco de Chapman</i>	<i>60</i>
<i>Figura 22 – Preenchimento dos corpos de prova</i>	<i>63</i>
<i>Figura 23 – Moldagem dos corpos de prova</i>	<i>64</i>
<i>Figura 24 - Execução do Ensaio de Consistência</i>	<i>65</i>
<i>Figura 25 – Ruptura de um corpo de prova</i>	<i>67</i>
<i>Figura 26 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst.. 5%)</i>	<i>73</i>
<i>Figura 27 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst.. 8%)</i>	<i>73</i>
<i>Figura 28 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst.. 10%)</i>	<i>74</i>
<i>Figura 29 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst.. 12%)</i>	<i>74</i>
<i>Figura 30 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst.. 5%)</i>	<i>80</i>
<i>Figura 31 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst.. 8%)</i>	<i>80</i>
<i>Figura 32 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst.. 10%)</i>	<i>81</i>
<i>Figura 33 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst.. 12%)</i>	<i>81</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades físicas – CP V ARI	42
Tabela 2 – Composição química – CP V ARI	42
Tabela 3 – Composição granulométrica da areia natural	43
Tabela 4 – Composição das argamassas A e B ARI	51
Tabela 5 – Resultado do índice de pozolanicidade	53
Tabela 6 – Composição granulométrica da Cinza CBC1G	55
Tabela 7 – Composição granulométrica da Cinza CBC2G	56
Tabela 8 – Composição granulométrica da Areia	57
Tabela 9 – Composição granulométrica da Brita 0	58
Tabela 10 – Massa específica da Areia (Frasco de Chapman)	61
Tabela 11 – Massa específica da Brita 0 (Frasco de Chapman)	61
Tabela 12 – Massa unitária no estado solto da CBC1G	62
Tabela 13 – Massa unitária no estado solto da CBC2G	62
Tabela 14 – Massa unitária no estado solto da Areia	63
Tabela 15 – Massa unitária no estado solto da Brita 0	63
Tabela 16 – Composição do concreto padrão	65
Tabela 17 – Composição com substituição de 5% de cimento por CBC1G/CBC2G	65
Tabela 18 – Composição com substituição de 8% de cimento por CBC1G/CBC2G	66
Tabela 19 – Composição com substituição de 10% de cimento por CBC1G/CBC2G	66
Tabela 20 – Composição com substituição de 12% de cimento por CBC1G/CBC2G	66
Tabela 21 – Massa do corpo de prova	66
Tabela 22 – Ensaio de compressão simples – Padrão – NBR 5739	68
<i>Tabela 23 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (5%) – NBR 5739</i>	<i>68</i>
Tabela 24 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (5%) – NBR 5739	69
Tabela 25 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (8%)– NBR 5739	69
Tabela 26 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (8%) – NBR 5739	70
Tabela 27 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (10%)– NBR 5739	70
Tabela 28 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (10%) – NBR 5739	71
Tabela 29 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (12%)– NBR 5739	71
Tabela 30 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (12%) – NBR 5739	72
Tabela 31 – Ensaio de compressão simples – Padrão – NBR 5739	75
<i>Tabela 32 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (5%) – NBR 5739</i>	<i>75</i>
<i>Tabela 33 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (5%) – NBR 5739</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 34 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (8%)– NBR 5739</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 35 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (8%) – NBR 5739</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 36 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (10%)– NBR 5739</i>	<i>77</i>

<i>Tabela 37 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (10%) – NBR 5739</i>	78
<i>Tabela 38 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (12%)– NBR 5739</i>	78
<i>Tabela 39 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (12%) – NBR 5739</i>	79
<i>Tabela 40 – Absorção de água CBC1G (substituição de 10% do cimento)</i>	82
<i>Tabela 41 – Absorção de água CBC2G (substituição de 10% do cimento)</i>	82

LISTA DE QUADROS

<i>Quadro 1 – Limites Granulométricos – Areias</i>	44
<i>Quadro 2 – Granulometria – Pedrisco</i>	45
<i>Quadro 3 – Análise MEV-EDS CBC1G</i>	49
<i>Quadro 4 – Análise MEV-EDS CBC1G</i>	50
<i>Quadro 5 – Comparativo MEV-EDS das composições CBC1G e CBC2G</i>	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ACBC: Areia da Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar;
CAA: Concreto Autoadensável;
CBC: Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar;
CBC1G: Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar de Primeira Geração;
CBC2G: Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar de Segunda Geração;
CCCC: Cinza da Casca da Castanha de Caju;
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo;
CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento;
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente;
CP: Corpo de Prova;
DEMa: Departamento de Engenharia de Materiais;
EESC: Escola de Engenharia de São Carlos;
fck: resistência característica à compressão;
fcj: resistência do concreto à compressão expresso em dias (j);
IAU: Instituto de Arquitetura e Urbanismo;
IQSC: Instituto de Química de São Carlos;
LCC: Laboratório de Construção Civil;
MPa: megapascal;
N: Newton;
NBR: Norma Brasileira;
PMGIRS: Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos;
PMSB: Plano Municipal de Saneamento Básico;
PNRS: Política Nacional de Resíduos Sólidos;
SHS: Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos;
SISNAMA: Sistema Nacional de Meio Ambiente;
SINIR: Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos;
SNVS: Sistema Nacional de Vigilância Sanitária;
S/S: Solidification/Stabilization (solidificação/estabilização);
tf: Tonelada-força
SUASA: Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária;
UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul;
UFSCar: Universidade Federal de São Carlos;
USP: Universidade de São Paulo.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	17
2 HIPÓTESES E OBJETIVOS	19
2.1. Hipóteses	19
2.2. Objetivos	19
2.2.1 Objetivos gerais	19
2.2.2 Objetivos específicos	19
3 REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1. Trabalhos semelhantes	20
3.2. Resíduos sólidos	23
3.2.1. Política Nacional de Resíduos Sólidos	25
3.2.2. Evolução Cronológica da Legislação Ambiental	28
3.3. Cana-de-açúcar	31
3.4. Cimento Portland	34
3.5. Encapsulação de resíduos sólidos	37
3.5.1. Definições	37
3.5.2. Técnicas Desenvolvidas	38
3.5.2.1. Solidificação/Estabilização com cimento Portland	38
3.6. Pozolanidade	39
4. MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1. Material	40
4.1.1. Cinza do Bagado da Cana-de-açúcar (CBC1G)	40
4.1.2. Cinza do Bagado da Cana-de-açúcar (CBC2G)	40
4.1.3. Cimento Portland CP V ARI	41
4.1.4. Areia natural	42
4.1.5. Pedrisco	44
4.2. Métodos	45
4.3. Caracterização dos resíduos	46
4.3.1. Conhecimento da fonte geradora	46
4.3.2. Classificação dos resíduos – análise dos extratos lixiviado e solubilizado	47
4.3.3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia por Energia Dissipativa (EDS) – composição química elementar qualitativa	48
4.3.4. Análise da capacidade pozolânica	51
4.3.5. Caracterização dos resíduos como agregado	53
4.3.5.1. Composição granulométrica (ABNT NBR NM 248:2003)	54
4.3.5.2 Massa específica (ABNT NBR 9776)	59
4.3.5.3 Massa unitária no estado solto (ABNT NBR 7251)	61

4.4. Construção das matrizes cimentícias	63
4.4.1. Estabelecimento das composições preliminares (substituição parcial do cimento pelas cinzas)	64
4.4.2. Verificação do desempenho mecânico (substituição parcial do cimento pelas CBC1G e CBC2G)	67
4.4.3. Adequação do melhor desempenho mecânico (substituição parcial do cimento).	72
4.4.4. Verificação do desempenho mecânico (substituição parcial do agregado miúdo pelas CBC1G e CBC2G)	75
4.4.5. Adequação do melhor desempenho mecânico (substituição parcial do agregado miúdo)	79
4.4.6. Verificação do desempenho físico das peças – absorção de água	82
4.4.7. Verificação do desempenho químico das peças – eficiência de estabilização (lixiviação e solubilização)	83
5. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM RELAÇÃO À NORMA NBR 15575/2013	83
6. RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS DOS MATERIAIS ESTUDADOS QUANTO ÀS SUAS POSSÍVEIS APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL	83
7. CONCLUSÕES	84
REFERÊNCIAS	86
ANEXO 1	92
ANEXO 2	95

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo, com 25% de participação no mercado global, depois dos EUA. Enquanto os EUA dependem do milho para produzir etanol, o Brasil produz a partir da cana-de-açúcar. O etanol é uma fonte de combustível brasileira cuja origem remonta a princípios do século 20, mas que só ganhou força em 1973, com a crise do petróleo que resultou na criação do Programa Nacional do Álcool, o PROÁLCOOL. O programa acelerou o investimento público e privado na produção do bioetanol, tornando-se a peça central do setor de energia brasileiro.

O etanol está entrando em uma nova etapa no Brasil. A produção em escala comercial a partir da palha e do bagaço da cana, e não com o caldo, o etanol de segunda geração (2G). Atualmente (2022), o Brasil produz etanol de segunda geração através da Granbio, localizada em São Miguel dos Campos, em Alagoas, inaugurada em 2014, e da Raízen, situada em Piracicaba, no interior de São Paulo, que entrou em operação no final de 2014. Em 2021, a Raízen em Piracicaba (SP), produziu 42 milhões de litros do biocombustível e a Granbio 30 milhões de litros (a produção de etanol 1G de cana-de-açúcar em 2021 foi de 26,4 bilhões de litros – CONAB).

A introdução, em 2003, dos veículos flex, que podem ser abastecidos tanto com gasolina quanto com etanol hidratado, se tornou rapidamente o padrão da frota de carros brasileira. Em 2014, os veículos flex respondiam por 88% das vendas de veículos leves e consolidavam a viabilidade de um mercado de etanol doméstico. Os benefícios ambientais do etanol em relação aos demais tipos de combustível permitiram ao Brasil tornar-se líder do espaço de combustíveis alternativos.

Acontecimentos recentes apontam para outros desafios à indústria brasileira do etanol. A descoberta, em 2007, de reservas de petróleo na camada de pré-sal no litoral do Rio de Janeiro, e a queda brusca dos preços do petróleo em 2015, contribuíram para que o etanol perdesse força. Do ponto de vista da oferta, o processamento do etanol de primeira geração (1G) está começando a dar sinais de cansaço. No período de 2013-2014, foram construídas apenas três novas usinas de etanol, ante 30 entre 2008 e 2009. O rendimento da produção convencional estagnou em 6.000 litros por hectare. Desde 2011, as empresas brasileiras investiram pesadamente no desenvolvimento de tecnologias 2G. Os ganhos em eficiência resultantes da utilização do material refugado são consideráveis: a mesma área plantada pode gerar até 50% a mais de combustíveis. Um ponto fundamental é que o etanol 2G é exatamente o mesmo que o etanol 1G: não há diferença de uso ou de produção de energia.

O processo de produção do etanol 2G usa enzimas para decompor a celulose das plantas. Inicialmente, um lote de enzimas só podia ser usado uma única vez. A indústria está trabalhando na criação de enzimas que sobrevivam e possam ser reusadas em vários ciclos de produção. Isso reduziria o preço e melhoraria a competitividade, que são fatores importantes em um cenário de energia global em que o petróleo é mais barato a cada dia.

Uma fermentação ideal para a produção do etanol 2G requer o pré-tratamento a vapor das folhas e do bagaço e a execução de uma hidrólise enzimática. Duas grandes inovações resultaram em melhorias substanciais no processo de produção. Primeiro, as enzimas são agora integradas em um processo de conversão mais produtivo. Um artigo publicado no Brasil em 2015, “Biotecnologia para biocombustíveis”, assinalava que um aumento de 55% na conversão enzimática gerava um aumento de 25% no rendimento do biocombustível de cana-de-açúcar. Em segundo lugar, as enzimas compradas pelos laboratórios são hoje em grande medida reutilizáveis. Isso resultou em uma redução significativa no custo marginal de produção do etanol 2G.

Uma das mudanças mais importantes trazidas pelo etanol 2G é a utilização da celulose no lugar da sacarose. A celulose é o componente estrutural básico das plantas verdes, de algumas algas e outros tipos de vida orgânica. Como se trata de elemento presente em praticamente toda vida vegetal, as opções de derivação do etanol usando um processo 2G são extremamente flexíveis em relação aos insumos utilizados. Como consequência, essa flexibilidade abre um amplo conjunto de opções para a criação de estoques de insumos com maior conteúdo de celulose, permitindo, ao mesmo tempo, que as lavouras sejam adaptadas a ambientes específicos. Essas lavouras, chamadas de lavouras de energia, são geneticamente trabalhadas para que tenham traços favoráveis que incluam alto rendimento e flexibilidade.

Um dos principais resíduos gerados no processo industrial do setor sucroalcooleiro é a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), derivada da queima do bagaço da cana nas caldeiras para a produção de energia elétrica (cogeração). Esse material é descartado no solo como adubo nas lavouras de cana-de-açúcar, no caso da produção do etanol de primeira geração.

Na produção do etanol de segunda geração, as cinzas (CBC2G – cinza do bagaço da cana de segunda geração) são geradas pela queima do bagaço, da palha e da lignina (resíduo da destilação do etanol).

Dentro desse contexto torna-se essencial reaproveitar, ou reciclar os rejeitos e os resíduos por ele gerados, como forma de recuperar matéria e energia, visando preservação de recursos naturais, uma menor degradação do meio ambiente e uma melhoria nas condições de vida das comunidades.

Dessa forma, esta pesquisa, a qual é continuação do trabalho de Mestrado de Mário Sérgio de Andrade Zago (2017), pretende caracterizar as cinzas (CBC2G) oriundas da produção do etanol de segunda geração, compará-la à CBC gerada na produção do etanol convencional e verificar as possibilidades do seu reaproveitamento na produção de matrizes cimentícias, visando aplicação no setor da construção civil.

2. HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1 HIPÓTESES

As matrizes cimentícias compostas com a CBC1G e CBC2G possuem viabilidade técnica na produção de concretos para construção civil.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver material compósito cimentício, a partir da reciclagem das cinzas da queima da palha, da lignina e do bagaço da cana-de-açúcar geradas na produção de etanol de segunda geração, comparando com o material compósito cimentício produzido com as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar geradas na produção de etanol de primeira geração, primeiramente substituindo parte do cimento pelas cinzas e posteriormente substituindo parte do agregado miúdo (areia) pelas cinzas, visando aplicação na construção civil.

2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conhecimento da fonte geradora.
- Caracterizar e classificar os resíduos sólidos (CBC1G e CBC2G);
- Caracterizar o resíduo sólido como agregado, para utilização na composição de materiais compósitos;
- Investigar a atividade pozolânica das cinzas;
- Determinar matriz adequada de acordo com características e propriedades do resíduo;
- Determinar composições de resíduo/aglomerante;

- Verificar o desempenho mecânico, físico e químico do compósito obtido.
- Adequar a composição com melhor desempenho mecânico;
- Comparar os resultados obtidos com relação à Norma NBR 15575 “Edificações Habitacionais – Desempenho”. 2013;
- Elaborar recomendações técnicas do material estudado quanto às suas possíveis aplicações na construção civil.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Trabalhos semelhantes

Marcos Oliveira de Paula, 2006, apresentou Dissertação de Mestrado intitulada: “Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial do cimento Portland”, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, sob orientação da Prof^a. Dr^a. Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.

Com base nos resultados deste trabalho pode-se concluir que a CBC possui capacidade pozolânica e que os ensaios obtidos de compressão das argamassas com substituição de cimento Portland por teores de CBC entre 0 e 30%, aos 7 e 28 dias, indicaram a possibilidade de substituição de até 20% do cimento pela CBC, sem prejuízo da resistência mecânica.

Celso Yoji Kawabata, 2008, apresentou Tese de Doutorado intitulada: “Aproveitamento de cinzas da queima de resíduos agroindustriais na produção de compósitos fibrosos e concreto leve para a construção rural”, à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, sob orientação do Prof. Dr. Holmer Savastano Junior.

O trabalho investigou a utilização das cinzas da casca de arroz, da cama de frango e do bagaço da cana-de-açúcar em substituição parcial ao cimento Portland na fabricação de fibrocimento e concreto leve. As cinzas de cama de frango e bagaço de cana-de-açúcar apresentaram desempenho satisfatório, mas inferiores à cinza de casca de arroz quanto a utilização para a substituição do cimento Portland na produção de concreto. Nos ensaios mecânicos a cinza da casca de arroz obteve melhores resultados em relação as outras duas. Nos ensaios físicos a cinza de cama de frango apresentou melhores efeitos. Nos ensaios com concreto leve a cinza de cama de frango apresentou-se inadequada em relação aos ensaios

de flexão, porém, nos ensaios de compressão todas as cinzas apresentaram resultados semelhantes.

Sofia Araújo Lima, 2008, apresentou Dissertação de Mestrado intitulada:

“Análise da viabilidade do uso de cinzas agroindustriais em matrizes cimentícias: estudo de caso da cinza da castanha de caju”, ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, sob orientação do Prof. Dr. João Adriano Rossignolo.

O trabalho apontou ser possível a substituição de cimento Portland por CCCC (Cinza da Casca da Castanha de Caju) no valor de 2,5% em massa, segundo as análises de resistência à compressão de corpos-de-prova de argamassa. Além da possibilidade da utilização de matrizes dessa natureza para aplicação da técnica S/S (solidificação/estabilização) no pós-tratamento da CCCC, já que se trata de um material potencialmente perigoso ao meio ambiente, não podendo ser descartado em aterros sanitários comuns.

Flávia Spitale Jacques Poggiali, 2010, apresentou Dissertação de Mestrado intitulada: “Desempenho de microconcretos fabricados com cimento Portland com adições de cinza de bagaço de cana-de-açúcar”, ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais, sob orientação da Prof^a. Dr^a. Maria Teresa Paulino Aguilari e do Prof. Dr. Adriano de Paula Silva.

Os microconcretos (compósitos cimentícios para fins estruturais, os quais possuem em sua composição areia, cimento e água, sem a adição de agregados graúdos) confeccionados com cinzas finas e grossas moídas apresentaram comportamento semelhante nos ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade e absorção de água a concretos convencionais. Os melhores resultados alcançados entre todos os teores de substituição foram os encontrados com as substituições de 10 e 15%. O mecanismo de atuação das cinzas parece estar relacionado ao preenchimento de vazios (efeito *filler*).

Jean Marcelo Fernandes Souto, 2010, apresentou Dissertação de Mestrado intitulada: “Avaliação do desempenho da cinza do bagaço de cana-de-açúcar na produção de concreto”, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá, sob orientação do Prof. Dr. Romel Dias Vanderlei.

Como fruto deste trabalho, dois empregos podem ser propostos para a CBC. Por promover o aumento da resistência à compressão do concreto com fator a/c

acima do empregado na amostra de referência, a cinza de bagaço de cana-de-açúcar pode ser empregada com o intuito de reduzir o consumo de cimento para uma mesma resistência mecânica. Outra alternativa refere-se à adição de cinza residual em substituição ao agregado miúdo, sendo possível a aplicação de teores de até 20 % de cinza em massa de cimento. Com a adição da cinza residual com $d_{m\acute{a}x}$ de 0,150 mm, foram obtidos resultados 12 % acima do concreto de referência, para adições de 15% de CBC.

Marisa Fujiko Nagano. 2014, apresentou Dissertação de Mestrado intitulada: “Dosagem do concreto autoadensável utilizando a cinza do bagaço da cana-de-açúcar”, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá, sob orientação do Prof. Dr. Romel Dias Vanderlei.

Verificou-se, com o desenvolvimento deste trabalho, que o mesmo proporcionou contribuições de procedimentos de dosagem para a obtenção do concreto autoadensável sem CBC e com a utilização de 10 % e 20 % da CBC, substituindo o agregado miúdo. Conclui-se que é possível produzir CAA com CBC em substituição parcial ao agregado miúdo natural nos percentuais de 10% e 20 %, sem que haja alterações significativas na resistência à compressão do CAA e no comportamento das curvas de dosagens estabelecidas experimentalmente.

Juliana Petermann Moretti, 2014, apresentou Dissertação de Mestrado intitulada: “Estudo de viabilidade técnica da utilização da ACBC e do RCC na composição de concretos” ao programa em Estruturas e Construção Civil da UFSCar, sob a orientação do Prof. Dr. Almir Sales.

O trabalho indicou a possibilidade do uso conjunto da ACBC (Areia de Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar) e de RCC (Resíduos da Construção Civil) como substitutos parciais de agregados naturais em concretos, pois, a redução da resistência mecânica pode ser considerada baixa frente às possibilidades de utilização dos concretos contendo esses resíduos. A utilização da ABCB e de RCC pode contribuir em termos econômicos devido à possibilidade de agregar valor a resíduos que são passivos ambientais, além de minimizar impactos ambientais através da mitigação da mineração dos agregados naturais para uso na construção civil, e da redução de áreas destinadas para aterro desses resíduos.

Juliana Argente Caetano, 2016, apresentou Dissertação de Mestrado intitulada:

“Reaproveitamento do resíduo Terra da Shredder através da técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland para aplicação na construção civil”, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento da Universidade de São Paulo, sob orientação do Professor Associado Valdir Schalch.

Inicialmente o trabalho verificou o potencial de contaminação do resíduo “Terra de Shredder” através dos ensaios de lixiviação e solubilização, classificando-o como classe IIA – não perigoso e não inerte. Posteriormente, com adição de 20% do resíduo na matriz de concreto, como parte do agregado miúdo, determinou uma queda na resistência mecânica de aproximadamente 33% em relação ao concreto referência. Em seguida definiu-se em 20% a substituição da areia natural pelo resíduo para a produção de peças de concreto para pavimentação. Com este percentual de substituição verificou-se que, aos 9 dias, o resultado obtido referente à resistência mecânica ficou acima do exigido pela norma. E aos 28 dias o resultado ficou apenas 0,9 MPa abaixo do estabelecido pela norma. Na etapa de produção do elemento construtivo (blocos de concreto para pavimentação) verificou-se um bom desempenho físico no ensaio de absorção de água, atendendo as exigências estabelecidas pela norma. A análise química demonstrou alta eficiência de estabilização. Assim, os resultados obtidos comprovaram a viabilidade técnica do reaproveitamento do resíduo utilizado.

3.2. Resíduos sólidos

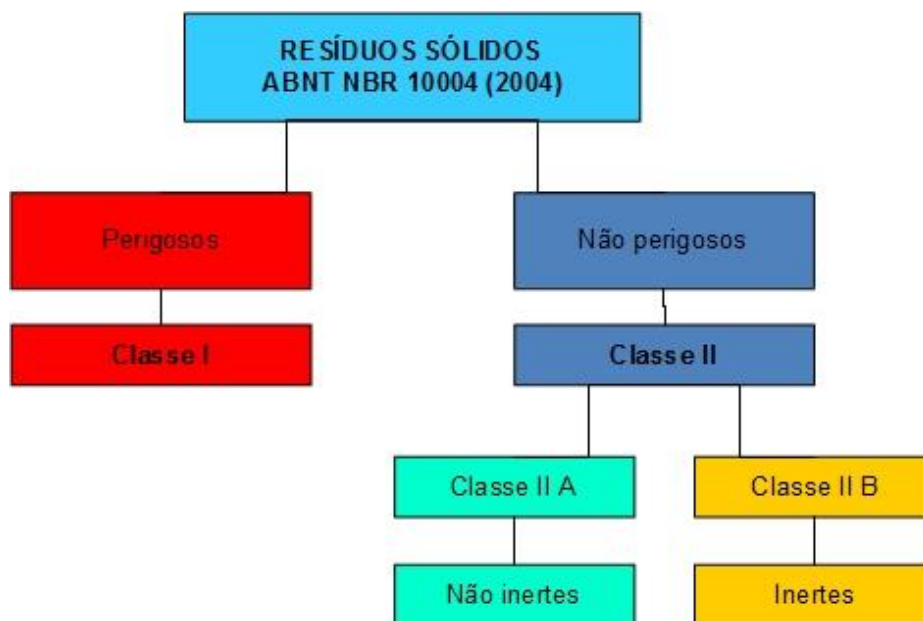
Segundo a Norma ABNT NBR-10004/2004, resíduos sólidos são resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento 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.

Conforme mostra a figura 4, a norma citada classifica os resíduos em:

- a) Resíduos Classe I – Perigosos;
- b) Resíduos Classe II – Não Perigosos;
 - Classe II A – Não Inertes
 - Classe II B – Inertes

São considerados resíduos perigosos os que apresentarem características de periculosidade, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, podendo representar riscos à saúde pública e ao meio ambiente, assim como os que possuem propriedades de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Figura 1 - Classificação de Resíduos Sólidos



Fonte: ABNT NBR-10004; 10005;10006 e 10007

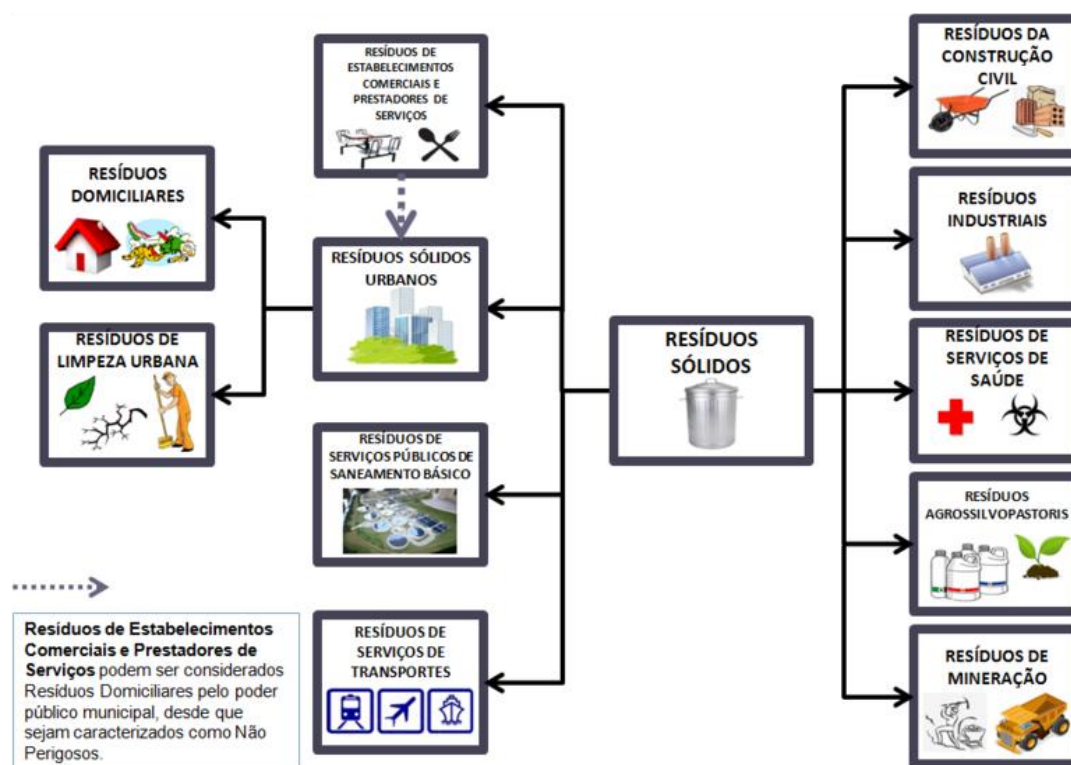
Segundo a ABNT NBR 10.004, que estabelece a classificação de resíduos sólidos, os resíduos são divididos em duas categorias principais: "Resíduos Classe I - Perigosos" e "Resíduos Classe II - Não Perigosos". Os Resíduos Classe I são caracterizados por apresentar riscos à saúde pública, ao meio ambiente ou a outros bens materiais devido às suas características intrínsecas, podendo incluir elementos inflamáveis, corrosivos, tóxicos ou radioativos. Por outro lado, os Resíduos Classe II, não perigosos, não se enquadram nessas características de periculosidade, sendo compostos por resíduos orgânicos, recicláveis, inertes, entre outros. Ambas as categorias exigem tratamento, armazenamento e disposição adequados, mas a distinção entre resíduos perigosos e não perigosos é fundamental para orientar as práticas de gerenciamento e minimizar impactos negativos à saúde humana e ao meio ambiente. Recomenda-se consultar as normas atualizadas para garantir a conformidade com as regulamentações vigentes.

Os resíduos sólidos industriais inertes, conforme a ABNT NBR 10004, são aqueles que não têm características de periculosidade, ou seja, não apresentam riscos significativos ao meio ambiente ou à saúde pública. Eles são considerados "inertes" porque não reagem de maneira adversa com outros materiais e não causam impactos negativos relevantes.

No artigo 13 da PNRS (2010) são estabelecidas as formas de classificação dos resíduos quanto à sua periculosidade, o que facilita a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos. Quanto à origem, os resíduos sólidos são classificados em resíduos domiciliares, resíduos de

limpeza urbana, resíduos sólidos urbanos, resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, resíduos dos serviços públicos de saneamento básico, resíduos industriais, resíduos de serviços de saúde, resíduos da construção civil, resíduos agrossilvopastoris, resíduos de serviços de transportes e resíduos de mineração (Figura 2).

Figura 2 – Classificação dos resíduos quanto a origem



Fonte: Schalch, Valdir

3.2.1. Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Lei nº 12.305/10) contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao País no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. (Novo decreto).

Prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado).

Institui a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos: dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, o cidadão e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos na Logística Reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo e pós-consumo.

Cria metas importantes que irão contribuir para a eliminação dos lixões e institui instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microrregional, intermunicipal e metropolitano e municipal; além de impor que os particulares elaborem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

Também coloca o Brasil em patamar de igualdade aos principais países desenvolvidos no que concerne ao marco legal e inova com a inclusão de catadoras e catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis, tanto na Logística Reversa quando na Coleta Seletiva.

DECRETO Nº 7.404, DE 23 DE DEZEMBRO DE 2010. (Revogado pelo Decreto nº 10.936, de 2022).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010) foi regulamentada pelo DECRETO Nº 7.404, DE 23 DE DEZEMBRO DE 2010, que cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências.

Este Decreto estabelece normas para execução da Política Nacional de Resíduos Sólidos, de que trata a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010.

A Lei estabelece uma diferenciação entre resíduo e rejeito num claro estímulo ao reaproveitamento e reciclagem dos materiais, admitindo a disposição final apenas dos rejeitos. Inclui entre os instrumentos da Política as coletas seletivas, os sistemas de logística reversa, e o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas e outras formas de associação dos catadores de materiais recicláveis.

O capítulo II-DEFINIÇÕES estabelece, entre outros, as definições de rejeitos e resíduos sólidos:

XIV - reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa;

XV - rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou

se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

XVIII - reutilização: processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa;

Plano de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (29/10/2014)

O Plano de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo foi lançado em 29 de outubro de 2014, em cerimônia que atraiu grande público ao anfiteatro da Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SMA). Trata-se de um importante instrumento previsto nas Políticas Nacional e Estadual de Resíduos Sólidos, e que faz parte de um processo que objetiva provocar uma gradual mudança de atitude, hábitos e consumo na sociedade paulista.

O objetivo do plano é permitir ao Estado programar e executar atividades capazes de transformar a situação atual em uma condição desejada, de modo a aumentar a eficácia e a efetividade da gestão dos resíduos sólidos. O documento lida com questões de curto, médio e longo prazos, com vistas não só a resolver problemas imediatos, mas também a evitar e mitigar problemas futuros e potencializar boas práticas e soluções inovadoras na área.

O Plano Estadual de Resíduos Sólidos é composto por quatro seções: o Panorama dos Resíduos, que retrata a situação da gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos no estado; o Estudo de Regionalização e Proposição de Arranjos Intermunicipais, que tem o intuito de fomentar a descentralização das políticas públicas voltadas à gestão dos resíduos sólidos e o compartilhamento de serviços e atividades de interesse comum aos municípios, a fim de permitir a otimização dos recursos – financeiros, materiais e humanos – e a geração de economia de escala; a Proposição de Cenários, que busca a visualização de possíveis configurações futuras para os resíduos sólidos, a partir de projeções de geração; e as Diretrizes, Metas e Ações, que tratam de estratégias a serem adotadas ao longo de dez anos para assegurar a implementação do Plano Estadual, norteadas pela obrigatoriedade de adoção da hierarquização na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos – não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final adequada dos rejeitos.

O processo de validação do documento pela sociedade foi feito por consultas e audiências públicas. Entre janeiro e abril de 2014, o Panorama dos Resíduos Sólidos ficou disponível no website da SMA para consulta pública. A versão preliminar do Plano Estadual de Resíduos Sólidos esteve em consulta pública entre julho e agosto de 2014; e no mesmo período, foram realizadas cinco Audiências Públicas do Plano, em cinco regiões do estado.

Essas etapas foram fundamentais para o aperfeiçoamento e a construção conjunta do documento, de forma participativa e transparente.

3.2.2. Evolução Cronológica da Legislação Ambiental

1991

Projeto de Lei 203 dispõe sobre acondicionamento, coleta, tratamento, transporte e destinação dos resíduos de serviços de saúde.

30 de junho de 1999

Proposição Conama 259 intitulada Diretrizes Técnicas para a Gestão de Resíduos Sólidos. Aprovada pelo plenário do conselho, mas não chegou a ser publicada.

2001

Câmara dos Deputados cria e implementa Comissão Especial da Política Nacional de Resíduos com o objetivo de apreciar as matérias contempladas nos projetos de lei apensados ao Projeto de Lei 203/91 e formular uma proposta substitutiva global. Com o encerramento da legislatura, a Comissão foi extinta.

Realizado em Brasília o 1º Congresso Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis, com 1.600 congressistas, entre catadores, técnicos e agentes sociais de 17 estados. Eles promoveram a 1ª Marcha Nacional da População de Rua, com 3.000 participantes.

2003

Em janeiro foi realizado, em Caxias do Sul, o I Congresso Latino-Americano de Catadores, que propõe formação profissional, erradicação dos lixões, responsabilização dos geradores de resíduos.

Presidente Lula institui Grupo de Trabalho Interministerial de Saneamento Ambiental a fim de promover a integração das ações de saneamento ambiental, no âmbito do governo federal. GT reestrutura o setor de saneamento e resulta na criação do Programa Resíduos Sólidos Urbanos.

Realizada a I Conferência de Meio Ambiente.

2004

MMA promove grupos de discussões interministeriais e de secretarias do ministério para elaboração de proposta para a regulamentação dos resíduos sólidos.

Em agosto do mesmo ano, o Conama realiza o seminário “Contribuições à Política Nacional de Resíduos Sólidos” com objetivo de ouvir a sociedade e formular nova proposta de projeto de lei, pois a Proposição Conama 259 estava defasada.

2005

Criado grupo interno na Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos do MMA para consolidar contribuições do Seminário Conama, os anteprojetos de lei existentes no Congresso Nacional e as contribuições dos diversos atores envolvidos na gestão de resíduos sólidos.

Encaminhado anteprojeto de lei de “Política Nacional de Resíduos Sólidos”, debatido com Ministérios das Cidades, da Saúde, mediante sua Fundação Nacional de Saúde-Funasa, do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, do Planejamento, Orçamento e Gestão, do Desenvolvimento Social e Combate à Fome e da Fazenda.

Realizada II Conferência Nacional de Meio Ambiente, para consolidar participação da sociedade na formulação de políticas ambientais. Um dos temas prioritários são os resíduos sólidos.

Realizados seminários regionais de resíduos sólidos, promovidos pelo Conama, Ministério do Meio Ambiente, Ministério das Cidades, Funasa, Caixa Econômica Federal e ainda debates com a Confederação Nacional das Indústrias (CNI), Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP), Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES), Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), e com outras entidades e organizações afins, tais como Fórum Lixo & Cidadania e Comitê Interministerial de Inclusão Social dos Catadores de Lixo.

Instituída nova Comissão Especial na Câmara dos Deputados.

2006

Aprovado relatório (deputado Ivo José) que trata do PL 203/91 acrescido da liberação da importação de pneus usados no Brasil.

2007

Executivo propõe, em setembro, o PL 1991. O projeto de lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos, considerou o estilo de vida da sociedade contemporânea, que aliado às estratégias de

marketing do setor produtivo, levam a um consumo intensivo provocando uma série de impactos ambientais, à saúde pública e sociais incompatíveis com o modelo de desenvolvimento sustentado que se pretende implantar no Brasil.

O PL 1991/2007 apresenta forte inter-relação com outros instrumentos legais na esfera federal, tais como a Lei de Saneamento Básico (Lei nº11.445/2007 atualizada pelo novo Marco Legal 14.026/2020) e a Lei dos Consórcios Públicos (Lei nº11.107/1995), e seu Decreto regulamentador (Decreto nº. 6.017/2007). De igual modo está inter-relacionado com as Políticas Nacionais de Meio Ambiente, de Educação Ambiental, de Recursos Hídricos, de Saúde, Urbana, Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior e as que promovam inclusão social.

Texto é finalizado e enviado à Casa Civil.

Constituído GT (GTRESID) para analisar subemenda substitutiva proposta pelo relator, deputado Arnaldo Jardim, que envolveu reuniões com a Casa Civil.

2008

Realizadas audiências públicas, com contribuição da CNI, da representação de setores interessados, do Movimento Nacional de Catadores de Materiais Recicláveis e dos demais membros do GTRESID.

2009

Em junho, uma minuta do Relatório Final foi apresentada para receber contribuições adicionais.

2010

No dia 11 de março, o plenário da Câmara dos Deputados aprovou em votação simbólica um substitutivo ao Projeto de Lei 203/91, do Senado, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e impõe obrigações aos empresários, aos governos e aos cidadãos no gerenciamento dos resíduos.

Depois o projeto seguiu para o Senado. Foi analisado em quatro comissões e no dia 7 de julho foi aprovado em plenário.

No dia 2 de agosto, o presidente Luiz Inácio Lula da Silva, em cerimônia no Palácio do Itamaraty, sancionou a lei que cria a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

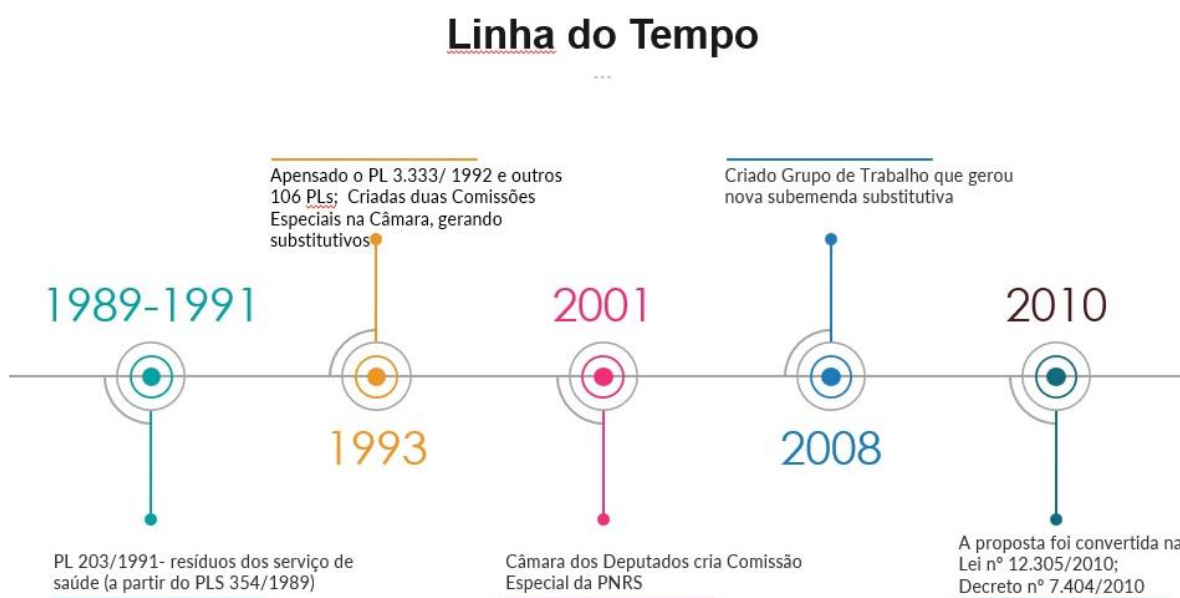
No dia 3 é publicada no Diário Oficial da União a Lei nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências.

No dia 23 de dezembro é publicado no Diário Oficial da União o Decreto nº 7.404, que regulamenta a Lei nº12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de

Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências.

Também no dia 23 é publicado o Decreto nº 7405, que institui o Programa Pró-Catador, denomina Comitê Interministerial para Inclusão Social e Econômica dos Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis o Comitê Interministerial da Inclusão Social de Catadores de Lixo criado pelo Decreto de 11 de setembro de 2003, dispõe sobre sua organização e funcionamento, e dá outras providências. A figura 3 destaca os principais eventos relacionados às políticas de resíduos sólidos.

Figura 3 – Evolução cronológica das principais políticas de resíduos sólidos



Fonte: Schalch, Valdir

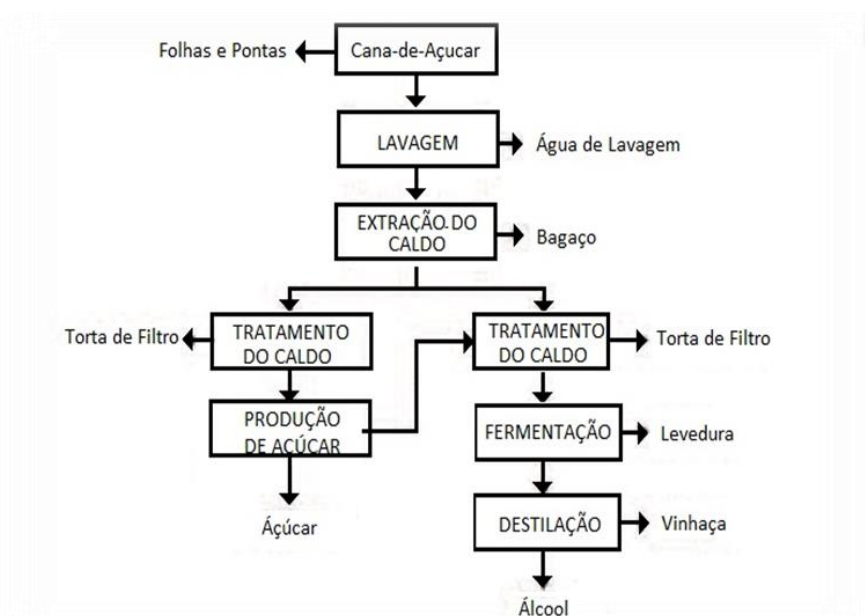
3.3. Cana-de-açúcar

Historicamente a cana-de-açúcar (figura 4) é cultivada em larga escala no Brasil para a produção de açúcar, mas é nas primeiras décadas do século XX que o Brasil começou a utilizar de forma sistemática o álcool etílico como combustível. Contudo, o álcool anidro adicionado à gasolina passou a ser bastante utilizado somente após a criação do “PROGRAMA NACIONAL DO ÁLCOOL PELO GOVERNO FEDERAL” (PROÁLCOOL) em 1975. Este programa foi criado com a intenção de promover uma menor dependência do país em relação à exportação de petróleo. Porém o programa foi apresentar resultados relevantes após a crise de 1979, quando foi dado início à

segunda etapa do PROÁLCOOL, que objetivava a geração de álcool hidratado como combustível, de forma a substituir a gasolina. O sucesso do programa foi tão grande que no ano de 1985 cerca de 96% dos automóveis já possuíam motores movido a álcool hidratado. Dentro deste contexto os níveis de produção nacional de cana-de-açúcar obtiveram um grande crescimento, sendo produzida em mais de 130 países, o Brasil hoje se encontra na posição de maior produtor mundial de cana-de-açúcar com uma estimativa de produção total para a safra 2022/23, de 572,9 milhões de toneladas, redução de 1% sobre a safra 2021/22 (CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento 2022). Assim, com essa destacada posição mundial no que diz respeito à produção de cana-de-açúcar, é gerado em nosso país uma grande quantidade de subprodutos oriundos desse processo. Os principais subprodutos da indústria sucroalcooleira são: folhas e pontas, água de lavagem, bagaço, torta de filtro, leveduras e vinhaça (figura 2). A água de lavagem, utilizada no processo anterior à moagem, pode ser utilizada no processo de geração de biogás e até mesmo na fertilização e irrigação.

O bagaço (figura 5) é utilizado na forma de geração de energia (vapor/eletricidade), combustíveis, polpa de papel, celulose e aglomerados. As folhas e pontas além de poderem ter o mesmo destino que o bagaço, podem ser utilizadas como forragem (*Forragem animal é a designação comum dada a alimentação ou revestimento do local onde dorme o animal*). A vinhaça é utilizada como fertilizante no processo de adubação de canaviais, bem como a torta de filtro. Para cada litro de álcool são produzidos cerca de dez a treze litros de vinhaça.

Figura 4 - Fluxograma de produção de Cana-de-Açúcar



Fonte: Zago, M. S. A.

A torta de filtro é um resíduo rico em minerais (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e matéria orgânica, principalmente proteínas e lipídeos. Por apresentar altos teores de proteínas, a torta de filtro pode ser utilizada para a alimentação de animais ou ainda como adubo (inclusive na própria cultura da cana).

Desde o início do século XX, o bagaço vem sendo empregado como fonte de energia (combustível) em usinas e destilarias do Brasil, quando passou a substituir a lenha nas caldeiras (COELHO, 1999). Atualmente a geração desse subproduto corresponde à necessidade energética do setor sucroalcooleiro e gera um excedente passível de ser vendido para concessionárias de energia ou outros setores.

Devido ao grande crescimento tecnológico no setor sucroalcooleiro e atual necessidade de geração de energia elétrica, o bagaço passou a ser bastante valorizado como fonte primária de energia, dessa forma, a geração de cinzas devido à sua queima ocorre em números relevantes, devido ao nível de produção nacional.

Segundo CORDEIRO (2006), para cada tonelada de cana-de-açúcar colhida e processada, são gerados aproximadamente 26% de bagaço (umidade de 50%) e 0,62% de cinza residual. Portanto, com essas estimativas de produção de cana-de-açúcar para a safra 2022/2023 feitas pela CONAB (agosto de 2022) em 572,9 milhões de toneladas, poderão ser geradas aproximadamente 3,55 milhões de toneladas de cinza residual neste período.

Figura 5 - Canavial



Fonte: Zago, M. S. A.

Figura 6 - Bagaço da cana-de-açúcar



Fonte: Zago, M. S. A.

3.4. Cimento Portland

Cimento, na acepção da palavra, pode ser considerado todo material com propriedades adesivas e coesivas capaz de unir fragmentos de minerais entre si de modo a formar um todo compacto. (NEVILLE, 1997)

Os cimentos que interessam no preparo de argamassas e concretos, para utilização na construção civil, têm a propriedade de endurecer na presença de água, devido a reações químicas com esse material, ao mesmo tempo, após endurecidos resistem à ação da água, sendo portanto denominados aglomerantes hidráulicos.

Os cimentos hidráulicos são constituídos principalmente por silicatos e aluminatos de cálcio e podem ser classificados de forma ampla como cimentos naturais, cimentos Portland e cimentos aluminosos. (NEVILLE, 1997)

A patente do cimento Portland foi registrada em 1824 por John Aspdin. A denominação, dada originalmente devido à semelhança de cor e qualidade com a pedra de Portland – um calcário de Dorset, permanece até hoje no mundo todo. Essa denominação é usada para designar um cimento obtido pela mistura em proporções apropriadas de materiais calcários e argilosos, aquecida até a temperatura de clinquerização, moendo-se o clínquer resultante.

A ASTM C 150 (1991) define o cimento Portland como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio como um produto de

adição. Os clínqueres são nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de um material sinterizado, produzido quando uma mistura de matérias-primas de composição pré-determinada é aquecida a altas temperaturas.

Para a obtenção do cimento Portland utilizam-se matérias-primas constituídas principalmente de material calcário, presente em rochas calcárias, e sílica e alumina, encontradas em argilas ou xistos.

O processo de fabricação do cimento Portland consiste essencialmente em moer as matérias-primas, misturá-las intimamente nas proporções adequadas e queimar essa mistura em grandes fornos rotativos até uma temperatura de cerca de 1450 °C. Nessa temperatura, o material sofre uma fusão incipiente precipitando-se em pelotas, conhecidas como “clínquer”. O clínquer é resfriado e moído até um pó bem fino, adicionando-se então pequena quantidade de gesso (para evitar que o cimento apresente pega excessivamente rápida ao se hidratar), resultando o cimento Portland largamente usado em todo o mundo. (NEVILLE, 1997)

Algumas adições podem ser incorporadas ao clínquer durante a moagem, para a obtenção de cimentos com propriedades específicas. Entre estas adições destacam-se as escórias de alto forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos. Por questões econômicas, o uso do gesso está sendo substituído pela utilização da anidrita (CaSO_4) ou pela adição de uma mistura de gesso e anidrita. (AITCIN, 2000).

Durante a formação do clínquer, toda a cal deve se combinar com os componentes da argila para formar os silicatos e aluminatos de cálcio. O endurecimento, após a adição de água, se dá com a hidratação destes silicatos e aluminatos, formando uma estrutura cristalina rígida.

As propriedades dos principais componentes são:

- C_3S – É o principal constituinte do cimento Portland. Apresenta início e fim de pega em poucas horas, apresentando resistência à compressão de cerca de 70 MPa em 360 dias. Apresenta médio calor de reação.
- C_2S – Segundo principal constituinte do cimento Portland. Apresenta duração de pega não definida e pouca resistência aos 28 dias, no entanto, após 2 anos apresenta resistência equivalente ao C_3S . Sua presença é benéfica para o aumento da resistência por envelhecimento. Apresenta baixo calor de reação.
- C_3A – Apresenta alto calor de reação, portanto sua presença deve ser controlada na utilização em grandes volumes. Apresenta pega rápida e baixa resistência à compressão.

Também, apresenta baixa resistência química a águas agressivas. Seu teor deve ser controlado, porém sua presença é inevitável devido ao processo de fabricação.

- C_4AF – Apresenta pega mais lenta e resistência à compressão menor que o C_3A . Sua hidratação desenvolve baixo calor de reação. É mais resistente que o C_3A a águas agressivas e sua presença é considerada menos prejudicial que o C_3A .

Além destes quatro principais compostos, outros podem estar presentes composição do cimento Portland:

- SO_3 (sulfatos): Originários do gesso adicionado para retardar a pega. Pode estar presente em teores máximos de 3%. Em excesso, pode formar Sulfoaluminato de Cálcio (etringita), que é prejudicial por promover expansão volumétrica e perda de resistência mecânica.
- MgO (magnésia): Originária do calcário, sob a forma de Dolomita ($MgCO_3$), e da argila. Pode estar presente em teores entre 0,8% e 5%. Não participa de nenhuma reação, em excesso pode causar instabilidade no volume (aumento).
- K_2O e Na_2O (álcalis): São utilizados como fundentes durante o processo de fabricação do cimento Portland. Aceleram a pega e seus teores admissíveis variam entre 0,3% e 2%. Sua presença, em certas condições, pode propiciar a reação álcali-agregado (álcali-sílica), que é indesejável, pois causa expansão volumétrica.
- TiO_2 , Mn_3O_4 , P_2O_4 : São considerados impurezas e devem estar presentes em baixo teor.

Como vimos, características do cimento Portland comum podem ser modificadas a fim de conferir diferentes propriedades, para uma aplicação específica. Dessa maneira, são produzidos no Brasil os cimentos Portland com adições ou especiais, tipificados e especificados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), conforme a seguir:

- CP I – S: cimento Portland comum, com adições de pozolana entre 1% e 5%;
- CP II – E: cimento Portland composto com escória (até 34%);
- CP II – Z: cimento Portland composto com pozolana (até 14%);
- CP II – F: cimento Portland composto com filler, material carbonático, principalmente carbonatos de cálcio (6% a 10%);
- CP III : cimento Portland de alto-forno (adição de escória de 35% até 70%);
- CP IV : cimento Portland pozolânico (adição de pozolanas de 15% até 50%);
- CP V ARI : cimento Portland de alta resistência inicial.

3.5. Encapsulação de resíduos sólidos

3.5.1. Definições

Segundo POON et al. (1986), este processo é um pré-tratamento indutor de reações químicas e mecanismos físicos que fixam elementos ou compostos tóxicos em polímeros impermeáveis ou em cristais estáveis.

A encapsulação de resíduos sólidos é um processo também conhecido como solidificação/estabilização ou fixação, e vem sendo utilizado como alternativa aos processos tradicionais de tratamento, e, principalmente, para facilitar o manuseio, o transporte e o armazenamento. Consiste, basicamente, em estabilizar os resíduos sólidos através da adição de aglomerantes ou da inserção em invólucros eficientes.

A *Environmental Protection Agency (EPA)* dos E.U.A. estabelece, em suas publicações, a denominação *solifidication/stabilization* para designar esta tecnologia, ou na forma reduzida S/S, a qual foi adotada internacionalmente. Portanto, o presente trabalho passará a adotar a forma **S/S** para denominar o processo de solidificação/estabilização de resíduos.

Estabilização refere-se às técnicas de minimizar a periculosidade potencial de um resíduo, convertendo os contaminantes à sua mais reduzida forma de solubilidade, mobilidade e toxicidade. A estabilização não modifica necessariamente a natureza física e as características de manuseio do resíduo.

Solidificação refere-se às técnicas de encapsulação do resíduo em um sólido monolítico com elevada integridade estrutural. A solidificação não envolve necessariamente uma interação química entre os resíduos e os reagentes dos materiais aglomerantes utilizados, mas deve blindar mecanicamente o resíduo dentro da estrutura sólida. A mobilidade dos contaminantes é restringida pela drástica diminuição da área superficial exposta à lixiviação e/ou pela isolamento dos resíduos em cápsulas impermeáveis (CONNER & HOEFFNER, 1998).

O processo S/S oferece uma melhoria das condições de manuseio dos resíduos, pela produção de uma matriz monolítica com características físicas mais desenvolvidas, de forma a otimizar o seu transporte, estocagem, disposição e reutilização. Essa modificação estrutural deve reduzir substancialmente a solubilidade dos contaminantes tóxicos (MERRITT, 1993).

3.5.2. Técnicas

Desenvolvidas

Existem vários processos e técnicas S/S, sendo que os principais são: a base de cimento, a base de cal e materiais pozzolânicos (exceto cimento), a base de argilas, a base de polímeros orgânicos, encapsulação em invólucro inerte, vitrificação e auto solidificação. Como o objeto de pesquisa do presente trabalho é o estudo da S/S em matrizes de cimento Portland, as demais técnicas serão oportunamente descritas.

3.5.2.1. Solidificação/Estabilização com cimento Portland

Na tecnologia S/S, o termo matriz compreende a estrutura básica, na qual os resíduos são química e/ou fisicamente fixados. A utilização do cimento como base do processo teve início na década de cinquenta, na Europa e E.U.A., na disposição de resíduos nucleares de baixa radioatividade (CONNER, 1990).

A fixação de resíduos sólidos perigosos em matriz de cimento Portland é a técnica S/S mais empregada, devido à simplicidade do processo e ao baixo custo (DANIALI, 1990).

Quando misturado com água, o cimento Portland é hidratado, formando posteriormente um sólido rígido. A hidratação se dá em dois estágios, sendo que no primeiro ocorre a formação de uma membrana na superfície das partículas de silicato de cálcio e no segundo, após a cura inicial, observa-se em cada grão de cimento o crescimento de cristais, que se irradiam por todo o espaço intersticial. Tem-se, dessa forma, um aumento no comprimento e no número de cristais, que gradualmente começam a emaranhar-se uns aos outros e, quando cessa o seu crescimento, começam a unir-se lateralmente formando lâminas contínuas do material. Essa matriz cristalina incorpora os agregados e/ou resíduos adicionados na massa monolítica (CETESB, 1985).

A técnica S/S baseada em cimento Portland é particularmente recomendada para resíduos metálicos. As alternativas de tratamento para resíduos contendo metais pesados são limitadas, os metais não podem ser destruídos por incineração e a S/S é considerada a melhor técnica de disposição viável atualmente. Quando o cimento é hidratado, forma-se cerca de 20-30% de hidróxido de cálcio o que leva à formação de uma solução sólida nos poros com pH em torno de 12-13. Este meio alcalino propicia a formação de compostos insolúveis como hidróxidos e silicatos metálicos. Os hidróxidos metálicos são fortemente estáveis na faixa de pH de 7 a 11 e os silicatos numa faixa maior (MACKAY & EMERY, 1992).

3.6. Pozolanicidade

A designação do termo pozolana se dá pela utilização de materiais como cinzas que se encontravam em regiões onde ocorriam atividades vulcânicas, tais como a Ilha de Santorim próximas a cidade de Nápoles. Em consequência das cinzas mais conhecidas e de melhor qualidade serem encontradas no Monte Puzzouili, este foi o motivo para a denominação do material (ZAMPIERI, 1993).

O termo “pozolana” pode ser aplicado a todo material de composição silicosa ou alumino-silicosa, que por si só quase não apresenta atividade hidráulica, entretanto, quando finamente dividido e na presença de umidade em temperatura ambiente reagem com Ca(OH)_2 formando compostos com propriedades cimentícias (NBR 12653).

Quaisquer materiais que apresentem o comportamento acima descrito, sejam artificiais ou naturais, também podem ser denominados pozolânicos.

Segundo a NBR 12653 (2014) os materiais pozolânicos podem ser classificados da seguinte forma:

- NATURAIS: Materiais de origem vulcânicas, geralmente de caráter petrográfico, ácido ou de origem sedimentar; e
- ARTIFICIAIS: Materiais provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais com atividade pozolânica.

A NBR 12653 (2014), subdivide as pozolanas ARTIFICIAIS como:

- ARGILAS CALCINADAS: materiais provenientes da calcinação de determinadas argilas, que quando tratadas a uma temperatura entre 500 e 900 graus Celsius, adquirem a propriedade de reagirem com Ca(OH)_2 ;
- CINZAS VOLANTES: resíduos finamente divididos provenientes da combustão de carvão pulverizado ou granulado com atividade pozolânica;
- OUTROS MATERIAIS: são considerados ainda como pozolanas artificiais, outros materiais não tradicionais, tais como escória siderúrgicas ácidas, cinzas de resíduos vegetais e rejeito de carvão mineral.

4. MATERIAL E MÉTODOS

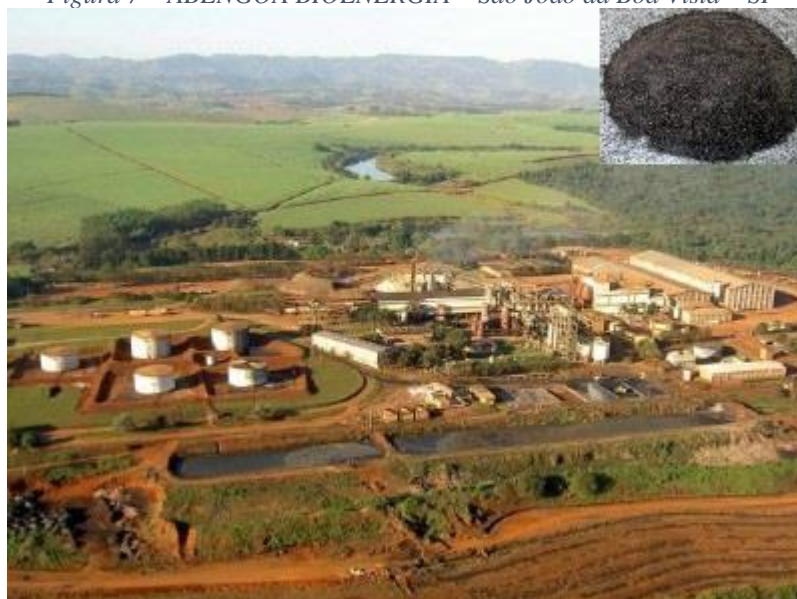
4.1 Material

4.1.1. Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar (CBC1G)

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar gerada a partir da produção de etanol de primeira geração utilizada foi coletada da Abengoa Bioenergia, localizada na região de São João da Boa Vista – SP (figura 7). Este material é depositado em um terreno a céu aberto.

A composição da cinza gerada na produção de etanol de primeira geração pode variar conforme a matéria-prima utilizada, o processo de produção e as condições específicas da planta de etanol. Geralmente, essa cinza é composta por minerais e resíduos não combustíveis presentes na matéria-prima, como sílica, alumina, óxidos de ferro, óxidos de cálcio, óxidos de potássio e óxidos de sódio. Além disso, materiais não combustíveis, como areia, argila, e resíduos do próprio processo de produção de etanol, também podem fazer parte da composição da cinza. Esses resíduos são resultantes da queima da matéria-prima durante o processo de produção do etanol.

Figura 7 – ABENGOA BIOENERGIA – São João da Boa Vista – SP



Fonte: Zago, M. S. A.

4.1.2. Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar (CBC2G)

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar gerada a partir da produção de etanol de segunda geração utilizada foi cedida pela GranBio, localizada na região de São Miguel dos Campos -AL (figura 8).

A composição da cinza gerada na produção de etanol de segunda geração, também conhecido como etanol celulósico, varia em função da biomassa utilizada e dos processos específicos empregados na conversão de materiais lignocelulósicos em etanol. Em geral, a cinza resultante é composta por minerais inorgânicos, como sílica, alumina, óxidos de ferro, cálcio, potássio e sódio, além de materiais não combustíveis presentes na biomassa, como areia e argila. Adicionalmente, resíduos provenientes do processo de produção, como catalisadores, enzimas ou outros aditivos, podem contribuir para a composição da cinza.

Figura 8 – GranBio – São Miguel dos Campos – AL



Fonte: Zago, M. S. A.

4.1.3 Cimento Portland CP V ARI

Utilizou-se, para os ensaios desta pesquisa, o cimento Portland de alta resistência inicial, CP V ARI. As especificações foram fornecidas pelo fabricante, e encontram-se nas Tabelas 1 e 2. O cimento CP V ARI provém de moagens diferenciadas do clínquer e adquire maiores resistências iniciais.

Este tipo de cimento é muito utilizado em concretos para fabricação de pré-moldados, inclusive em elementos protendidos, o que resulta numa rápida reutilização dos moldes e maior produtividade.

A escolha do tipo do cimento CP V ARI foi determinada pelo seu elevado teor de clínquer (95%), o qual é o principal responsável pela estabilização dos elementos em excesso presentes no resíduo.

Tabela 1 – Propriedades físicas – CP V ARI

Características e propriedades		Unidade	CPV ARI PLUS
Massa específica (NBR 6474)		Kg/dm ³	3,12
Massa unitária no estado solto (NBR 7251)		Kg/dm ³	1,02
Finura	Retido # 200 (NBR 11579)	%	0,20
	Retido # 325	%	3,40
	Sup. Esp. Blaine (NBR 7224)	cm ² /g	4687
Tempo de pega	Início (NBR 11581)	min	130
	Fim (NBR 11581)	min	210
Resistência à compressão (f _{cj}) (NBR 7215)	1 dia	MPa	27,70
	3 dias	MPa	42,00
	7 dias	MPa	46,70
	28 dias	MPa	56,10

Fonte: Fabricante.

Tabela 2 – Composição química – CP V ARI

Constituintes	CPV ARI PLUS
SiO ₂ (%)	19,65
Al ₂ O ₃ (%)	4,99
Fe ₂ O ₃ (%)	3,17
CaO (%)	64,03
MgO (%)	0,83
K ₂ O (%)	0,69
PF 1000°C - NBR 5743	3,61
CO ₂ - NBR 11583	1,5
RES. INSOLÚVEL - NBR 5744	0,88
SO ₃ - NBR 5745	2,56

Fonte: Fabricante.

4.1.4. Areia natural

Dos materiais componentes do concreto, a areia natural é o que tem mais dificuldade em manter a produção ou extração, por conta das exigências ambientais. Com isso, aparece outra desvantagem: o frete. Cada vez mais os areais se afastam dos centros consumidores e o transporte, em muitos casos, tem um custo maior que o próprio material.

A extração da areia natural em rios chega a aproximadamente 320 milhões de m³ por ano, volume suficiente para construir 7.100 estádios como o do Maracanã (Kuck, 2004).

A retirada de areia dos rios para usos na construção civil agride a calha natural, provocando a erosão nas margens dos mesmos, devido ao aumento de vazão da água, o que resulta na alteração do equilíbrio hidrológico, diminui a pressão sobre os lençóis de água subterrâneos, destrói as áreas de várzeas, elimina espécies vegetais que fornecem alimento à

fauna e causa a perda de refúgios e locais de procriação, utilizados por aves e pequenos mamíferos. Vale lembrar que, em alguns casos, é até mesmo necessário que se retire areia dos leitos dos rios para evitar o assoreamento dos mesmos, mas isto só ocorre quando a sua margem já foi depredada e a mata ciliar já foi devastada (CETEM, 2004).

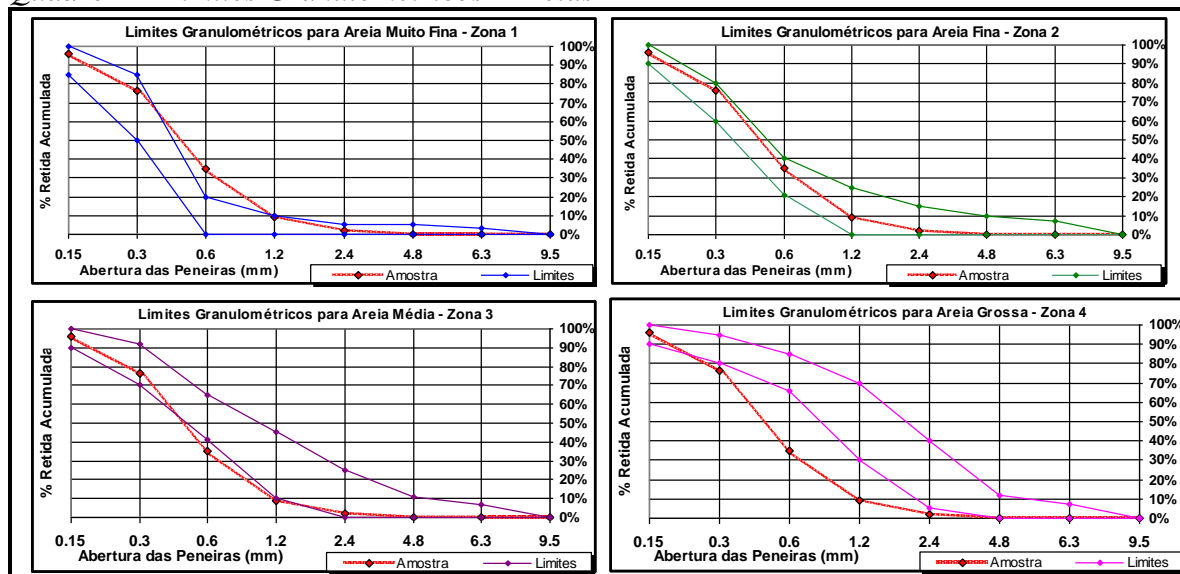
Em determinadas regiões do país, além das restrições ambientais à exploração do produto e ao alto custo da areia natural, existem dificuldades em se obter areia natural de boa qualidade, o que justifica a busca por soluções tecnológicas alternativas. A dificuldade de obtenção de areia natural de qualidade e à proibição da sua retirada em algumas áreas geram a necessidade de extração da areia em locais distantes dos principais centros de consumo, elevando gastos com transporte, que correspondem a cerca de 70% do custo final da areia (CETEM, 2004)

A Tabela 3 apresenta a composição granulométrica da areia natural utilizada e o Quadro 1 apresenta os limites granulométricos das areias.

Tabela 3 – Composição granulométrica da areia natural

Determinação da Composição Granulométrica da areia natural																		
Série Normal e Série Intermediária - NBR 7217							Valores da Norma											
Peneira # (mm)	M1 =		M2 =		Médias		muito fina - Z1		fina - Z2		média - Z3		grossa - Z4					
	M. Retida	% Retida	M. Retida	% Retida	% Retida	% R. Ac.	min	max	min	max	min	max	min	max				
9.5	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%				
6.3	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	0%	0%	3%	0%	7%	0%	7%	0%	7%				
4.8	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	0%	0%	5%	0%	10%	0%	11%	0%	12%				
2.4	8,8	1,8%	11,6	2,3%	2%	2%	0%	5%	0%	15%	0%	25%	5%	40%				
1.2	31,6	6,4%	36,5	7,3%	7%	9%	0%	10%	0%	25%	10%	45%	30%	70%				
0.6	127,6	25,7%	131,7	26,5%	26%	35%	0%	20%	21%	40%	41%	65%	66%	85%				
0.3	207,2	41,7%	201,6	40,5%	41%	76%	50%	85%	60%	80%	70%	92%	80%	95%				
0.15	102,4	20,6%	97,6	19,6%	20%	96%	85%	100%	90%	100%	90%	100%	90%	100%				
Fundo	19,4	3,9%	18,8	3,8%	4%	100%	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Série Normal</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Série Intermediária</td> </tr> </table>									Série Normal		Série Intermediária
	Série Normal																	
	Série Intermediária																	
Soma	497,0	100,0%	497,8	100,0%	100%	318%												
	Diâmetro máximo característico:				2,4 mm													
	Módulo de finura:				2,18													

Quadro 1 – Limites Granulométricos - Areias



Fonte: LCC – IAU - USP

4.1.5. Pedrisco

O agregado graúdo utilizado foi a brita zero, conhecida popularmente como pedrisco. O *Quadro 2* apresenta o resultado da composição granulométrica da brita (pedrisco) utilizada. No Brasil, 95% dos agregados para concreto britado usados são de origem granítica, basáltica ou calcária.

Quadro 2 – Granulometria - Pedrisco

Determinação da Composição Granulométrica do Agregado Miúdo_PEDRISCO								Valores da Norma			
Série Normal e Série Intermediária - NBR NM 248/2001											
Peneira # (mm)	M1 = 1000 g		M2 = 1000 g		Médias		Zona utilizável		Zona ótima		
	M. Retida	% Retida	M. Retida	% Retida	% Retida	% R. Ac.	Limites Inferiores	Limites Superiores	Limites Inferiores	Limites Superiores	
9.5	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
6.3	241,9	24,3%	214,5	21,5%	23%	23%	0%	7%	0%	0%	
4.75	377,4	37,9%	388,6	38,9%	38%	61%	0%	10%	0%	5%	
2.36	323,5	32,4%	350,2	35,1%	34%	95%	0%	25%	10%	20%	
1.18	20,6	2,1%	13,3	1,3%	2%	97%	5%	50%	20%	30%	
0.6	1,9	0,2%	1,7	0,2%	0%	97%	15%	70%	35%	55%	
0.3	7,0	0,7%	7,5	0,8%	1%	98%	50%	95%	65%	85%	
0.15	8,1	0,8%	8,8	0,9%	1%	98%	85%	100%	90%	95%	
Fundo	16,6	1,7%	14,5	1,5%	2%	100%					
Soma	997,0	100,0%	999,1	100,0%	100%	669%					
Diâmetro máximo característico:					9,5 mm						
Módulo de finura:					5,46 mm						
								Série Normal			
								Série Intermediária			

Zona Utilizável Limites Inferiores e Limites Superiores

Zona Ótima Limites Inferiores e Limites Superiores

São Carlos, 17 de Abril 2015. Prof. Dr. Javier Mazariegos Pablo

Fonte: LCC – IAU - USP

4.2 Métodos

A metodologia da pesquisa foi constituída por três etapas principais e experimentais:

Caracterização dos resíduos

- conhecimento da fonte geradora;
- classificação dos resíduos;
- microscopia MEV-EDS
- análise da capacidade pozolânica;
- caracterização dos resíduos como agregados;

Construção das matrizes cimentícias

- estabelecimento das composições preliminares;
- verificação do desempenho mecânico;
- estabelecimento da composição adequada;

Produção dos corpos de prova

- adequação da composição;
- verificação do desempenho mecânico;
- verificação do desempenho físico;
- verificação do desempenho químico

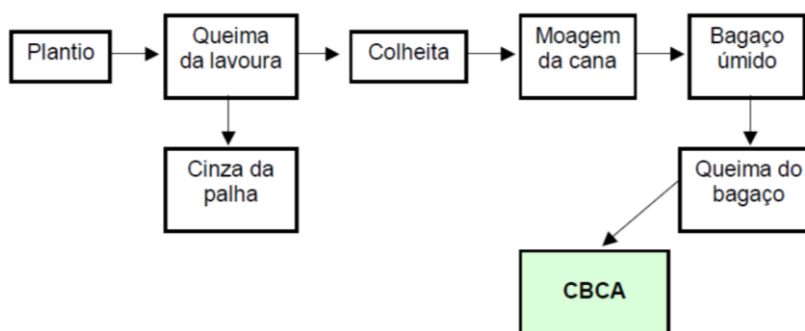
4.3. Caracterização dos Resíduos

4.3.1. Conhecimento da fonte geradora

Após o processo de combustão da cana-de-açúcar, cerca de 0,7% de sua massa (CORDEIRO, G. C., 2006) permanece sob a forma de cinza residual, o equivalente a 4,8 milhões de toneladas somente no ano de 2009. Porém, segundo FIESP/CIESP (2001), considerando que somente 93% do bagaço de cana são utilizados como combustíveis nas caldeiras (atualmente, as plantas de geração de eletricidade supercríticas têm alcançado valores de pressão da ordem de 290 a 300 bar, chegando a temperaturas de superaquecimento de 600°C) a quantidade de cinza residual seria de aproximadamente 0,58% da massa total da cana-de-açúcar, o que totaliza um rendimento próximo a 4,0 milhões de toneladas de cinza (FIESP/CIESP, 2001).

Acredita-se que o percentual de cinzas residuais geradas na queima do bagaço será variável em função da eficiência do processo de queima das caldeiras. A aplicação do bagaço de cana-de-açúcar como fonte de cinza obedece principalmente a dois fatores: o rendimento da cinza e a sua constituição química (PAULA, 2006), a qual varia de acordo com as condições de queima e características do bagaço (CORDEIRO, G. C., 2006; LIMA, S. A. et al., 2009). O bagaço nas usinas de açúcar e álcool é queimado em caldeiras através do sistema denominado cogeração, que consiste na produção de vapor fornecido às turbinas de acionamento mecânico (bombas, moendas, desfibriladores) e para a produção de energia elétrica (MACEDO, P. C. et al., 2009b). O resíduo gerado neste processo é a cinza do bagaço de cana-de-açúcar, de acordo com o fluxograma da Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma simplificado da CBC (Freitas, 2005)



Fonte: Zago, M. S. A.

4.3.2. Classificação dos resíduos – análise dos extratos lixiviado e solubilizado

É necessário fazer a correta classificação dos resíduos através da identificação do processo ou atividade que lhe deu origem, bem como os materiais constituintes e as características dos mesmos, e assim fazer uma comparação destes com listagens de resíduos e substâncias das quais o impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. A identificação dos constituintes que serão avaliados, deve ser feita com critério e estabelecida segundo a matéria prima, o insumo e o processo que lhe deu origem.

Os resíduos (CBC1G e CBC2G) foram submetidos a análises químicas em empresa acreditada pelo Cgcre conforme a NBR ISO/IEC 17025 (Keller Ambiental – Araraquara/SP).

De acordo com o DOQ-CGCRE-008, orientação sobre validação de métodos analíticos, o LQ (limite de quantificação) pode ser definido como: padrão de calibração de menor concentração (excluindo o branco).

Já o LD (limite de detecção) pode ser definido de acordo com o DOQ-CGCRE-008 como: o menor valor de concentração do analito ou da propriedade que pode ser detectado pelo método.

Verificou-se, através desses ensaios, que nenhum elemento químico ficou acima dos parâmetros estabelecidos.

Portanto, com base nos ensaios realizados os resíduos CBC1G e CBC2G, segundo a norma ABNT NBR 10004 (2004), foram classificados como “não perigosos” e “inertes”, ou seja, CLASSE II B, não havendo necessidade de estabilização (**ANEXO1** e **ANEXO2**).

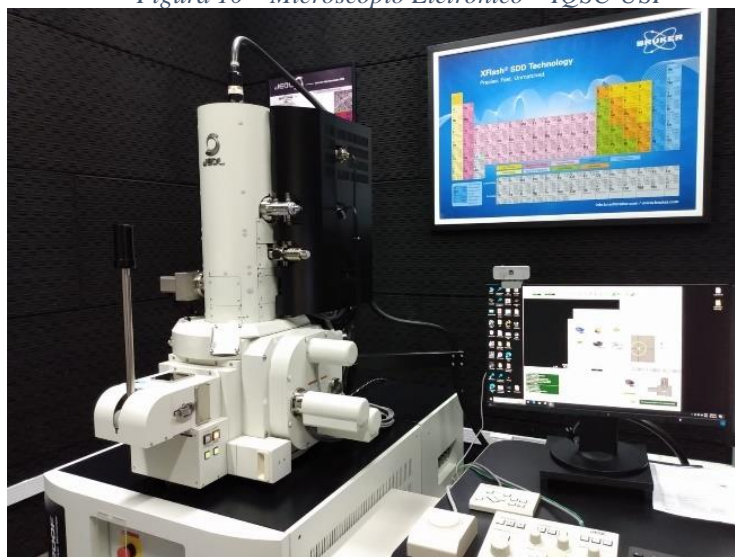
4.3.3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia por energia dispersiva (EDS) - composição química elementar qualitativa

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é um tipo de microscopia em que um feixe de elétrons focalizado varre a superfície da amostra, interagindo com a matéria, gerando diferentes tipos de sinais que podem oferecer informações sobre a morfologia e composição química do material. O microscópio Eletrônico de Varredura contém uma fonte geradora de um feixe de elétrons que é disparado continuamente na amostra durante o ensaio, realizando uma varredura em sua superfície. Assim, através de um detector presente no equipamento, é possível analisar as energias dos elétrons durante a interação dos mesmos com a superfície, que são interpretadas pelo equipamento e geram imagens com alta definição.

O MEV é um equipamento que utiliza um feixe de elétrons para explorar a superfície da amostra e, dessa forma, gerar imagens com conformação tridimensional e de alta resolução do material. Já o EDS (espectroscopia por energia dispersiva) permite a realização de uma avaliação química qualitativa e semiquantitativa, dado que sua análise se restringe à superfície da substância, não tendo precisão, mas sim, uma estimativa da concentração dos elementos presentes.

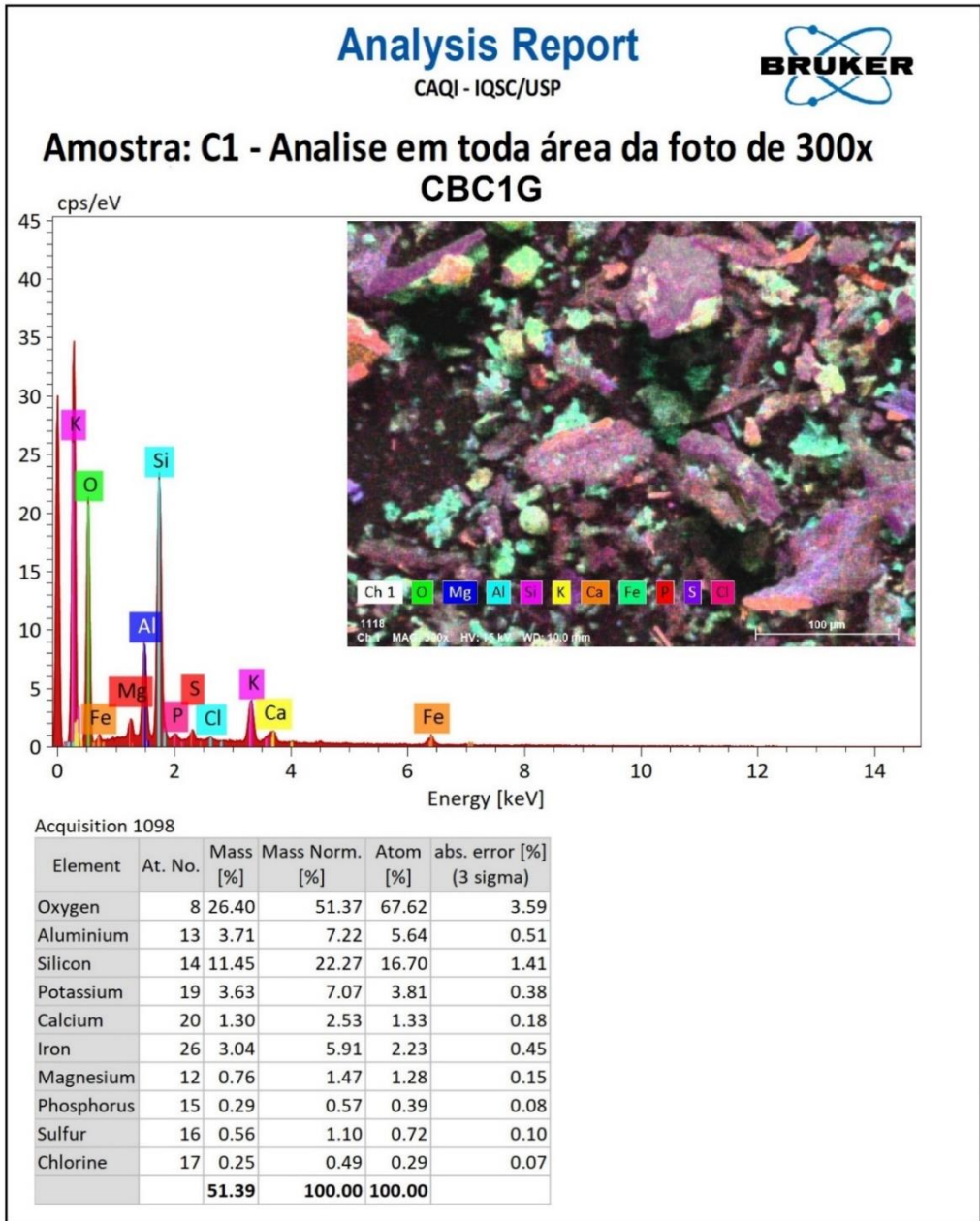
Os ensaios MEV e EDS foram realizados no IQSC (Instituto de Química de São Carlos – USP – figura 10).

Figura 10 – Microscópio Eletrônico – IQSC-USP



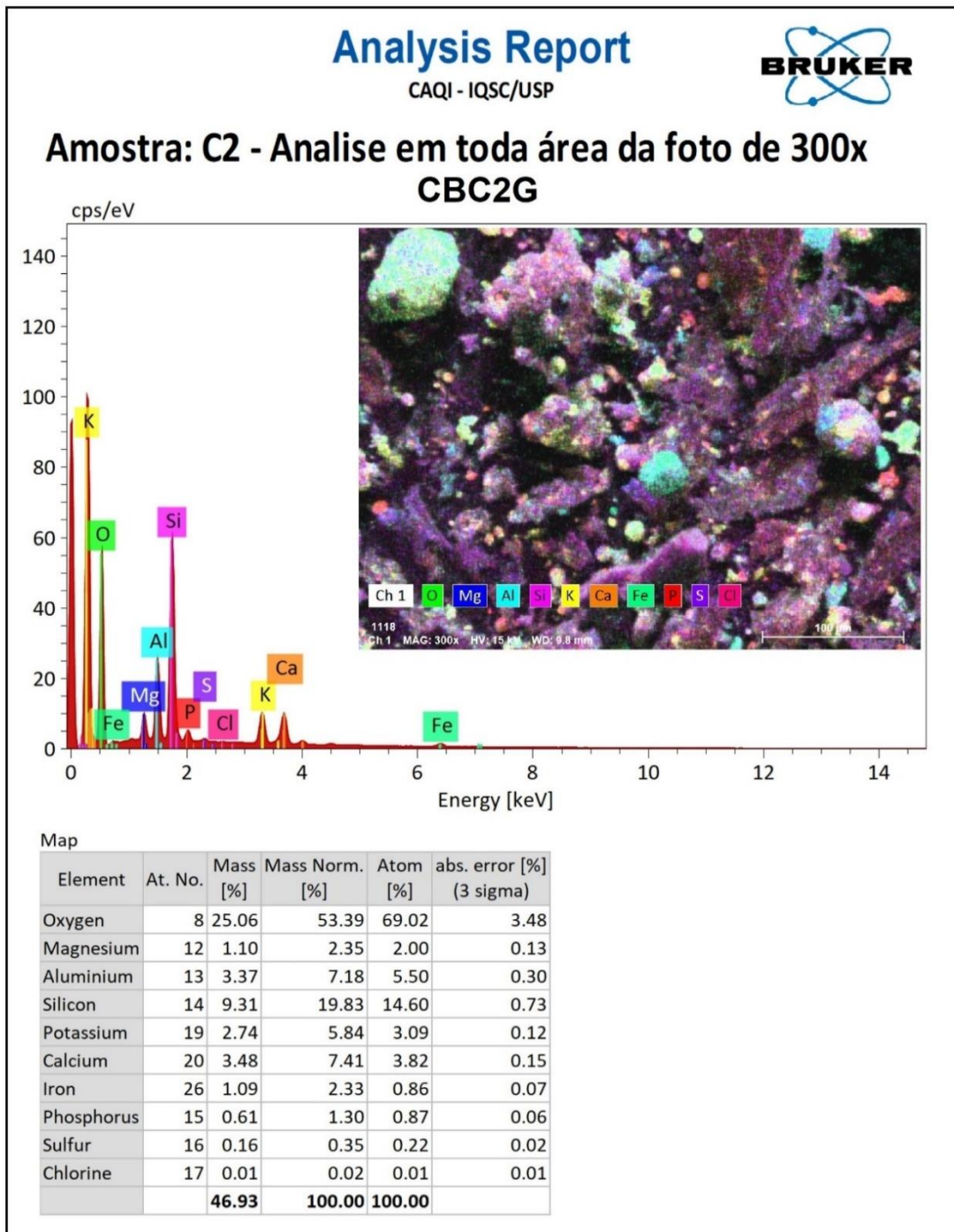
Fonte: Zago, M. S. A.

Quadro 3 – Análise MEV-EDS CBC1G



Fonte: IQSC – USP – São Carlos

Quadro 4 – Análise MEV-EDS CBC2G



Fonte: IQSC – USP – São Carlos

Quadro 5 – Comparativo MEV-EDS das composições CBC1G e CBC2G

Analysis Report						BRUKER					
CAQI - IQSC/USP											
Composition C1 (CBC1G)						Composition C2 (CBC2G)					
Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)	Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)
Oxygen	8	26.40	51.37	67.62	3.59	Oxygen	8	25.06	53.39	69.02	3.48
Aluminium	13	3.71	7.22	5.64	0.51	Magnesium	12	1.10	2.35	2.00	0.13
Silicon	14	11.45	22.27	16.70	1.41	Aluminium	13	3.37	7.18	5.50	0.30
Potassium	19	3.63	7.07	3.81	0.38	Silicon	14	9.31	19.83	14.60	0.73
Calcium	20	1.30	2.53	1.33	0.18	Potassium	19	2.74	5.84	3.09	0.12
Iron	26	3.04	5.91	2.23	0.45	Calcium	20	3.48	7.41	3.82	0.15
Magnesium	12	0.76	1.47	1.28	0.15	Iron	26	1.09	2.33	0.86	0.07
Phosphorus	15	0.29	0.57	0.39	0.08	Phosphorus	15	0.61	1.30	0.87	0.06
Sulfur	16	0.56	1.10	0.72	0.10	Sulfur	16	0.16	0.35	0.22	0.02
Chlorine	17	0.25	0.49	0.29	0.07	Chlorine	17	0.01	0.02	0.01	0.01
		51.39	100.00	100.00				46.93	100.00	100.00	

Fonte: IQSC – USP – São Carlos

4.3.4. Análise da capacidade pozolânica

Para a execução do ensaio de pozolanicidade é necessário a preparação de 2 argamassas que possuem dosagens diferentes, que foram denominadas argamassa A e B. A relativa norma apresenta uma tabela com as massas dos materiais que compõem as argamassas A e B, suficientes para a produção de 6 corpos de prova de cada argamassa.

Tabela 4 – Composição das argamassas A e B

Material	Massa g	
	Argamassa A	Argamassa B
Cimento CP II-F-32	624 ± 0,4	468 ± 0,4
Material pozolânico	-	156 ± 0,2
Areia Normal ^b	1872,0	1872,0
Água	300 ± 0,2	300 ± 0,2
Aditivo superplastificante	-	-

- O material pozolânico e o cimento CP II-F-32 devem ser previamente misturados e omogeneizados em recipiente fechado, durante 2 min, aproximadamente.

- Quatro frações de (468 ± 0,3) g.

- Quantidade de aditivo superplastificante necessária para manter o índice de consistência normal da Argamassa B em ± 10mm do obtido com a argamassa A, determinado conforme ABNT IBR 7215:1997, Anexo B. O aditivo deve ser adicionado na água de amassamento diretamente a cuba. O uso de aditivo é dispensável quando o índice de consistência da argamassa B for igual (± 10mm) ou maior que o da argamassa

Os corpos de prova foram produzidos em formato cilíndrico com diâmetro da base de 5cm e altura de 10cm, no Laboratório de Construção Civil (LCC) do Instituto de Arquitetura e Urbanismo (figura 11). Os corpos de prova foram produzidos seguindo todos os critérios exigidos por norma para a produção dos mesmos.

Figura 11 - Amostras sendo vibradas para a remoção dos espaços vazios



Fonte: Zago, M. S. A.

Com os resultados do ensaio de compressão torna-se possível o cálculo do índice de pozolanidade (tabela 5).

Tabela 5 – Resultado do índice de pozolanicidade

CP (nº)	Indicações Declaradas	fcj	Média fcj	Desvio Relativo Maximo	Índice de Pozolanicidade
		(MPa)	(MPa)	(%)	(%)
1 P	Traço Padrão	27,8	23,93	16,517	
2 P	“	26,8		11,99	
3 P	“	25,9		8,23	
4 P	“	24,9		4,05	
5 P	“	15,8		33,97	
6 P	“	22,4		6,39	
1 C1	Traço CBC1G	18,7	18,87	0,90	78,85
2 C1	“	18,7		0,90	
3 C1	“	19,0		0,69	
4 C1	“	19,1		1,22	
5 C1	“	18,9		0,16	
6 C1	“	18,8		0,37	
1 C2	Traço CBC2G	17,1	17,83	4,09	74,51
2 C2	“	17,3		2,97	
3 C2	“	18,2		2,07	
4 C2	“	18,0		0,95	
5 C2	“	17,9		0,39	
6 C2	“	18,5		3,76	

Para a análise comparativa do resultado obtido foi utilizada a NBR-12653 “Materiais – Pozolânicos” que estabelece os limites de exigências físicas para que o material seja considerado pozolânico. Como indicado na tabela, o índice de pozolanicidade da cinza CBC1G foi de 78,85% e o da cinza CBC2G foi de 74,51%, o que nos permite concluir que as amostras dos materiais, tanto a CBC1G como a CBC2G, que utilizamos no ensaio não podem ser caracterizadas como material pozolânico pois estão abaixo do valor mínimo estabelecido na NBR-12653: 2014 Versão Corrigida: 2015 que é de 90%.

4.3.5. Caracterização dos resíduos como agregado

Para a utilização dos resíduos sólidos em questão na composição de concretos, torna-se importante determinar certas características dos resíduos, assim como:

Composição granulométrica;

Massa específica;

Massa unitária no estado solto;

4.3.5.1. Composição granulométrica (ABNT NBR NM 248:2003)

Neste trabalho que visa a substituição do cimento Portland por um resíduo (cinza CBC1G e CBC2G) na composição de concretos, torna-se fundamental conhecer a distribuição do tamanho das partículas que compõem tal resíduo para que seja possível fazer o controle das proporções a serem substituídas.

Essa classificação é feita por peneiramento e segue os padrões exigidos pela “ABNT NBR NM 248:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica” com o emprego de um conjunto de peneiras diversas acopladas ao agitador mecânico.

A realização da análise granulométrica foi feita através de 2 amostras contendo 500,0 g de cinza cada uma. As amostras foram secas em estufa apropriada pelo intervalo de tempo de 24 horas à uma temperatura de 100°C com uma variação de 5°C para mais ou para menos.

As peneiras empregadas para este ensaio eram graduadas segundo a série normal de peneiramento, sendo o intervalo total de 0,15mm; 0,30mm; 0,60mm; 1,18mm; 2,36mm; 4,75mm; 6,30mm; 9,50mm (figura 12).

Figura 12 - Peneirador Mecânico



Fonte: Zago, M. S. A.

Seguem os resultados obtidos através do ensaio de composição granulométrica realizados no Laboratório de Construção Civil – LCC -(IAU), bem como o diâmetro máximo característico de 1,18mm e o Módulo de finura de 0,75mm.

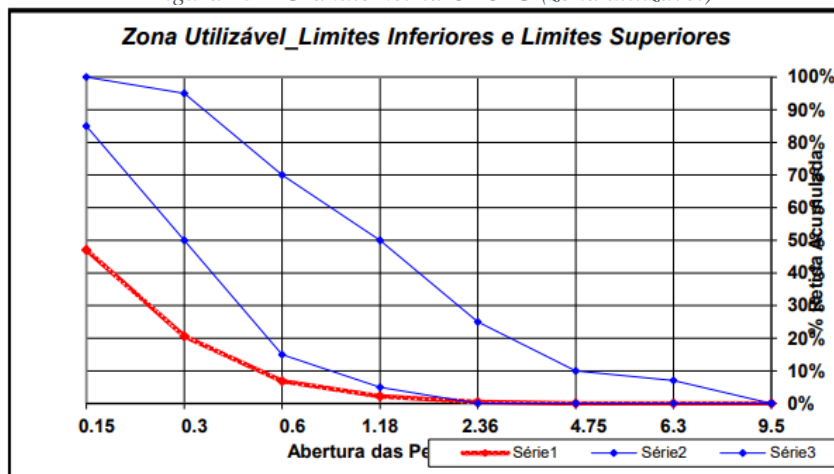
A tabela 6 indica a composição granulométrica da CBC1G.

Tabela 6 – Composição granulométrica da Cinza CBC1G

Determinação da Composição Granulométrica da CBC1G (NBR NM 248:2003)								Valores da Norma			
Série Normal e Série Intermediária - NBR NM 248/2001								Zona utilizável		Zona ótima	
Peneira	M1 = 500,0 g	M2 = 500,0 g	Médias		Médias						
# (mm)	M. Retida	% Retida	M. Retida	% Retida	% Retida	% R. Ac.	Limites Inferiores	Limites Superiores	Limites Inferiores	Limites Superiores	
9.5	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
6.3	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	0%	0%	7%	0%	0%	
4.75	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	0%	0%	10%	0%	5%	
2.36	2,7	0,5%	1,8	0,4%	0%	0%	0%	25%	10%	20%	
1.18	9,1	1,8%	8,6	1,7%	2%	2%	5%	50%	20%	30%	
0.6	22,9	4,6%	22,8	4,6%	5%	7%	15%	70%	35%	55%	
0.3	69,8	14,0%	66,8	13,5%	14%	21%	50%	95%	65%	85%	
0.15	131,5	26,5%	131,3	26,5%	26%	47%	85%	100%	90%	95%	
Fundo	260,8	52,5%	264,8	53,4%	53%	100%					
Soma	496,8	100,0%	496,1	100,0%	100%	177%					
Diâmetro máximo característico:					1,18 mm						
Módulo de finura:					0,77						

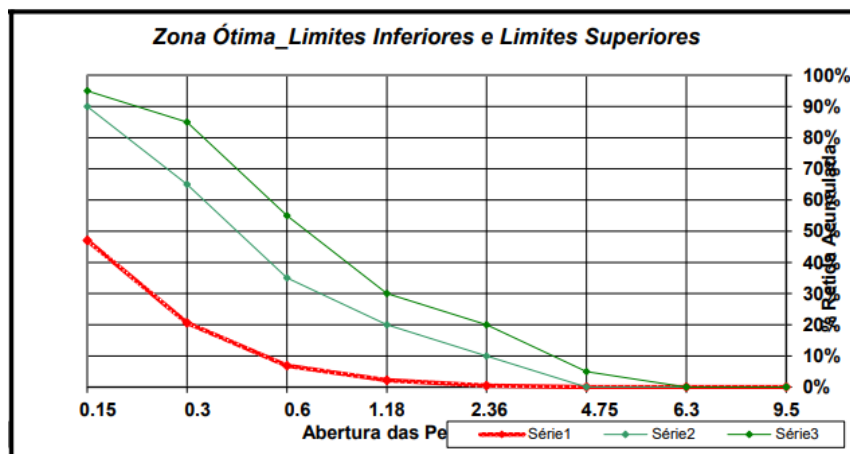
As figuras 13 e 14 demonstram a localização da curva granulométrica da CBC1G em relação às zonas utilizável e ótima.

Figura 13 – Granulometria CBC1G (zona utilizável)



Fonte: Zago, M. S. A.

Figura 14 - Granulometria CBC1G (zona ótima)



Fonte: Zago, M. S. A.

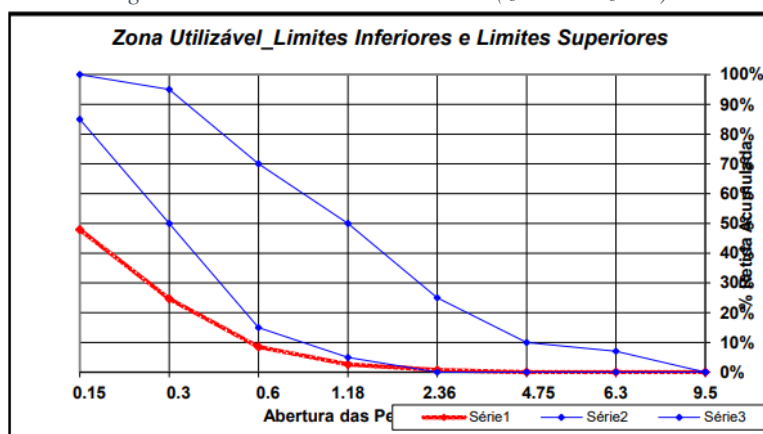
A tabela 7 indica a composição granulométrica da CBC2G.

Tabela 7 – Composição granulométrica da Cinza CBC2G

Determinação da Composição Granulométrica da CBC2G (NBR NM 248:2003)							Valores da Norma			
Série Normal e Série Intermediária - NBR NM 248/2001							Zona utilizável		Zona ótima	
Peneira	M1 = 500,0 g	M2 = 500,0 g	Médias							
# (mm)	M. Retida	% Retida	M. Retida	% Retida	% Retida	% R. Ac.	Limites Inferiores	Limites Superiores	Limites Inferiores	Limites Superiores
9.5	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
6.3	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	0%	0%	7%		
4.75	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	0%	0%	10%		5%
2.36	2,4	0,5%	4,7	0,9%	1%	1%	0%	25%	10%	20%
1.18	7,6	1,5%	11,2	2,3%	2%	3%	5%	50%	20%	30%
0.6	26,8	5,4%	31,6	6,4%	6%	9%	15%	70%	35%	55%
0.3	78,0	15,8%	81,6	16,4%	16%	25%	50%	95%	65%	85%
0.15	114,0	23,1%	116,6	23,5%	23%	48%	85%	100%	90%	95%
Fundo	264,8	53,6%	250,7	50,5%	52%	100%				
Soma	493,6	100,0%	496,4	100,0%	100%	184%				
Diâmetro máximo característico:						1.18 mm				
Módulo de finura:						0,84				

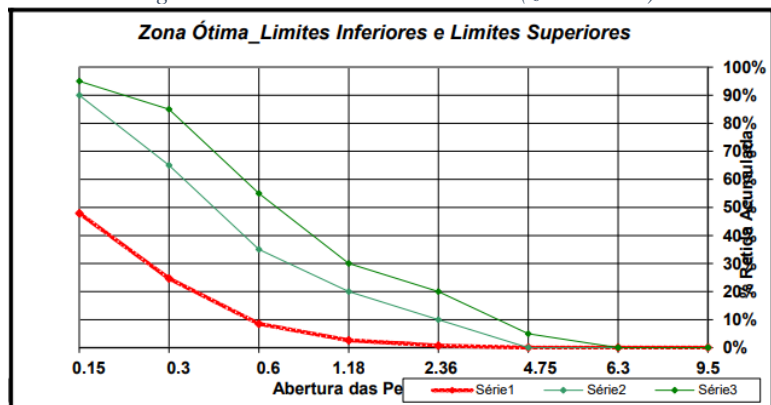
As figuras 15 e 16 demonstram a localização da curva granulométrica da CBC2G em relação às zonas utilizável e ótima.

Figura 15 – Granulometria CBC2G (zona utilizável)



Fonte: Zago, M. S. A.

Figura 16 - Granulometria CBC2G (zona ótima)



Fonte: Zago, M. S. A.

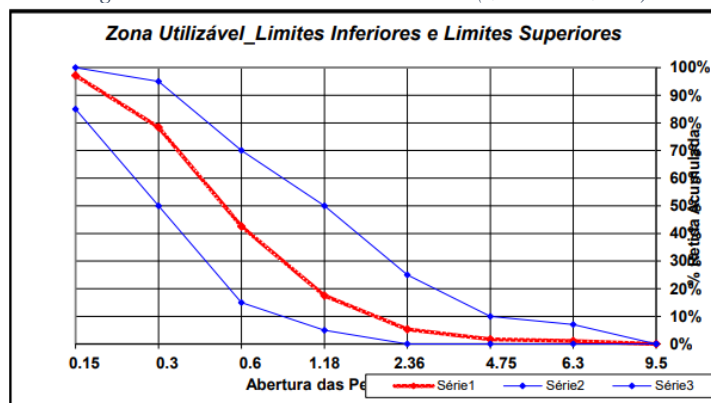
A tabela 8 indica a composição granulométrica da areia utilizada.

Tabela 8 – Composição granulométrica da Areia

Determinação da Composição Granulométrica da Areia (NBR NM 248:2003)							Valores da Norma			
Série Normal e Série Intermediária - NBR NM 248/2001							Zona utilizável		Zona ótima	
Peneira	M1 = 500,0 g		M2 = 500,0 g		Médias		Limites Inferiores	Limites Superiores	Limites Inferiores	Limites Superiores
# (mm)	M. Retida	% Retida	M. Retida	% Retida	% Retida	% R. Ac.				
9.5	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
6.3	5,1	1,0%	6,0	1,2%	1%	1%	0%	7%	0%	0%
4.75	3,1	0,6%	2,5	0,5%	1%	2%	0%	10%	0%	5%
2.36	21,3	4,3%	15,3	3,1%	4%	5%	0%	25%	10%	20%
1.18	64,3	12,9%	57,2	11,5%	12%	18%	5%	50%	20%	30%
0.6	123,7	24,8%	125,9	25,2%	25%	43%	15%	70%	35%	55%
0.3	174,8	35,1%	182,7	36,6%	36%	78%	50%	95%	65%	85%
0.15	92,1	18,5%	94,8	19,0%	19%	97%	85%	100%	90%	95%
Fundo	13,7	2,8%	14,6	2,9%	3%	100%				
Soma	498,1	100,0%	499,0	100,0%	100%	344%				
Diâmetro máximo característico:					4,75 mm					
Módulo de finura:					2,43					

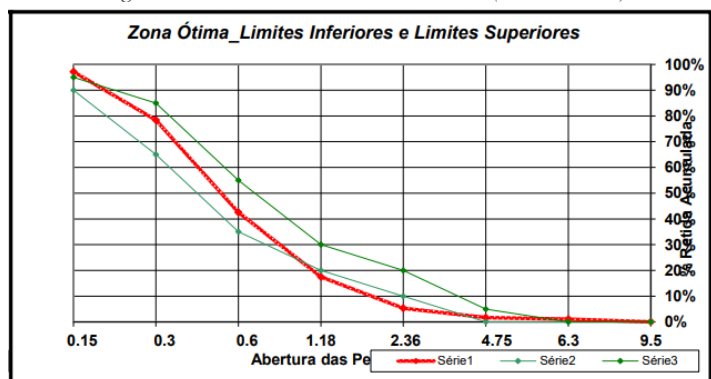
As figuras 17 e 18 demonstram a localização da curva granulométrica da areia utilizada em relação às zonas utilizável e ótima.

Figura 17 – Granulometria da Areia (zona utilizável)



Fonte: Zago, M. S. A.

Figura 18 - Granulometria da Areia (zona ótima)



Fonte: Zago, M. S. A.

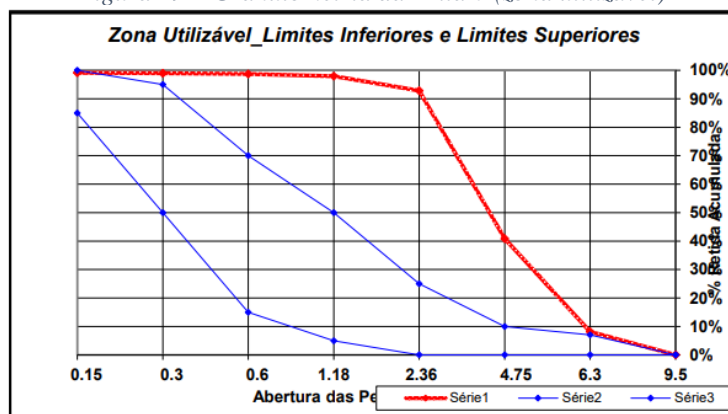
A tabela 9 indica a composição granulométrica da brita 0 utilizada.

Tabela 9 – Composição granulométrica da Brita 0

Determinação da Composição Granulométrica da Brita 0 (NBR NM 248:2003)								Valores da Norma			
Série Normal e Série Intermediária - NBR NM 248/2001								Zona utilizável		Zona ótima	
Peneira	M1 = 1000,0 g	% Retida	M2 = 1000,0 g	% Retida	Médias	% R. Ac.		Limites Inferiores	Limites Superiores	Limites Inferiores	Limites Superiores
# (mm)	M. Retida	% Retida	M. Retida	% Retida	% Retida	% R. Ac.					
9.5	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%
6.3	78,5	7,9%	84,5	8,5%	8%	8%		0%	7%	0%	5%
4.75	320,6	32,1%	332,7	33,3%	33%	41%		0%	10%	0%	5%
2.36	534,1	53,5%	504,5	50,5%	52%	93%		0%	25%	10%	20%
1.18	50,2	5,0%	52,2	5,2%	5%	98%		5%	50%	20%	30%
0.6	5,7	0,6%	8,4	0,8%	1%	99%		15%	70%	35%	55%
0.3	2,1	0,2%	3,6	0,4%	0%	99%		50%	95%	65%	85%
0.15	1,1	0,1%	2,0	0,2%	0%	99%		85%	100%	90%	95%
Fundo	6,9	0,7%	10,4	1,0%	1%	100%					
Soma	999,2	100,0%	998,3	100,0%	100%	637%					
Diâmetro máximo característico:						9.5 mm					
Módulo de finura:						5,29					

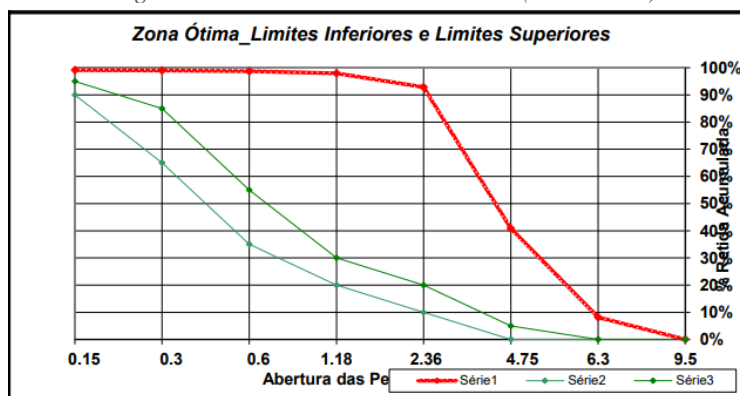
As figuras 19 e 20 demonstram a localização da curva granulométrica da brita 0 em relação às zonas utilizável e ótima.

Figura 19 – Granulometria da Brita 0 (zona utilizável)



Fonte: Zago, M. S. A.

Figura 20 - Granulometria da Brita 0 (zona ótima)



Fonte: Zago, M. S. A.

De posse destes dados verificamos que os resíduos se encontram fora das faixas de granulométrica de “zona ótima” e “zona utilizável” descritos pela norma de agregados,

indicando que as cinzas deverão substituir a areia (agregado miúdo) no traço que irá compor as peças de pavimentação.

Nesse contexto torna-se relevante introduzir o conceito de "filler". Em matrizes cimentícias, o termo "filler" refere-se a materiais finamente moídos e inertes que são adicionados ao cimento ou à matriz cimentícia para melhorar certas propriedades. Esses materiais têm um tamanho de partícula muito pequeno e são frequentemente usados para preencher os espaços entre as partículas maiores, contribuindo para otimizar características como a trabalhabilidade, a resistência e a durabilidade do material.

Os fillers têm várias funções e benefícios nas matrizes cimentícias. Uma das principais vantagens é a melhoria da trabalhabilidade da mistura, facilitando seu manuseio e aplicação. Além disso, a presença de fillers pode permitir a redução da relação água/cimento na mistura, resultando geralmente em concretos mais duráveis e resistentes.

A coesão da matriz cimentícia também é beneficiada pela adição de fillers, contribuindo para uma estrutura mais compacta e resistente. Alguns fillers podem auxiliar no controle da retração da matriz cimentícia, prevenindo a formação de fissuras indesejadas. Além disso, a utilização de fillers pode possibilitar a economia de cimento, uma vez que sua presença permite a redução da quantidade total de cimento na mistura, resultando em benefícios econômicos e, possivelmente, ambientais.

Exemplos comuns de fillers incluem sílica ativa, metacaulim, cinzas volantes e pozolanas. Esses materiais são frequentemente utilizados em diferentes proporções, dependendo das propriedades desejadas para a matriz cimentícia específica e do tipo de aplicação. O uso adequado de fillers é uma prática importante na indústria da construção para otimizar o desempenho dos materiais à base de cimento.

4.3.5.2 Massa específica (ABNT NBR 9776)

A massa específica de um agregado miúdo consiste basicamente no cálculo do volume que o agregado ocupa na composição do concreto e é determinada através do ensaio realizado com o frasco de Chapman (figura 21).

O ensaio consiste em primeiramente completar o frasco até o nível de 200cm³ com água, em seguida cuidadosamente deve ser acrescentado 500g de agregado e o frasco deve ser devidamente agitado para a remoção de bolhas e garantindo que toda a superfície interna do frasco não tenha grãos aderentes.

Faz-se a leitura do volume do conjunto água/agregado e através da expressão descrita na norma que relaciona as leituras do frasco com a massa de agregado e água determina-se a Massa específica.

Porém o resíduo em questão é muito fino e dessa forma absorve muita água. Foram realizadas várias tentativas na busca de se obter bons resultados. Considerando que, duas determinações consecutivas feitas com amostras do mesmo agregado não devem diferir entre si mais de $0,05 \text{ g/cm}^3$, os resultados obtidos foram considerados inconsistentes.

Sabe-se que a massa específica do agregado utilizado para compor um concreto é um dado muito importante, porém em virtude dos dados obtidos no ensaio, assumimos que devido ao fato da cinza ser utilizada como substituição do agregado miúdo ser em pequena proporção (15%), a sua inserção no concreto não acarretaria em relevante variação de volume inesperada com dimensões que afetariam a produção dos blocos para pavimentação, que é o foco principal deste projeto. Portanto a busca por outros métodos para a obtenção da massa específica do resíduo foi desconsiderada.

Assim sendo, obtivemos a massa específica apenas da areia.

Figura 21 – Frasco de Chapman



Fonte: Zago, M. S. A.

As tabelas 10 e 11 indicam as massas específicas da areia e da brita utilizadas.

Tabela 10 – Massa específica da Areia (Frasco de Chapman)



	200 ml de água + 500 g de areia	
1ª leitura: 390,0 ml	Média: 389,75 ml	$\gamma_a = \frac{500}{389,5 - 200} = 2,64 \text{ g/cm}^3$
2ª leitura: 389,5 ml		

Tabela 11 – Massa específica da Brita 0 (Frasco de Chapman)

	300 ml de água + 400 g de brita 0	
1ª leitura: 439,0 ml	Média: 439,5 ml	$\gamma_a = \frac{400}{439,5 - 300} = 2,87 \text{ g/cm}^3$
2ª leitura: 440,0 ml		

4.3.5.3 Massa unitária no estado solto (ABNT NBR 7251)

Este ensaio tem por objetivo calcular a massa de uma unidade do resíduo sem qualquer adensamento, sendo assim simulando o comportamento do agregado sendo depositado em qualquer local com simples despejo.

Para a realização foram utilizados balança de precisão, dois recipientes metálicos, um com volume de 3 dm³ (3 litros) e com massa de 3086 g para os ensaios das cinzas e da brita 0 e outro recipiente com 15 dm³ (15 litros) e com massa de 4385 g para o ensaio da areia.

O agregado é lançado através da pá a uma altura aproximadamente de 10 a 12cm do topo do recipiente, evitando a segregação das amostras. A superfície do agregado no recipiente é regularizada e a amostra pesada.

Através das formulas indicadas na norma vigente relativa a este ensaio se obtém a massa unitária no estado solto.

O ensaio foi repetido 3 vezes e o valor a ser utilizado como representando a massa unitária no estado solto do material foi a média dos valores obtidos nos 3 ensaios como mostra a tabela as tabelas 12, 13, 14 e 15.

Tabela 12 – Massa unitária no estado solto da CBC1G

Massa Medida	Massa Média	Média Massa Unitária (kg/dm ³)
1291 g	1287,3 g	$Mu = \frac{1287,3}{3} = 429,1\text{g/L} = \mathbf{0,43\text{g/cm}^3}$
1276 g		
1295 g		

Tabela 13 – Massa unitária no estado solto da CBC2G

Massa Medida	Massa Média	Média Massa Unitária (kg/dm ³)
1128 g	1139,0 g	$Mu = \frac{1139,0}{3} = 379,7\text{g/L} = \mathbf{0,48\text{g/cm}^3}$
1154 g		
1135 g		

Tabela 14 – Massa unitária no estado solto da Areia

Massa Medida	Massa Média	Média Massa Unitária (kg/dm ³)
23184 g	23151,7 g	$Mu = \frac{23151,7}{15} = 1543,4\text{g/L} = \mathbf{1,54\text{g/cm}^3}$
23158 g		
23113 g		

Tabela 15 – Massa unitária no estado solto da Brita 0

Massa Medida	Massa Média	Média Massa Unitária (kg/dm ³)
4262 g	4463,7 g	$Mu = \frac{4463,7}{3} = 1487,9\text{g/L} = \mathbf{1,49\text{g/cm}^3}$
4249 g		
4880 g		

4.4. Construção das matrizes cimentícias

Foram produzidos 9 traços de concreto (figura 22) com proporções diferentes entre si, sendo um deles o concreto padrão, e os demais com percentuais de substituição de 5%, 8%, 10% e 12% do cimento pelas cinzas CBC1G e CBC2G e que foram rompidos aos 7º, 28º e 91º dias de cura. O traço padrão foi de 1:3:2 (cimento: areia: brita zero) e relação água/cimento de 0,53.

Figura 22 – Preenchimento dos corpos de prova



Fonte: Zago, M. S. A.

4.4.1. Estabelecimento das composições preliminares (substituição de parte do cimento pelas cinzas)

Os corpos de prova (figura 23) foram feitos no Laboratório de Construção Civil (LCC) do Instituto de Arquitetura e Urbanismo – USP, São Carlos-SP.

Figura 23 – Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Zago, M. S. A.

As peças foram produzidas no formato cilíndrico com diâmetro da base de 5cm e altura de 10cm. As formas utilizadas eram feitas em aço garantindo uma superfície ideal para os corpos de prova bem como a reutilização das formas.

A quantidade de água necessária para produzir os concretos foi variável entre os 5 traços propostos pois com o acréscimo de cinza a mistura passa a absorver mais água para que se atinja o Índice de Consistência de 230mm, valor esse escolhido para se obter uma boa trabalhabilidade no concreto durante o processo de produção. Segundo a NBR 5752 (ABNT,

1992), o valor do espalhamento da argamassa não pode ser inferior a 220mm nem superior a 230mm (figura 24).

Figura 24 - Execução do Ensaio de Consistência



Fonte: Zago, M. S. A.

As tabelas 16, 17, 18, 19 e 20 indicam as composições em massa e as proporções de cada traço:

Tabela 16 – Composição do concreto padrão

Padrão	Materiais				Relação a/c
	Cimento(c)	Areia	Brita 0	Água	
Traço 1:3:2	1	3	2	a	0,53
Massa	900 g	2700 g	1800 g	477 g	

Tabela 17 – Composição com substituição de 5% de cimento por CBC1G/CBC2G

5%	Materiais					Relação a/c=0,53
	Cimento (c)	Areia	Brita 0	CBC1G/CBCG2	Água	
Traço 1:3:2	1	3	2	1	a	Relação a/c=0,53
Massa	855 g	2700 g	1800 g	45,0 g	453,2 g	

Tabela 18 – Composição com substituição de **8%** de cimento por CBC1G/CBC2G

8%	Materiais					Relação a/c=0,53
	Cimento (c)	Areia	Brita 0	CBC1G/CBCG2	Água	
Traço 1:3:2	1	3	2	1	a	
Massa	883,2 g	2880 g	1920 g	76,8 g	468,1 g	

Tabela 19 – Composição com substituição de **10%** de cimento por CBC1G/CBC2G

10%	Materiais					Relação a/c=0,53
	Cimento (c)	Areia	Brita 0	CBC1G/CBCG2	Água	
Traço 1:3:2	1	3	2	1	a	
Massa	864 g	2880 g	1920 g	96 g	457,9 g	

Tabela 20 – Composição com substituição de **12%** de cimento por CBC1G/CBC2G

12%	Materiais					Relação a/c=0,53
	Cimento (c)	Areia	Brita 0	CBC1G/CBCG2	Água	
Traço 1:3:2	1	3	2	1	a	
Massa	844,8 g	2880 g	1920 g	115,2 g	447,7 g	

As quantidades em massa descritas nas tabelas foram decididas a partir do volume que possui cada corpo de prova e adotando-se como densidade do concreto o valor de 2400 kg/m³, como descrito na tabela a seguir:

Tabela 21 – Massa do corpo de prova

Densidade do Concreto (g/cm ³)	Volume Corpo de Prova (cm ³)	Massa de cada corpo de prova (g)	Massa de 4 Corpos de prova (g)
2,4	196,35	471,24	1884,96

Dessa forma os 1800g de cada concreto, acrescido de água até atingir Índice de Consistência 230mm serão o suficiente para a produção dos corpos de prova.

4.4.2. Verificação do desempenho mecânico (substituição parcial do cimento pela CBC1G e CBC2G)

Os corpos de prova foram ensaiados no Laboratório de Construção Civil do Instituto de Arquitetura e Urbanismo. A força de compressão era aplicada uniformemente ao corpo de prova através de duas mesas metálicas que eram ligadas à uma prensa hidráulica com capacidade de 100tf (figura 25).

As amostras são comprimidas com carregamentos que aumentam de forma linear assim como a resistência do corpo de prova, até o momento em que se atingem deslocamentos sem acréscimo de resistência, o que caracteriza o rompimento (Plastificação).

Figura 25 – Ruptura de um corpo de prova



Fonte: Zago, M. S. A.

Tabela 22 – Ensaio de compressão simples – Padrão – NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	17/02/2022	7	6,88	35,0
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	17/02/2022	7	6,48	33,0
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	17/02/2022	7	5,22	26,6
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	10/03/2022	28	8,06	41,0
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	10/03/2022	28	7,28	37,1
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	10/03/2022	28	7,22	36,8
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	12/05/2022	91	9,66	49,2
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	12/05/2022	91	7,90	40,2
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	12/05/2022	91	8,32	42,4

Tabela 23 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (5%) – NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
CI	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	7,08	36,1
CI	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	6,90	35,1
CI	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	6,92	35,2
CI	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	7,96	40,5
CI	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	8,42	42,9
CI	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	7,52	38,3
CI	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	7,58	38,6
CI	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	8,02	40,8
CI	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	8,68	44,2
CI	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	7,56	38,5
CI	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	8,80	40,7

Tabela 24 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (5%) – NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
CII	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	5,64	28,7
CII	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	6,26	31,9
CII	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	6,00	30,6
CII	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	5,60	28,5
CII	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	7,08	36,1
CII	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	6,62	33,7
CII	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	7,74	39,4
CII	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	7,26	37,0
CII	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	8,98	45,7
CII	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	7,46	38,0
CII	0,95:3:2:0,05:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	8,62	43,9

Tabela 25 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (8%) – NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
CIII	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	5,92	30,2
CIII	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	6,16	31,4
CIII	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	5,58	28,4
CIII	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	6,18	31,5
CIII	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	7,36	37,5
CIII	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	6,44	32,8
CIII	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	7,50	38,2
CIII	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	6,22	31,7
CIII	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	8,30	42,3
CIII	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	9,00	45,8
CIII	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	8,14	41,5
CIII	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	7,18	36,6

Tabela 26 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (8%) – NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	fcj (MPa)
CIV	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	5,78	29,4
CIV	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	6,38	32,5
CIV	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	7,60	38,7
CIV	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	5,90	30,0
CIV	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	6,92	35,2
CIV	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	8,86	45,1
CIV	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	6,20	31,6
CIV	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	6,76	34,4
CIV	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	9,52	48,5
CIV	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	9,00	45,8
CIV	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	8,12	41,4
CIV	0,92:3:2:0,08:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	10,32	52,6

Tabela 27 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (10%) – NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	fcj (MPa)
CV	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	4,90	25,0
CV	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	4,94	25,2
CV	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	5,20	26,5
CV	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	4,54	23,1
CV	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	5,74	29,2
CV	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	6,14	31,3
CV	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	5,70	29,0
CV	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	7,28	37,1
CV	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	8,70	44,3
CV	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	6,76	34,4
CV	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	5,96	30,4
CV	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	7,36	37,5

Tabela 28 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (10%) – NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
CVI	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	5,80	29,5
CVI	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	4,30	21,9
CVI	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	5,12	26,1
CVI	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	5,84	29,7
CVI	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	8,04	40,9
CVI	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	7,58	36,6
CVI	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	8,00	40,7
CVI	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	7,82	39,8
CVI	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	7,94	40,4
CVI	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	8,20	41,8
CVI	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	8,80	44,8
CVI	0,9:3:2:0,10:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	8,10	41,3

Tabela 29 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (12%)– NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
VII	0,88:3:2:0,12:0,53	03/03/2022	10/03/2022	7	4,68	23,8
VII	0,88:3:2:0,12:0,53	03/03/2022	10/03/2022	7	5,60	28,5
VII	0,88:3:2:0,12:0,53	03/03/2022	10/03/2022	7	5,44	27,7
VII	0,88:3:2:0,12:0,53	03/03/2022	10/03/2022	7	5,68	28,9
VII	0,88:3:2:0,12:0,53	03/03/2022	31/03/2022	28	5,46	27,8
VII	0,88:3:2:0,12:0,53	03/03/2022	31/03/2022	28	5,58	28,4
VII	0,88:3:2:0,12:0,53	03/03/2022	31/03/2022	28	6,14	31,3
VII	0,88:3:2:0,12:0,53	03/03/2022	31/03/2022	28	5,56	28,3
VII	0,88:3:2:0,12:0,53	03/03/2022	02/06/2022	91	6,10	31,1
VII	0,88:3:2:0,12:0,53	03/03/2022	02/06/2022	91	6,94	35,3
VII	0,88:3:2:0,12:0,53	03/03/2022	02/06/2022	91	6,56	33,4
VII	0,88:3:2:0,12:0,53	03/03/2022	02/06/2022	91	5,40	27,5

Tabela 30 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (12%) – NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
VIII	0,88:3:2:0,12:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	5,16	26,3
VIII	0,88:3:2:0,12:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	4,46	22,7
VIII	0,88:3:2:0,12:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	5,78	29,4
VIII	0,88:3:2:0,12:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	5,40	27,5
VIII	0,88:3:2:0,12:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	6,40	32,6
VIII	0,88:3:2:0,12:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	5,62	28,6
VIII	0,88:3:2:0,12:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	4,06	20,7
VIII	0,88:3:2:0,12:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	4,42	22,5
VIII	0,88:3:2:0,12:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	5,52	28,1
VIII	0,88:3:2:0,12:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	6,20	31,6
VIII	0,88:3:2:0,12:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	6,28	32,0
VIII	0,88:3:2:0,12:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	4,80	24,4

4.4.3. Adequação do melhor desempenho mecânico (substituição parcial do cimento pela CBC1G e CBC2G)

Conforme se observa pelas figuras 26 e 27, as curvas com substituições de cimento pelas CBC1G e CBC2G, com percentuais de 5% e 8% se localizam bem próximas à curva padrão. Já com as substituições de 12% (figura 28), observa-se que as curvas, tanto da CBC1G como da CBC2G, se distanciam muito da curva padrão, ou seja, não satisfazem mais as resistências desejadas.

Observa-se ainda que a maior quantidade de substituição de cimento por resíduo que ainda fornece uma resistência à compressão condizente com o desejado foi com a substituição de 10% pela CBC2G (figura 28). A curva da CBC1G se localiza próxima à curva padrão com substituição de cimento em até 8% (figura 27).

Figura 26 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst.. 5%)

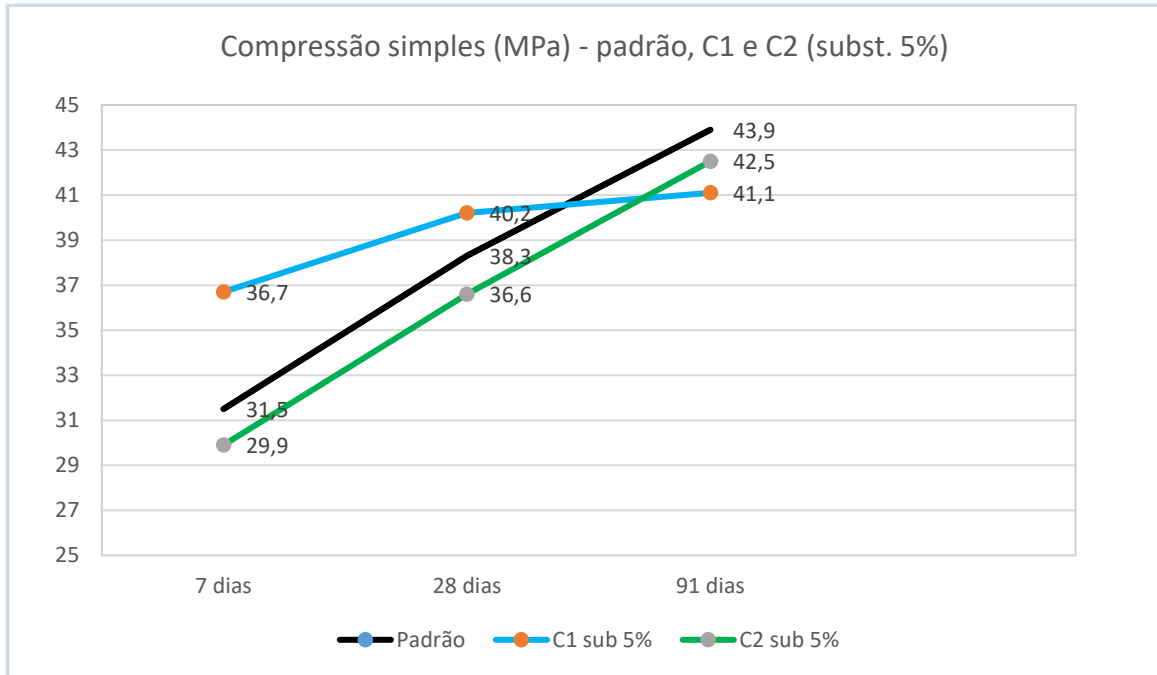


Figura 27 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst.. 8%)

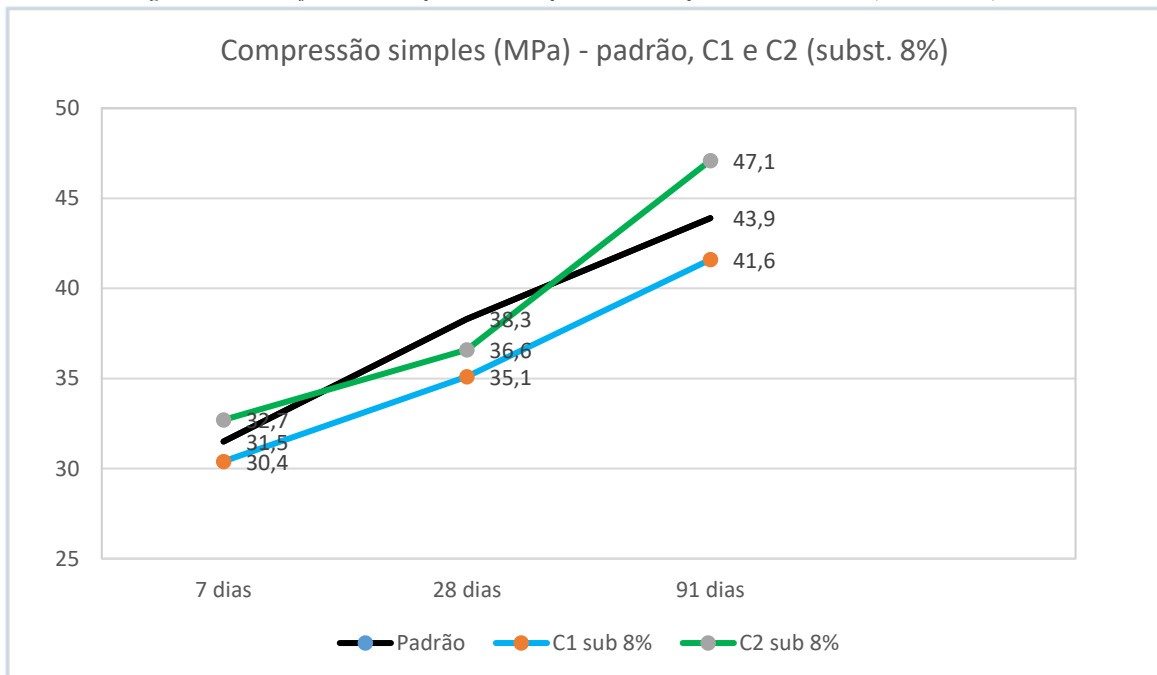


Figura 28 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst. 10%)

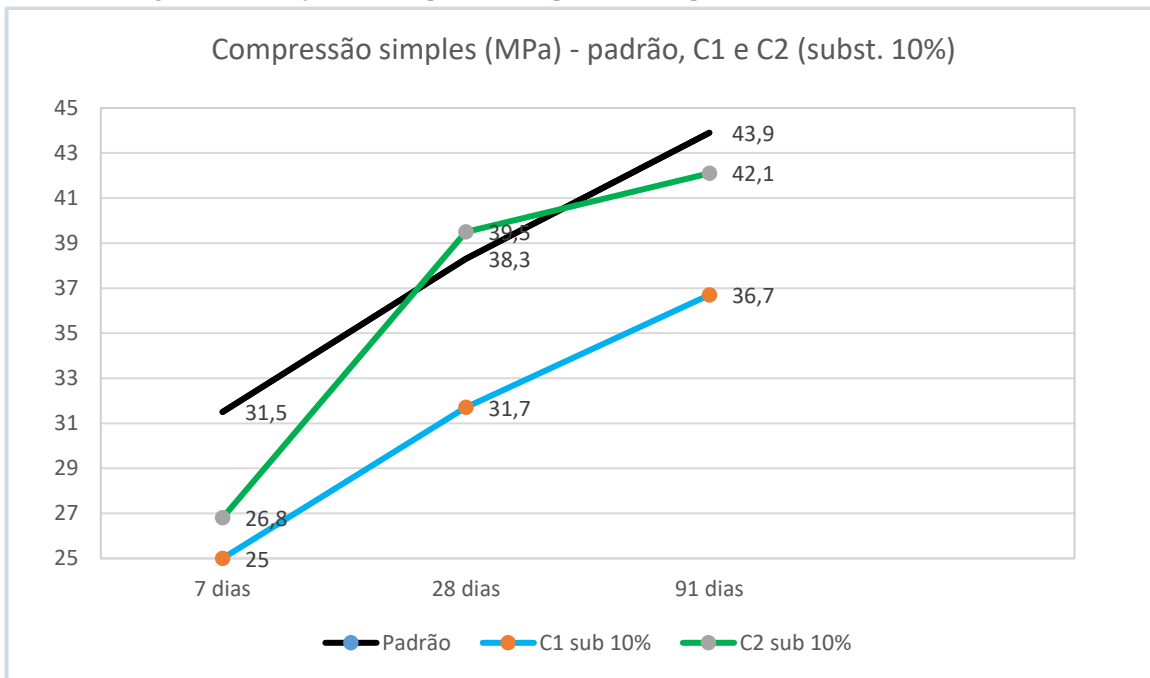
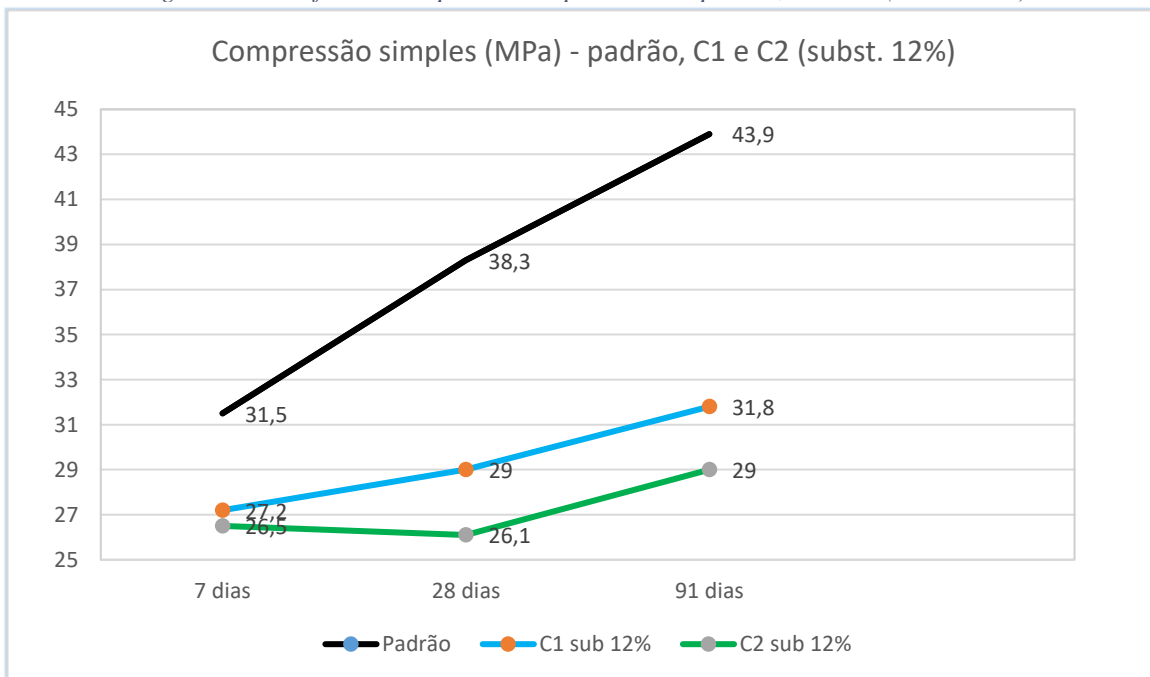


Figura 29 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst. 12%)



4.4.4. Verificação do desempenho mecânico (substituição parcial do agregado miúdo pela CBC1G e pela CBC2G)

Além da substituição parcial do cimento pelos resíduos (CBC1G e CBC2G) também foi verificado o desempenho mecânico substituindo-se parcialmente o agregado miúdo (areia) pelos mesmos resíduos.

Substituições parciais de areia pela C1 e C2

Tabela 31 – Ensaio de compressão simples – Padrão – NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	17/02/2022	7	6,88	35,0
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	17/02/2022	7	6,48	33,0
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	17/02/2022	7	5,22	26,6
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	10/03/2022	28	8,06	41,0
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	10/03/2022	28	7,28	37,1
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	10/03/2022	28	7,22	36,8
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	12/05/2022	91	9,66	49,2
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	12/05/2022	91	7,90	40,2
padrão	1:3:2:0,53	10/02/2022	12/05/2022	91	8,32	42,4

Obs.: o traço padrão utilizado foi o mesmo quando da substituição parcial do cimento pelas cinzas CBC1G e CBC2G.

Tabela 32 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (5%) – NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
CI	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	2,62	13,3
CI	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	2,72	13,9
CI	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	2,62	13,3
CI	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	2,78	14,2
CI	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	3,98	20,3
CI	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	4,34	22,1
CI	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	4,56	23,2
CI	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	4,56	23,2
CI	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	5,58	28,4
CI	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	5,48	27,9
CI	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	5,12	26,1
CI	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	5,54	28,2

Tabela 33 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (5%) – NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
CII	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	2,78	14,2
CII	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	2,64	12,9
CII	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	2,60	13,2
CII	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	2,68	13,6
CII	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	4,38	22,3
CII	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	4,34	22,1
CII	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	4,42	22,5
CII	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	4,28	21,8
CII	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	5,58	28,4
CII	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	5,04	25,7
CII	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	5,32	27,1
CII	1:2,85:2:0,15:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	5,28	26,9

Tabela 34 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (8%) – NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
CIII	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	2,70	13,8
CIII	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	2,92	14,9
CIII	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	2,64	13,4
CIII	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	2,76	14,1
CIII	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	4,46	22,7
CIII	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	4,48	22,8
CIII	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	4,52	23,0
CIII	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	4,76	24,2
CIII	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	5,26	26,8
CIII	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	5,40	27,5
CIII	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	5,50	28,0
CIII	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	5,04	25,7

Tabela 35 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (8%) – NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
CIV	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	3,16	16,1
CIV	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	3,02	15,4
CIV	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	2,94	15,0
CIV	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	23/02/2022	7	3,14	16,0
CIV	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	4,42	22,5
CIV	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	4,82	24,5
CIV	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	4,68	23,8
CIV	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	16/03/2022	28	4,60	23,4
CIV	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	5,52	28,1
CIV	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	5,56	28,3
CIV	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	5,74	29,2
CIV	1:2,76:2:0,24:0,53	16/02/2022	18/05/2022	91	5,68	28,9

Tabela 36 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (10%)– NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
CV	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	3,00	15,3
CV	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	3,08	15,7
CV	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	2,90	14,8
CV	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	3,18	16,2
CV	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	4,68	23,8
CV	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	4,38	22,3
CV	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	4,80	24,4
CV	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	4,96	25,3
CV	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	5,64	28,7
CV	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	5,44	27,7
CV	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	5,42	27,6
CV	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	5,56	28,3

Tabela 37 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (10%) – NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
CVI	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	2,90	14,8
CVI	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	2,80	14,3
CVI	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	2,92	14,9
CVI	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	03/03/2022	7	3,06	15,6
CVI	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	4,56	23,2
CVI	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	4,12	21,0
CVI	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	4,46	22,7
CVI	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	24/03/2022	28	4,86	24,8
CVI	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	5,76	29,3
CVI	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	6,12	31,2
CVI	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	5,20	26,5
CVI	1:2,70:2:0,30:0,53	24/02/2022	26/05/2022	91	5,58	28,4

Tabela 38 – Ensaio de compressão simples – CBC1G (12%)– NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
VII	1:2,64:2:0,36:0,53	03/03/2022	10/03/2022	7	3,42	17,4
VII	1:2,64:2:0,36:0,53	03/03/2022	10/03/2022	7	3,66	18,6
VII	1:2,64:2:0,36:0,53	03/03/2022	10/03/2022	7	2,86	14,6
VII	1:2,64:2:0,36:0,53	03/03/2022	10/03/2022	7	3,50	17,8
VII	1:2,64:2:0,36:0,53	03/03/2022	31/03/2022	28	5,30	27,0
VII	1:2,64:2:0,36:0,53	03/03/2022	31/03/2022	28	4,76	24,2
VII	1:2,64:2:0,36:0,53	03/03/2022	31/03/2022	28	4,86	24,8
VII	1:2,64:2:0,36:0,53	03/03/2022	31/03/2022	28	5,36	27,3
VII	1:2,64:2:0,36:0,53	03/03/2022	02/06/2022	91	4,92	25,1
VII	1:2,64:2:0,36:0,53	03/03/2022	02/06/2022	91	5,96	30,4
VII	1:2,64:2:0,36:0,53	03/03/2022	02/06/2022	91	5,70	29,0
VII	1:2,64:2:0,36:0,53	03/03/2022	02/06/2022	91	5,60	28,5

Tabela 39 – Ensaio de compressão simples – CBC2G (12%) – NBR 5739

CP	Indicações declaradas c:a:p:z:a/c	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Carga (tf)	f _{cj} (MPa)
VIII	1:2,64:2:0,36:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	2,98	15,2
VIII	1:2,64:2:0,36:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	3,08	15,7
VIII	1:2,64:2:0,36:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	2,90	14,8
VIII	1:2,64:2:0,36:0,53	15/02/2022	22/02/2022	7	3,04	15,5
VIII	1:2,64:2:0,36:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	4,44	22,6
VIII	1:2,64:2:0,36:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	4,66	23,7
VIII	1:2,64:2:0,36:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	4,64	23,6
VIII	1:2,64:2:0,36:0,53	15/02/2022	15/03/2022	28	4,68	23,8
VIII	1:2,64:2:0,36:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	5,54	28,2
VIII	1:2,64:2:0,36:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	5,58	28,4
VIII	1:2,64:2:0,36:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	6,00	30,6
VIII	1:2,64:2:0,36:0,53	15/02/2022	17/05/2022	91	5,68	28,9

4.4.5. Adequação do melhor desempenho mecânico (substituição parcial do agregado miúdo pela CBC1G e pela CBC2G)

Além da verificação do desempenho mecânico das matrizes cimentícias com substituição parcial do cimento Portland pelas cinzas CBC1G e CBC2g, optou-se por verificar também a substituição parcial do agregado miúdo (areia) pelas mesmas cinzas.

Foram mantidas as substituições parciais de 5%, 8%, 10% e 12%, ressaltando-se que, além de mantida a relação água/cimento, como no traço padrão, a relação areia/cimento sendo de 3/1, a quantidade de cinza introduzida é o triplo dos ensaios com substituição parcial do cimento pelas cinzas (figuras 30, 31, 32 e 33).

Figura 30 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst.. 5%)

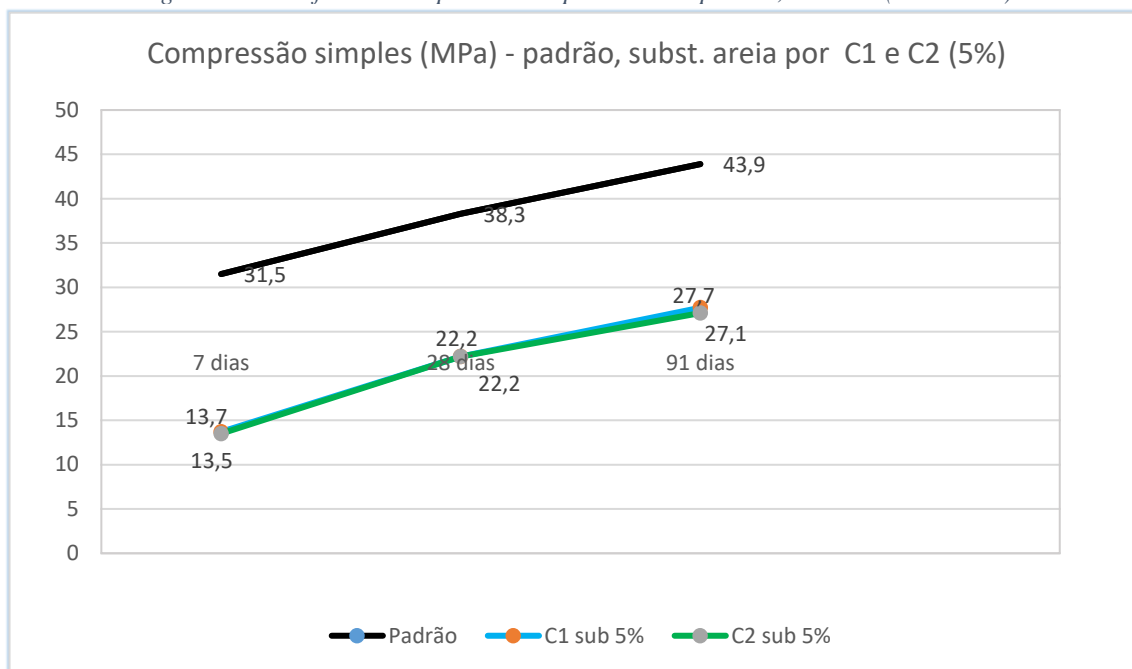


Figura 31 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst.. 8%)

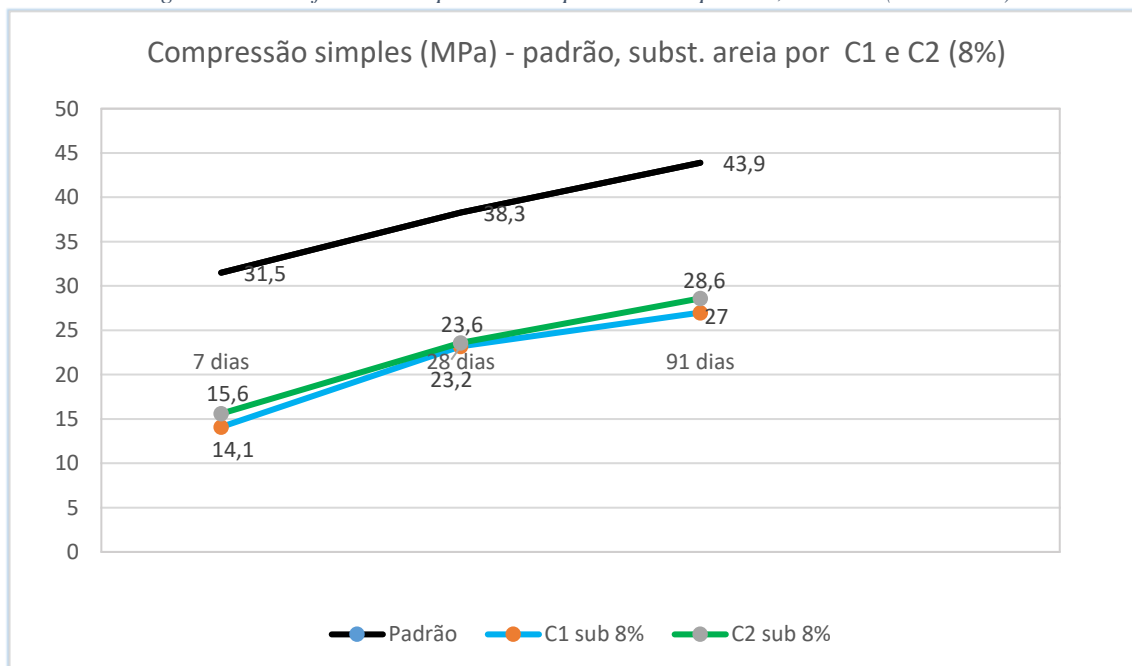


Figura 32 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst.. 10%)

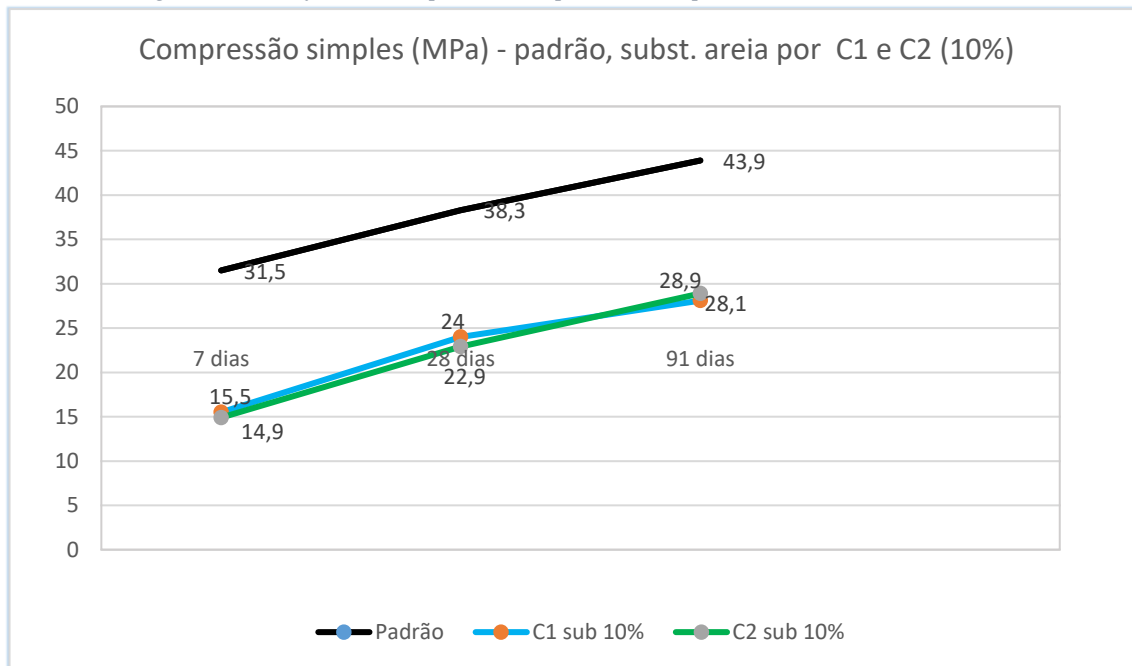
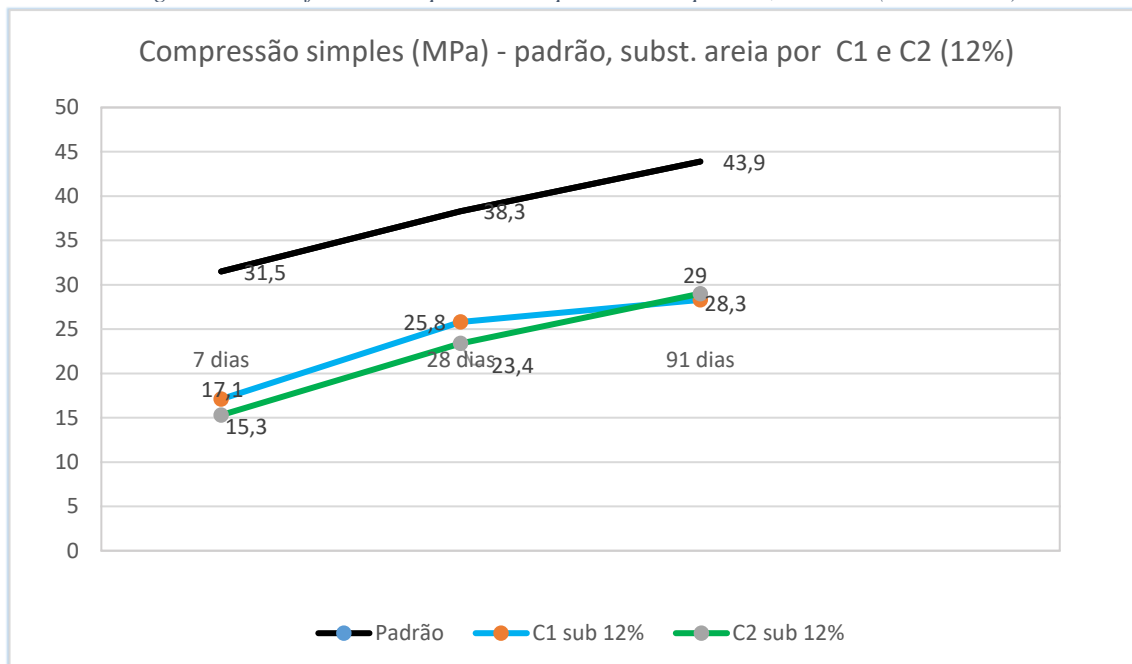


Figura 33 – Gráfico de compressão simples- curvas padrão, C1 e C2 (subst.. 12%)



4.4.6. Verificação do desempenho físico das peças – absorção de água

O ensaio de “Determinação da absorção de água” será realizado segundo o item 5.5 da ABNT NBR 9781 :2013.

A amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6 %, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7 %, a partir de ensaios realizados conforme o Anexo B.

A absorção de água, expressa em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido a penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco.

É por meio deste ensaio que obtemos o índice de absorção de água nas peças para pavimentação. Os ensaios de absorção de água foram feitos com as amostras oriundas da substituição parcial do cimento (10%) pelos resíduos CBC1G e CBC2G.

As tabelas 40 e 41 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de desempenho físico da CBC1G e CBC2G.

Tabela 40 – Absorção de água CBC1G (substituição de 10% do cimento)

Ensaio de absorção de água				
CP (nº)	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Absorção individual (%)	Absorção Média (%)
1	847,8	879,1	3,69	3,84
2	836,4	865,8	3,52	
3	825,3	860,5	4,30	

Tabela 41 – Absorção de água CBC2G (substituição de 10% do cimento)

Ensaio de absorção de água				
CP (nº)	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Absorção individual (%)	Absorção Média (%)
1	848,7	880,3	3,72	3,89
2	845,5	877,1	3,74	
3	791,9	825,3	4,22	

4.4.7. Verificação do desempenho químico das peças – eficiência de estabilização (lixiviação e solubilização)

As análises descritas no item “4.3.2. Classificação dos resíduos – análise dos extratos lixiviado e solubilizado”, dispensaram a verificação do desempenho químico das peças, isto é, não houve necessidade da encapsulação de elementos, pois, os resíduos foram classificados como “Classe II B” (não perigoso e inerte).

5. Comparação dos resultados obtidos com relação à Norma NBR 15575/2013

A NBR 15575 é a norma brasileira que estabelece os requisitos mínimos de desempenho para os sistemas estruturais, de vedação, cobertura, instalações e outros elementos presentes em edificações habitacionais. Ela visa garantir a qualidade e a segurança das construções, considerando aspectos como durabilidade, segurança estrutural, conforto térmico e acústico, entre outros.

A utilização de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como substituto parcial de cimento em concretos está inserida no contexto da adoção de materiais alternativos e sustentáveis na construção civil. A prática contribui para a sustentabilidade ao reduzir a quantidade de resíduos industriais descartados no meio ambiente. Além disso, a substituição parcial do cimento por cinzas de bagaço de cana-de-açúcar pode resultar em uma diminuição das emissões de CO² associadas à produção de cimento, abordando um dos principais impactos ambientais da indústria da construção. No entanto, é crucial destacar que a substituição de cimento por outros materiais deve ser cuidadosamente considerada, levando em conta as características específicas do material adicional. Assegurar que o concreto resultante atenda aos requisitos de desempenho estabelecidos pela norma NBR 15575 e outras normas pertinentes é fundamental. Cada tipo de adição mineral pode ter efeitos distintos nas propriedades do concreto, sendo necessário realizar estudos e ensaios para avaliar o desempenho do material em relação aos requisitos específicos de cada aplicação.

6. Recomendações técnicas dos materiais estudados quanto às suas possíveis aplicações na construção civil

Ao incorporar cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como substituto parcial do cimento na fabricação de artefatos de concreto, é essencial realizar estudos de dosagem para determinar a proporção ideal de substituição. Estes estudos devem ser acompanhados por

ensaios de resistência mecânica, avaliação da durabilidade e consideração de fatores como resistência à carbonatação e penetração de cloretos. É crucial assegurar que o concreto resultante atenda ou supere os requisitos estabelecidos pelas normas técnicas pertinentes. Além disso, é necessário implementar um rígido controle de qualidade durante a produção e colocação do concreto, considerando a compatibilidade com aditivos e a adequação às normas locais e nacionais.

7. Conclusões

Inicialmente, conforme artigo 13 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010), e pela ABNT NBR 10004 “Resíduos sólidos – Classificação” os resíduos CBC1G e CBC2G foram classificados como “não perigosos” e “inertes”, ou seja, CLASSE IIB.

Após essa classificação constatou-se desnecessária a aplicação da técnica "S/S", "estabilização/solidificação".

Quanto à capacidade pozolânica das cinzas, constatou-se pequenos índices de pozolanicidade, sendo de 78,85% da CBC1G e de 74,51% da CBC2G.

Embora não haja um valor fixo único para determinar se um material é considerado pozolânico, pois isso pode depender das especificações locais e de padrões industriais, um material pode ser considerado pozolânico se a substituição do cimento por esse material estiver na faixa de 10% a 35%.

A respeito do desempenho físico, os ensaios de absorção de água evidenciaram que, tanto a CBC1G quanto a CBC2G obtiveram desempenhos similares com substituição parcial de 10% para ambas.

Pelos gráficos das figuras 26 e 27 constatou-se que, nas substituições parciais do cimento, tanto pela CBC1G como pela CBC2G, em 5% e 8%, os resultados de resistência à compressão simples foram bem próximos à curva do traço padrão e, na substituição em torno de 10% a curva da CBC2G se manteve próxima, ao contrário da CBC1G que se distanciou.

Sobre o desempenho químico, os ensaios MEV-EDS (Quadro 5) revelaram quantidades superiores de silício e de oxigênio na CBC1 em relação à CBC2G. A quantidade percentual em massa de silício na CBC1G foi de 11,45% contra 9,31% na CBC2G e presença de 26,40% de oxigênio na amostra da CBC1G contra 25,06 na CBC2G.

O silício (Si) e oxigênio (O), são os componentes da sílica (SiO_2) e na sílica ativa essas unidades se apresentam na forma de partículas extremamente pequenas, muitas vezes na forma amorfa. A finura e a reatividade dessas partículas são características que tornam a sílica ativa um material pozolânico eficaz quando adicionado ao concreto. Quando a sílica ativa é incorporada ao concreto, ela reage com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do

cimento Portland. Essa reação forma produtos pozolânicos que contribuem para a melhoria das propriedades do concreto, como resistência, durabilidade e impermeabilidade.

Apesar dessa maior presença de silício e de oxigênio na CBC1G em relação à CBC2G verificou-se que a posição da curva CBC2G se encontra mais próxima à curva padrão do que a CBC1G (figura 28 – substituição de 10%).

Tal fato talvez se deva em virtude do bagaço da cana-de-açúcar gerado na produção de etanol de segunda geração possuir concentração mais elevada de celulose, hemicelulose e lignina em comparação com o bagaço gerado na produção de etanol de primeira geração. As fibras celulósicas contribuem para melhorar algumas propriedades do concreto como: aumento da tenacidade (as fibras celulósicas ajudam a distribuir as tensões no concreto, proporcionando maior tenacidade e resistência ao impacto); controle de fissuras (as fibras podem atuar como uma rede tridimensional dentro do concreto, ajudando a controlar e reduzir o desenvolvimento de fissuras, especialmente durante a cura do concreto) e melhoria na trabalhabilidade (adição de fibras celulósicas pode melhorar a trabalhabilidade do concreto fresco, facilitando o processo de mistura e colocação).

Na substituição parcial do agregado miúdo (areia) pelas cinzas, observou-se perda superior a 30% da resistência à compressão em todos os percentuais de substituição. Talvez isso se explique pelo excesso de filler.

O uso excessivo de filler em concretos pode resultar em vários problemas relacionados à resistência à compressão e outras propriedades do concreto. Adicionar um excesso de filler pode levar à redução da resistência à compressão por dificultar a trabalhabilidade e compactação do concreto (fato observado no laboratório quando da moldagem dos corpos de prova) levando à formação de vazios e falhas estruturais. A falta de compactação adequada compromete a densidade da matriz cimentícia, afetando a resistência e a durabilidade do concreto. O aumento da retração durante a cura é outra possível consequência, podendo levar à formação de fissuras no concreto, acarretando diminuição da resistência à compressão.

No contexto da NBR 15575, que trata do desempenho de edificações habitacionais, a consideração da substituição parcial de cimento por cinzas de bagaço de cana-de-açúcar em concretos ganha importância. Essa prática está alinhada com a busca por materiais sustentáveis na construção civil, um dos aspectos abordados pela norma. As cinzas provenientes da queima do bagaço de cana-de-açúcar não apenas representam uma alternativa ambientalmente interessante, mas também podem contribuir para atender aos requisitos de desempenho estabelecidos pela NBR 15575.

Esse tipo de abordagem está alinhado com os princípios de sustentabilidade e eficiência energética preconizados pela norma, promovendo práticas construtivas que buscam atender aos requisitos de desempenho estabelecidos para garantir a qualidade e a durabilidade das edificações habitacionais. Portanto, a introdução de materiais alternativos, como as cinzas

de bagaço de cana-de-açúcar, pode contribuir positivamente para a conformidade com as diretrizes da NBR 15575 no que diz respeito ao desempenho ambiental das construções.

Em suma, esse estudo comparativo demonstrou que os resíduos estudados podem servir como substitutos parciais do cimento Portland, desde que respeitados os limites de substituição de 10% pela CBC2G e de 8% pela CBC1G, sem que se tenham perdas significativas em relação à resistência à compressão simples. Em relação à substituição do agregado miúdo pelas cinzas, o excesso de filler pode representar um obstáculo nesse aspecto. Assim sendo, ao minimizar o impacto ambiental e favorecer a eficiência na utilização de recursos, a substituição parcial de cimento por cinzas de bagaço da cana-de-açúcar emerge como uma escolha estratégica na busca por construções mais ecológicas e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 9780, “Peças de Concreto para Pavimentação, NBR 10005; “Procedimento para Obtenção de Extrato Lixiviado de Resíduos Sólidos”. 2004.

_____, NBR 10006; “Procedimento para Obtenção de Extrato Solubilizado de Resíduos Sólidos”. 2004.

_____, NBR 10007; “Amostragem de Resíduos Sólidos”. 2004.

_____, NBR 9778 “Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica”. 2005 Versão 2006.
avimentação – Determinação da Resistência à Compressão”. 1987.

_____, NBR 9781, “Peças de Concreto para Pavimentação”. 2013.

_____, NBR 5752; “Materiais Pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias”. 2014.

_____, NBR 12653; “Materiais Pozolânicos”. 2014.

_____, NBR 07211; “Agregados para Concreto”. 1983.

_____, NBR 10004; “Resíduos Sólidos – Classificação”. 2004.

ANJOS, M. A. S.; MOREIRA, H. P.; BORJA, E. V.; PEREIRA, A. C.; NETO, C. A. “Efeito da adição de cinza da biomassa da cana-de-açúcar como finos no concreto auto-adensável”. Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2010.

ARGENTE CAETANO, J.; “Reaproveitamento do Resíduo Terra da Shredder Através da Técnica de Solidificação/Estabilização em Matrizes de Cimento Portland Para Aplicação na Construção Civil”. Dissertação de Mestrado. EESC-USP, 2016.

BESSA, S. A. L. “Utilização Da Cinza Do Bagaço Da Cana-De-Açúcar Como Agregado Miúdo Em Concretos Para Artefatos De Infraestrutura Urbana”. 2011. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2011.

BARROSO, L.F.L.; “Contribuições ao plano de resíduos sólidos do Estado de São Paulo”. Tese de doutorado, EESC - USP, 2013.

CASTALDELLI, V. N.; CASTRO, J. N. T.; QUEVEDO, V. R. B.; AKASAKI, J. L.; TASHIMA, M. M.; BERNABEU, J. J. P. “Avaliação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (*in natura*) quando adicionado ao concreto”. Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2010.

CETESB; “Resíduos Sólidos Industriais”. São Paulo, 1985.

CLAUDIO, J.R.; “Resíduos Sólidos Perigosos – Solidificação de Lamas Tóxicas com Cimentos”. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica – USP, São Paulo, 1987.

COELHO, S. T., 1999, “Mecanismos para implementação da cogeração de eletricidade a partir da biomassa. Um modelo para o estado de São Paulo”. Tese de Doutorado., Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 200p

CONABE - “Companhia Nacional de Abastecimento” – Acompanhamento da Safra brasileira : Cana-de-Açúcar. Safra 2015/2016. Brasília, CONABE, 2015.

CONNER, J.R.; “Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Wastes”. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.

CONNER, J.R. & HOFFNER, S.L.; “The History of Stabilization/Solidification Technology”. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, p. 325-396, EUA, 1998.

CORDEIRO, G. C. “Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto”. (tese de doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) 2006.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. (2009) “Caracterização de Cinza do Bagaço de Cana-de-açúcar para Emprego como Pozolana em Materiais Cimentícios”. 2009. Revista Química Nova, 32(1), 82-86, 2009.

CORDEIRO, G. C.; RANGEL, R. C. N.; BARROSO, T. R. “Avaliação da resistência à compressão, da compacidade e da retração por secagem de argamassas com cinza do bagaço de cana-de-açúcar com elevado teor de carbono”. Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2010.

CORDEIRO, G. C.; FILHO, R. D. T.; FAIRBAIRN, E. M. R.; TAVARES, L. M. M. “Estudo do processo de moagem da cinza do bagaço da cana-de-açúcar visando seu emprego como aditivo mineral para concreto”. Conferência Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-

Convencionais: Habitações e Infra- Estrutura de Interesse Social. NOCMAT, Pirassununga, São Paulo, 2004.

CSI – THE CEMENT SUSTAINABILITY INITIATIVE. (2007). “The cement sustainability Initiative”. Suíça: World Business Council for Sustainable Development, 2009. 7p.

DANIALI, S.; “Solidification/Stabilization of Heavy Metals in Latex Modified Portland Cement Matrices”. Journal of Hazardous Materials, V. 24, n. 2-3, p. 225-230, 1990.

DASSAN, K. R. F. O.; FORMAGINI, S.; DASSAN, D. “Produção de blocos de concreto com cinzas de bagaço de cana-de-açúcar”. Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2010.

FAOSTAT – “Food and Agriculture Organization of the United Nations” - <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> ;

FREITAS, E. G. A., RODRIGUES, E. H. V., ARAÚJO, R. C. L., FAY, L., 1998, “Efeito da adição de cinzas de bagaço de cana na resistência à compressão de argamassa normal”, In: XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, v. 4, Poços de Caldas, Brasil.

FREITAS, E. S. “Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar do município de Campos dos Goytacazes para uso na construção civil”. Dissertação, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campo dos Goytacazes/RJ, 2005.

GIOCONDO CESAR, A.C.; “Desenvolvimento de Blocos Confeccionados com Escória Proveniente da Reciclagem do Aço”. Dissertação de Mestrado. EESC - USP, 2008.

HANNA, R.A.; “Estudo da Estabilização por Solidificação de Produtos Tóxicos em Cimento Portland: Uma Análise em Nível Microestrutural”. Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 1996.

JOHN, M. V. “Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à Pesquisa e Desenvolvimento”. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2000.

LIMA, S. A.; SALES, A.; SANTOS, T. J. Caracterização físico-química da cinza do bagaço da cana-de-açúcar visando o seu uso em argamassas e concretos como substituto do agregado miúdo. Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2009.

MACEDO, P. C. “Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar”. Dissertação, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Ilha Solteira/SP, 2009a.

MACEDO, P. C.; CASTALDELLI, V. N.; AKASAKI, J. L.; MELGES, J. L. P.; FIORITI, C. F.; TASHIMA, M. M.; BERNABEU, J. J. P. “Revisão bibliográfica sobre o uso de cinza de bagaço de cana-de-açúcar na construção civil” – Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2009b.

MACKAY, M. & EMERY, J.; “Stabilization/Solidification of Contaminated Soils and Sludges Using Cementitious Systems”. Cement Industry Solutions to Waste Management, Proceedings, p. 135, Calgary, 1992.

MARTINS, C. M.; ZANELLA, R. M. "Avaliação da absorção por capilaridade em argamassas produzidas com cinza do bagaço de cana-de-açúcar" – Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2009.

MARTINS, C. M.; ZANELLA, R. M.; PAULINO Jr, R. "Potencial do uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como agregado miúdo". In: I SEMINÁRIO DE ENGENHARIA URBANA. Anais. Maringá, Brasil, 2007. Disponível em: <http://www.dec.uem.br/seuem/artigosseuem2007/13a.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2011.

MOLIN FILHO, R G. D. "Concreto autoadensável com a utilização da cinza do bagaço de cana". Dissertação de Mestrado. PEU/Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

MORETTI, J.P.; "Estudo de viabilidade técnica da utilização da ACBC e do RCC na composição de concretos". Dissertação de Mestrado, UFSCar, 2014.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., 1994, "Concreto: estrutura, propriedades e materiais", 1 ed. São Paulo: Editora Pini.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., 2008, "Concreto: microestrutura, propriedades e materiais", 1 ed. São Paulo: Editora Pini.

MERRITT, S.D.; "Applications of Soil and Cement Chemistry to Stabilization/Solidification". Transportation Research Record, n.1424, p. 1-7, 1993.

MODANIA, P. O.; VYAWAHAREB, M. R. Utilization of Bagasse Ash as a Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete. Procedia Engineering, 51, 2013, p.25 - 29.

NEVILLE, A. M., 1997, "Propriedades do concreto", 2 ed. São Paulo: Editora Pini.

NUNES, I. H. S. "Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção". Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, UEM, Centro de Tecnologia, Maringá, 2009.

PABLOS, J.M.; "Utilização do Resíduo Sólido Gerado pelo Descarte das Areias de Fundação Aglomeradas com Argila no Setor de Construção Civil". Dissertação de Mestrado, EESC-USP, 1995.

PABLOS, J.M.; "Estudo para a Reutilização do Resíduo Sólido Constituído pelas Areias de Fundação Aglomeradas com Argila, através da Técnica de Solidificação/Estabilização em Matrizes de Cimento Portland, para Aplicação no Setor da Construção Civil", Tese de Doutorado, EESC-USP, 2008.

PAULA, M. O. "Potencial da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland". (dissertação de mestrado). Universidade Federal de Viçosa (UFV) 2006.

POON, C.S. & CLARCK, A.I. & PERRY, R.; "Permeability Study on the Cement Based Solidification for the Disposal of Hazardous Wastes". Cement and Concrete Research, V. 16, p. 161-172, EUA, 1986.

SAITO, L.M. & LEÃO, M.L.G. & NETO, P.P.C.; “Encapsulamento de Resíduos Industriais Perigosos”. 13^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais, Maceió, 1985.

SALES, A.; LIMA, S. A.; SANTOS, T. J.; CORDEIRO, S. G. F.; CERRALIO, B. S. “Argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao cimento Portland: influência do tipo de queima do bagaço”. Anais do 52^o Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2010.

SANTOS, S.; “Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos”. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 1997.

SARMIENTO, C. R.; FREIRE, W. J. “Argamassa de cimento e areia combinada com fibras de bagaço de cana-de-açúcar”. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.17, n.2, p.1-8, dez. 1997.

SCHALCH, VALDIR., 2019, “Resíduos Sólidos - Conceitos, Gestão e Gerenciamento”, 1 ed. São Paulo: Editora Elsevier.

SOUSA, L. R. L.; FIGUEIREDO, E. P.; RÊGO, J. H. S. “Caracterização de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) residuais produzidas no estado de Goiás como adição mineral ao cimento” - Anais do 51^o Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2009.

SOUSA, L. R. L.; FIGUEIREDO, E. P.; RÊGO, J. H. S. “Caracterização de compósitos de cimento com substituição de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) em diferentes teores”. Anais do 52^o Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2010.

SOUTO, J. M. F. “Avaliação do desempenho da cinza do bagaço de cana-de-açúcar na produção de concretos”. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, UEM, Centro de Tecnologia, Maringá, 2010.

SOUZA, G. N.; FORMAGINI, S.; CUSTÓDIO, F. O.; SILVEIRA, M. M. “Desenvolvimento de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar” - Anais do 49^o Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2007a.

U.S. EPA; “Solidification/Stabilization of Inorganics and Organics”. Engineering Bulletin, EUA, 1991.

U.S. EPA; Handbook on In-situ “Treatment of Hazardous Waste Contaminated Soil”. U.S.EPA/540/2-90/002, Ohio, 1990.

ZAMPIERI, V.A., “Mineralogia e mecanismos de ativação de pozolanas de argilas calcinadas”. Dissertação Mestrado., Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 191 p

KAWABATA, C. Y. “Aproveitamento de cinzas da queima de resíduos agroindustriais na produção de compósitos fibrosos e concreto leve para a construção rural”, tese de Doutorado. Universidade de São Paulo (USP) 2008.

VALENCIANO, M. D. C. M.; FREIRE, W. J. "Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar". Eng. Agríc., Jaboticabal, v.24, n.3, p.484-492, set./dez. 2004.

ZARDO, A. M. "Utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar como "filler" em compostos de fibrocimento". I ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Anais. São Paulo:2004

ANEXO 1



Laboratório de Ensaios acreditados pela Cgcre de acordo com a
ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CRL 0400



Relatório de Ensaio Nº: 50912.2023.A- V.0	
01. Dados Contratao:	
Identificação do Laboratório:	
Laboratório: KELLER EMPRESA DE SANEAMENTO E ECOLOGIA LTDA	
Endereço: Avenida Padre José de Anchieta, 287 Parque Alvorada - Araraquara/SP CEP: 14807150	
E-mail: contato@kellerambiental.com.br	Fone: +55 (16) 3333-6562
Solicitante:	
Razão Social:	MÁRIO SÉRGIO DE ANDRADE ZAGO
Proposta Comercial:	3054.2023.V1
Contato:	Mario Zago E-mail: mario.zago@usp.br Fone: +55 19 99526-4978
Cliente Para Resultado:	
Razão Social:	MÁRIO SÉRGIO DE ANDRADE ZAGO

02. Dados da Amostra fornecida pelo Cliente:	
Descrição da Amostra:	Item 01: Cinzas oriundas da produção de etanol de primeira geração (10005)
Endereço Amostragem:	Fazenda Lagoa Formosa,S/N, Distrito Industrial Cidade: Sao Joao da Boa Vista/SP CEP: 13870672
Coordenadas GPS:	21°55'41.3"S 46°55'25.7"W
Matriz e Origem Amostra:	Resíduo - Resíduo Sólido
Plano / Ficha Amostragem:	9993.2023.V0
Data de Amostragem:	20/10/2019 15:00:00
Característica da Amostra:	Simple
Responsável pela Amostragem:	Cliente
03. Dados de Controle da Amostra:	
Data Recebimento:	22/11/2023 11:44:00
Data Início Amostra:	30/11/2023
Data Conclusão Amostra:	27/12/2023
Os resultados podem ser afetados pelos seguintes desvios:	
Requisitos	Respostas
5 Temperatura: A temperatura da amostra está adequada? Observao: superior 5°C	No
7 Prazo de validade do ensaio: Algum parâmetro extrapolou o prazo de validade? Observao: Parâmetro vencidos: (Óleos e graxas, sulfeto de hidrogênio, % de sólidos seco, ponto de fulgor, cianeto total)	Sim

04. Resultados:							
Parâmetros	Resultados	Un Trab	VMP - ABNT NBR 10005 Sem classe	Un	L.Q.	L.D.	Início Ensaio
1,1 Dicloroetano	<0,002000	mg/L	até 3,000	mg/L	0,002000	0,000097	05/12/2023
1,2 Dicloroetano	<0,002000	mg/L	até 1,000	mg/L	0,002000	0,000008	05/12/2023
1,4 Diclorobenzeno	<0,002000	mg/L	até 7,500	mg/L	0,002000	0,000166	05/12/2023
2 Butanona	<0,025000	mg/L	até 200,000	mg/L	0,025000	0,025000	05/12/2023
2,4 Dinitrotolueno	<0,010000	mg/L	até 0,13	mg/L	0,010000	0,010000	05/12/2023
2,4,5 Triclorofenol	<0,000005	mg/L	até 400,0000	mg/L	0,000005	0,000001	05/12/2023
2,4,5-T	<0,000100	mg/L	até 0,2000	mg/L	0,000100	0,000001	04/12/2023
2,4,5-TP	<0,000100	mg/L	até 1,0000	mg/L	0,000100	0,000005	04/12/2023
2,4,6 Triclorofenol	<0,000005	mg/L	até 20,0000	mg/L	0,000005	0,000002	05/12/2023
2,4-D	<0,000100	mg/L	até 3,0000	mg/L	0,000100	0,000005	04/12/2023
4,4 DDT	<0,005000	µg/L	N.A	µg/L	0,005000	0,001800	06/12/2023
4,4'DDD	<0,005000	µg/L	N.A	µg/L	0,005000	0,00094	06/12/2023

Relatório N.:50912.2023.A- V.0 - Lab de Ensaio Acreditado pela Cgcre, ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Sob CRL 0400

Parâmetros	Resultados	Un Trab	VMP - ABNT NBR 10005 Sem classe			L.D.	Início Ensaio
			Un	L.Q.	L.D.		
4,4'DDE	<0,00500	µg/L	N.A	µg/L	0,00500	0,00094	06/12/2023
Aldrin	<0,000005	mg/L	até 0,0030	mg/L	0,000005	0,000002	06/12/2023
Arsênio	0,060	mg/L	até 1,000	mg/L	0,0050	0,0001	01/12/2023
Bário	0,28	mg/L	até 70,00	mg/L	0,0100	0,0000	01/12/2023
Benzeno	<0,002000	mg/L	até 0,500	mg/L	0,002000	0,000245	05/12/2023
Benzo (a) pireno	<0,000005	mg/L	até 0,0700	mg/L	0,000005	0,000165	06/12/2023
Cádmio	<0,0010	mg/L	até 0,500	mg/L	0,0010	0,0001	01/12/2023
Chumbo	0,023	mg/L	até 1,000	mg/L	0,0050	0,0000	01/12/2023
Clordano(todos os isômeros)	<0,000010	mg/L	até 0,0200	mg/L	0,000010	0,000003	06/12/2023
Cloreto de Vinila	<0,0010	mg/L	até 0,500	mg/L	0,0010	0,0000	05/12/2023
Clorobenzeno	<0,002000	mg/L	até 100,000	mg/L	0,002000	0,001000	05/12/2023
Clorofórmio	<0,002000	mg/L	até 6,000	mg/L	0,002000	0,000007	05/12/2023
Cresóis totais	<0,000010	mg/L	até 200,0000	mg/L	0,000010	-	06/12/2023
Cromo Total	0,045	mg/L	até 5,000	mg/L	0,0050	0,0000	01/12/2023
DDT + DDD + DDE	<0,000005	mg/L	até 0,2000	mg/L	0,000005	-	06/12/2023
Dieldrin	<0,000005	mg/L	até 0,0030	mg/L	0,000005	0,000008	06/12/2023
Endrin	<0,000005	mg/L	até 0,0600	mg/L	0,000005	0,000001	06/12/2023
Fluoreto	<0,5000	mg/L	até 150,00	mg/L	0,5000	0,0020	04/12/2023
gama BHC (Lindano)	<0,000005	mg/L	até 0,2000	mg/L	0,000005	0,000002	06/12/2023
Heptacloro e seu epóxido	<0,000010	mg/L	até 0,0030	mg/L	0,000010	0,000010	06/12/2023
Hexaclorobenzeno	<0,000005	mg/L	até 0,1000	mg/L	0,000005	0,000001	06/12/2023
Hexaclorobutadieno	<0,010000	µg/L	N.A	µg/L	0,010000	0,004000	06/12/2023
Hexacloroetano	<0,000005	mg/L	até 3,0000	mg/L	0,000005	0,000005	06/12/2023
Mercurio Total	<0,00020	mg/L	até 0,1000	mg/L	0,00020	0,00001	30/11/2023
Metoxicloro	<0,000005	mg/L	até 2,0000	mg/L	0,000005	0,000003	06/12/2023
Nitrobenzeno	<0,000005	mg/L	até 2,0000	mg/L	0,000005	0,000005	06/12/2023
Pentaclorofenol	<0,000005	mg/L	até 0,9000	mg/L	0,000005	0,000005	06/12/2023
Piridina	<0,010000	mg/L	até 5,00	mg/L	0,010000	0,010000	05/12/2023
Prata	<0,0050	mg/L	até 5,000	mg/L	0,0050	0,0000	01/12/2023
Selênio	0,019	mg/L	até 1,000	mg/L	0,0050	0,0000	01/12/2023
Tetracloroeto de Carbono	<0,001000	mg/L	até 0,200	mg/L	0,001000	0,001000	05/12/2023
Tetracloroetano	<0,005000	mg/L	até 4,000	mg/L	0,005000	0,005000	05/12/2023
Toxafeno	<0,000010	mg/L	até 0,5000	mg/L	0,000010	0,000003	30/11/2023
Tricloroetano	<0,005000	mg/L	até 7,000	mg/L	0,005000	0,005000	05/12/2023

05. Referencia metodologica:

Parâmetros	Metodologia
Mercúrio Total	EPA 7471B revisão 02:2007 NBR 10.005:2004 NBR 10.006:2004
2,4,5-T, 2,4,5-TP, 2,4-D	ME 91/ NBR 10.005:2004/ NBR 10.006:2004
Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cromo Total, Prata, Selênio	Prep:EPA 3010A:2007/Det:SMWW, 23ª Edição, 2017, Método 3120B/NBR 10.005:2004/NBR 10.006:2004
4,4 DDT, 4,4'DDD, 4,4'DDE, Aldrin, Benzo (a) pireno, Clordano(todos os isômeros), Cresóis totais, DDT + DDD + DDE, Dieldrin, Endrin, gama BHC (Lindano), Heptacloro e seu epóxido, Hexaclorobenzeno, Hexaclorobutadieno, Hexacloroetano, Metoxicloro, Nitrobenzeno, Pentaclorofenol	Prep:EPA 3535A revisão 01:2007/Det:EPA 8270E revisão 06:2018/NBR10.005:2004/NBR10.006:2004
Toxafeno	Prep:EPA 3620C revisão 04:2014 Det:EPA 8081B revisão 02:2007
1,1 Dicloroetano, 1,2 Dicloroetano, 1,4 Diclorobenzeno, 2 Butanona, 2,4 Dinitrotolueno, 2,4,5 Triclorofenol, 2,4,6 Triclorofenol, Benzeno, Cloreto de Vinila, Clorobenzeno, Clorofórmio, Piridina, Tetracloroeto de Carbono, Tetracloroetano, Tricloroetano	Prep:EPA 5021A revisão 02:2014/Det:EPA 8260D revisão 04:2017/ NBR 10.005:2004

Relatório N.:50912.2023.A- V.0 - Lab de Ensaio Acreditado pela Cgcre, ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Sob CRL 0400

Parâmetros	Metodologia
Fluoreto	SMWW, 23ª Edição, 2017, Método 4500F- C NBR 10.005:2004 NBR 10.006:2004

Declaração de Conformidade

Regra de Decisão: Ao declarar a conformidade, o Laboratório Keller **não** atribui ao resultado a incerteza de medição.

As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório.

Declaração de conformidade:: O(s) parâmetro(s) avaliado(s) encontram-se em ACORDO com os valores máximos permitidos para Resíduo estabelecido na ABNT NBR 10005:2004. O resíduo foi classificado como não perigoso, não-inerte Classe II A.

Legislação: Valores de referência estabelecidos conforme ABNT NBR 10005 Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos

Relatório de Ensaio tipo A - Ensaio Acreditado conforme ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017

Legenda

mg/L - Miligrama por Litro, µg/L - Micrograma por Litro UFC = Unidades Formadoras de Colônias; Hz = Unidade Hazen (mg/L Pt/Co); NTU = Unidade Nefelométrica de Turbidez; VMP = Valor Máximo Permitido ou Valor Mínimo Permitido; SMWW = Standard Methods of Examination of Water and Wastewater; EPA = Environmental Pr

Notas gerais:

- A) A incerteza (U) relatada é baseada na incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência $k = 2$ para um nível de confiança de 95%.
- B) Todos os ensaios deste relatório possuem uma incerteza de medição, e serão prontamente disponíveis quando solicitado pelo cliente.
- C) Este relatório só poderá ser reproduzido na sua íntegra e sem nenhuma modificação sem autorização por escrito da Keller Empresa de Saneamento e Ecologia Eirelli EPP.
- D) Os resultados apresentados referem-se única e exclusivamente a amostra coletada, não sendo extensivo a quaisquer lotes.
- E) As unidades do relatório de ensaio podem ser convertidos de acordo com a legislação solicitada.
- F) Os valores de LQ e Unidade constam no escopo de acreditação CRL0400.
- G) Quando a amostragem é de responsabilidade do cliente, caso haja algum desvio, o cliente é previamente consultado pelo setor técnico sobre a disposição das amostras e a continuidade do processo analítico.
- H) Todas as datas constam nos dados brutos e estão a disposição para serem solicitadas a qualquer momento pelo interessado.
- I) O laboratório Keller também não se responsabiliza pela amostragem, quando esta é realizado pelo interessado, ou dados de campo fornecidos pelo interessado, apenas pelos ensaios a partir da data da entrada da amostra.

Métodos de Amostragem: Águas: SMWW 23ª Edição, 2017 Método 1060 e 9060 Água subterrânea por baixa vazão ou bailer: ABNT-NBR 15847:2010 Solo: CETESB 6300:1999 Resíduos: ABNT-NBR 10007:2004 Sedimentos: EPA 823:2001 Solo agrícola para monitoramento da aplicação de efluente e lodo cítrico: Norma Técnica CETESB P4.002, 1ª Edição / Versão - 2010 item 6.5.3 Solo agrícola para monitoramento da aplicação de lodo biológico: Norma Técnica CETESB P4.230, Versão - 2021 Anexo D Solo agrícola fins de qualidade ambiental e monitoramento da aplicação de vinhaça: Norma Técnica CETESB P4.231, 3ª Edição / 2ª Versão - 2015 item 8.1 Solo agrícola para fins de qualidade, fertilidade e monitoramento da aplicação de vinhaça: Norma Técnica CETESB P4.231, 3ª Edição / 2ª Versão - 2015 item 8 Solo agrícola para monitoramento da aplicação de lodo de curtume: Norma Técnica CETESB P4.233, Versão - 1999 item 9.5.1

Este documento tem fé pública, segundo o Art. 10 inciso 1º da MP nº 2.200-2:

Código de Verificação:
00118000043090026210202300000

Instruções para verificação de autenticidade de documento:

1) Acesse a página <http://keller.ultralims.com.br/public/validacao/> 2) Digite o Código Verificador disponível logo abaixo. 3) Clique na opção "Validar"



EDUARDO HENRIQUE KELLER
Biólogo Responsável
CRBio-31783/01-D
EDUARDO HENRIQUE KELLER

Diretor(a)



ANDRE SCHIKIESRKI
Gerente Técnico(a)

ANEXO 2



Laboratório de Ensaios acreditados pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CRL 0400



Relatório de Ensaio Nº: 50916.2023.A- V.0

01. Dados Contratao:	
Identificação do Laboratório:	
Laboratório: KELLER EMPRESA DE SANEAMENTO E ECOLOGIA LTDA	
Endereço: Avenida Padre José de Anchieta, 287 Parque Alvorada - Araraquara/SP CEP: 14807150	
E-mail: contato@kellerambiental.com.br	Fone: +55 (16) 3333-6562
Solicitante:	
Razão Social:	MÁRIO SÉRGIO DE ANDRADE ZAGO
Proposta Comercial:	3054.2023.V1
Contato:	Mario Zago E-mail: mario.zago@usp.br Fone: +55 19 99526-4978
Cliente Para Resultado:	
Razão Social:	MÁRIO SÉRGIO DE ANDRADE ZAGO

02. Dados da Amostra fornecida pelo Cliente:	
Descrição da Amostra:	Item 02: Cinzas oriundas da produção de etanol de segunda geração (10006)
Endereço Amostragem:	Zona rural, SN, Cidade: São Miguel dos Campos/AL CEP: 57240-000
Coordenadas GPS:	9°46'23.2"S 36°5'4.5"W
Matriz e Origem Amostra:	Resíduo - Resíduo Sólido
Plano / Ficha Amostragem:	9993.2023.V0
Data de Amostragem:	22/05/2020 16:00:00
Característica da Amostra:	Simplex
Responsável pela Amostragem:	Cliente
03. Dados de Controle da Amostra:	
Data Recebimento:	22/11/2023 11:44:00
Data Início Amostra:	22/11/2023
Data Conclusão Amostra:	14/12/2023

04. Resultados:							
Parâmetros	Resultados	Un Trab	VMP - ABNT NBR 10006			Início Ensaio	
			Sem classe	Un	L.Q.		L.D.
2,4,5-T	<0,000100	mg/L	até 0,0020	mg/L	0,000100	0,000001	06/12/2023
2,4,5-TP	<0,000100	mg/L	até 0,0300	mg/L	0,000100	0,000005	06/12/2023
2,4-D	<0,000100	mg/L	até 0,0300	mg/L	0,000100	0,000005	06/12/2023
4,4 DDT	<0,000005	mg/L	até 0,0020	mg/L	0,000005	0,000002	06/12/2023
4,4'DDD	<0,00500	µg/L	N.A	µg/L	0,00500	0,00094	06/12/2023
4,4'DDE	<0,00500	µg/L	N.A	µg/L	0,00500	0,00094	06/12/2023
Aldrin	<0,000005	mg/L	até 0,0000	mg/L	0,000005	0,000002	06/12/2023
Alumínio	<0,0100	mg/L	até 0,20	mg/L	0,0100	0,0120	11/12/2023
Arsênio	<0,0050	mg/L	até 0,010	mg/L	0,0050	0,0001	11/12/2023
Bário	<0,0100	mg/L	até 0,70	mg/L	0,0100	0,0000	11/12/2023
Cádmio	<0,0010	mg/L	até 0,005	mg/L	0,0010	0,0001	11/12/2023
Chumbo	<0,0050	mg/L	até 0,010	mg/L	0,0050	0,0000	11/12/2023
Cianeto Total	<0,050000	mg/L	até 0,070	mg/L	0,050000	1,000000	11/12/2023
Clordano(todos os isômeros)	<0,000010	mg/L	até 0,0002	mg/L	0,000010	0,000003	06/12/2023
Cloreto	35,203	mg/L	até 250,000	mg/L	0,5000	0,0020	04/12/2023
Cloreto de Vinila	<1,0000	µg/L	N.A	µg/L	1,0000	0,0100	05/12/2023
Cobre Total	<0,0050	mg/L	até 2,000	mg/L	0,0050	0,0000	11/12/2023
Cromo Total	0,012	mg/L	até 0,050	mg/L	0,0050	0,0000	11/12/2023

A

Relatório N.:50916.2023.A- V.0 - Lab de Ensaio Acreditado pela Cgcre, ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Sob CRL 0400

Parâmetros	Resultados	Un Trab	VMP - ABNT NBR 10006 Sem classe		L.Q.	L.D.	Início Ensaio
			Un				
Dieldrin	<0,000005	mg/L	até 0,0000	mg/L	0,000005	0,000008	06/12/2023
Endrin	<0,000005	mg/L	até 0,0006	mg/L	0,000005	0,000001	06/12/2023
Fenol pelo método colorimétrico	<0,001000	mg/L	até 0,01000	mg/L	0,001000	0,200000	11/12/2023
Ferro	0,01	mg/L	até 0,30	mg/L	0,0100	0,0000	11/12/2023
Fluoreto	<0,5000	mg/L	até 1,50	mg/L	0,5000	0,0020	09/12/2023
gama BHC (Lindano)	<0,000005	mg/L	até 0,0020	mg/L	0,000005	0,000002	06/12/2023
Heptacloro e seu epóxido	<0,000010	mg/L	até 0,0000	mg/L	0,000010	0,000010	06/12/2023
Hexaclorobenzeno	<0,000005	mg/L	até 0,0010	mg/L	0,000005	0,000001	06/12/2023
Manganês	<0,0050	mg/L	até 0,100	mg/L	0,0050	0,0000	11/12/2023
Mercúrio Total	<0,00020	mg/L	até 0,0010	mg/L	0,00020	0,00001	27/12/2023
Metoxicloro	<0,000005	mg/L	até 0,0200	mg/L	0,000005	0,000003	06/12/2023
Nitrato	40,1170	mg/L	até 10,0000	mg/L	1,0000	0,0030	22/11/2023
Prata	<0,0050	mg/L	até 0,050	mg/L	0,0050	0,0000	11/12/2023
Selênio	<0,0050	mg/L	até 0,010	mg/L	0,0050	0,0000	11/12/2023
Sódio	12,844	mg/L	até 200,000	mg/L	0,2000	0,0020	11/12/2023
Sulfato	102,9380	mg/L	até 250,0000	mg/L	0,5000	0,0010	04/12/2023
Surfactantes aniônicos	<0,0500	mg/L	até 0,50	mg/L	0,0500	0,0050	22/11/2023
Toxafeno	<0,000010	mg/L	até 0,0050	mg/L	0,000010	0,000003	08/12/2023
Zinco	<0,0100	mg/L	até 5,00	mg/L	0,0100	0,0000	11/12/2023

05. Referencia metodologica:

Parâmetros	Metodologia
Cloreto, Nitrato, Sódio, Sulfato	EPA 300.1:1999/NBR 10.006:2004
Mercúrio Total	EPA 7471B revisão 02:2007 NBR 10.005:2004 NBR 10.006:2004
2,4,5-T, 2,4,5-TP, 2,4-D	ME 91/ NBR 10.005:2004/ NBR 10.006:2004
Fenol pelo método colorimétrico	Prep: SMWW 23ª Edição, 2017, Método 5530C Det: SMWW 23ª Edição, 2017, Método 5530D NBR 10.006:2004
Cianeto Total	Prep: SMWW 23ª Edição 2017, Método 4500CN B/Det: Método 4500CN C NBR 10.006:2004
Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre Total, Cromo Total, Ferro, Manganês, Prata, Selênio, Zinco	Prep:EPA 3010A:2007/Det:SMWW, 23ª Edição, 2017, Método 3120B/NBR 10.005:2004/NBR 10.006:2004
4,4 DDT, 4,4'DDD, 4,4'DDE, Aldrin, Clordano(todos os isômeros), Dieldrin, Endrin, gama BHC (Lindano), Heptacloro e seu epóxido, Hexaclorobenzeno, Metoxicloro	Prep:EPA 3535A revisão 01:2007/Det:EPA 8270E revisão 06:2018/NBR10.005:2004/NBR10.006:2004
Toxafeno	Prep:EPA 3620C revisão 04:2014 Det:EPA 8081B revisão 02:2007
Cloreto de Vinila	Prep:EPA 5021A revisão 02:2014/Det:EPA 8260D revisão 04:2017/ NBR 10.005:2004
Surfactantes aniônicos	SMWW 23ª Edição, 2017, Método 5540C
Fluoreto	SMWW, 23ª Edição, 2017, Método 4500F- C NBR 10.005:2004 NBR 10.006:2004

Declaração de Conformidade

Regra de Decisão: Ao declarar a conformidade, o Laboratório Keller **não** atribui ao resultado a incerteza de medição.

As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório.

Declaração de conformidade: O(s) parâmetro(s) avaliado(s) Nitrato encontra-se em DESACORDO com os valores máximos permitidos para Resíduo estabelecido na ABNT NBR 10006:2004. O resíduo foi classificado como não perigoso, não-inerte Classe II A.

Legislação: Valores de referência estabelecidos conforme ABNT NBR 10006 Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos

Relatório de Ensaio tipo A - Ensaio Acreditado conforme ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017

Legenda

mg/L - Miligrama por Litro, µg/L - Micrograma por Litro UFC = Unidades Formadoras de Colônias; Hz = Unidade Hazen (mg/L Pt/Co); NTU = Unidade Nefelométrica de Turbidez; VMP = Valor Máximo Permitido ou Valor Mínimo Permitido; SMWW = Standard Methods of Examination of Water and Wastewater; EPA = Environmental Pr

Notas gerais:

- A) A incerteza (U) relatada é baseada na incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência $k = 2$ para um nível de confiança de 95%.
- B) Todos os ensaios deste relatório possuem uma incerteza de medição, e serão prontamente disponíveis quando solicitado pelo cliente.
- C) Este relatório só poderá ser reproduzido na sua íntegra e sem nenhuma modificação sem autorização por escrito da Keller Empresa de Saneamento e Ecologia Eirelli EPP.
- D) Os resultados apresentados referem-se única e exclusivamente a amostra coletada, não sendo extensivo a quaisquer lotes.
- E) As unidades do relatório de ensaio podem ser convertidos de acordo com a legislação solicitada.
- F) Os valores de LQ e Unidade constam no escopo de acreditação CRL0400.
- G) Quando a amostragem é de responsabilidade do cliente, caso haja algum desvio, o cliente é previamente consultado pelo setor técnico sobre a disposição das amostras e a continuidade do processo analítico.
- H) Todas as datas constam nos dados brutos e estão a disposição para serem solicitadas a qualquer momento pelo interessado.
- I) O laboratório Keller também não se responsabiliza pela amostragem, quando esta é realizado pelo interessado, ou dados de campo fornecidos pelo interessado, apenas pelos ensaios a partir da data da entrada da amostra.

Métodos de Amostragem: Águas: SMWW 23ª Edição, 2017 Método 1060 e 9060 Água subterrânea por baixa vazão ou bailer: ABNT-NBR 15847:2010 Solo: CETESB 6300:1999 Resíduos: ABNT-NBR 10007:2004 Sedimentos: EPA 823:2001 Solo agrícola para monitoramento da aplicação de efluente e lodo cítrico: Norma Técnica CETESB P4.002, 1ª Edição / Versão - 2010 item 6.5.3 Solo agrícola para monitoramento da aplicação de lodo biológico: Norma Técnica CETESB P4.230, Versão - 2021 Anexo D Solo agrícola fins de qualidade ambiental e monitoramento da aplicação de vinhaça: Norma Técnica CETESB P4.231, 3ª Edição / 2ª Versão - 2015 item 8.1 Solo agrícola para fins de qualidade, fertilidade e monitoramento da aplicação de vinhaça: Norma Técnica CETESB P4.231, 3ª Edição / 2ª Versão - 2015 item 8 Solo agrícola para monitoramento da aplicação de lodo de curtume: Norma Técnica CETESB P4.233, Versão - 1999 item 9.5.1

Este documento tem fé pública, segundo o Art. 10 inciso 1º da MP nº 2.200-2:

Código de Verificação:
0011800004309002626250202300000

Instruções para verificação de autenticidade de documento:

1) Acesse a página <http://keller.ultralims.com.br/public/validacao/> 2) Digite o Código Verificador disponível logo abaixo. 3) Clique na opção "Validar"



EDUARDO HENRIQUE KELLER
Biólogo Responsável
CRBio-31783/01-D
EDUARDO HENRIQUE KELLER
Diretor(a)



ANDRE SCHIKIESRKI
Gerente Técnico(a)