

UNIEVANGÉLICA – CAMPUS CERES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ELDA MARRA DE MOURA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DA CINZA DO BAGAÇO
DE CANA-DE-AÇÚCAR DA REGIÃO CENTRO-OESTE DE GOIÁS**

PUBLICAÇÃO Nº: XXXXXX

CERES / GO

2019

ELDA MARRA DE MOURA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DA CINZA DO BAGAÇO
DE CANA-DE-AÇÚCAR DA REGIÃO CENTRO-OESTE DE GOIÁS**

PUBLICAÇÃO Nº: XXXXX

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

ORIENTADOR: VITOR MAGALINI ZAGO DE SOUSA

CO-ORIENTADOR: VILSON DALLA LIBERA JUNIOR

CERES / GO: 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

MOURA, ELDA MARRA.

Análise das propriedades físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar da região Centro-Oeste de Goiás [Goiás] 2019

xi, 17P, 297 mm (ENC/UEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2007).

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Cinza

2. Bagaço cana-de-açúcar

3. Caracterização química

4. Pozolana

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MOURA, E. M. Análise das propriedades físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar da região Centro-Oeste de Goiás. TCC, Publicação ENC. PF-001A/07, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Ceres, GO, 17p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Elda Marra de Moura

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise das propriedades físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar da região Centro-Oeste de Goiás.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Elda Marra de Moura

Elda Marra de Moura

Rua 104, Qd Q, Lt 10, Jardim Sara Ribeiro

76300000 - Ceres/GO - Brasil

E-mail: eldamarram@gmail.com

ELDA MARRA DE MOURA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DA CINZA DO BAGAÇO
DE CANA-DE-AÇÚCAR DA REGIÃO CENTRO-OESTE DE GOIÁS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:



**VITOR MAGALINI ZAGO DE SOUSA, Mestre (Centro Universitário de Anápolis –
UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)
(ORIENTADOR)**



**RODRIGO NASCIMENTO PORTILHO DE FARIA, Mestre (Centro Universitário de
Anápolis – UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**VILSON DALLA LIBERA JUNIOR, Mestre (Centro Universitário de Anápolis –
UniEVANGÉLICA, Campus Ceres)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: CERES/GO, 09 DE DEZEMBRO DE 2019.

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DA CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR DA REGIÃO CENTRO-OESTE DE GOIÁS

Elda Marra de Moura¹

Vilson Dalla Libera Junior²

Vitor Magalini Zago de Sousa³

RESUMO

No Brasil, as indústrias sucroalcooleiras, além de gerar produtos importantes como o álcool e o açúcar, produzem subprodutos como a cinza do bagaço de cana de açúcar. A cinza do bagaço da cana de açúcar (CBC) possui um alto material pozolânico, podendo ser aplicado em materiais de construção civil como substituto parcial do cimento. Nessa perspectiva, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar a cinza do bagaço da cana-de-açúcar visando sua utilização como material cimentício suplementar. Foram utilizadas no estudo cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) da região do Vale do São Patrício, Goiás. Inicialmente as cinzas foram secas em estufa para remoção da umidade presente. O tamanho das partículas da CBC foi determinado através de análise granulométrica. A CBC foi caracterizada quimicamente segundo o Documento 236 – Procedimentos para Análise Lignocelulósica da EMBRAPA. A composição elementar da CBC foi determinada via combustão em analisador elementar e análise mineralógica foi realizada por meio da técnica de difração de raios-X (DRX) e o material foi caracterizado através de análise térmica (TGA). As cinzas de bagaço de cana-de-açúcar quando analisadas *in natura* apresentaram teor de umidade de 50,2%. O teor de cinzas presente na amostra foi de 47,1% e de extrativos 5,24%. A análise elementar CHN indicou uma concentração de 5,48% de carbono na CBC, sendo este teor responsável pela cor preta das cinzas. A análise de DRX indicou a presença de sílica cristalina na forma de quartzo e cristobalita. Na análise térmica a CBC apresentou 15,9% de perda de massa total da amostra. Após a avaliação dos resultados, a CBC se provou como um subproduto viável para aplicação como material cimentício suplementar e agregado miúdo em materiais de construção, visto que, seu teor de sílica na forma de quartzo é um dos principais elementos componentes na areia natural.

Palavras-chave: Cinza. Bagaço cana-de-açúcar. Caracterização química. Pozolana.

¹ Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: eldamarram@gmail.com

² Mestre em Integridade de Materiais da Engenharia, professor do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: vilson-dalla@hotmail.com

³ Mestre em Integridade de Materiais da Engenharia, professor do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: vitormagalinizago@gmail.com

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	MATERIAIS E MÉTODOS	6
2.1	 Materiais.....	6
2.2	 Caracterização física	6
2.3	 Análise Térmica.....	6
2.4	 Caracterização química	6
2.5	 Análise elementar (CHN) e Difração de Raios X (DRX)	7
3	 RESULTADOS E DISCUSSÃO	7
3.1	 Caracterização física	7
3.2	 Análise térmica.....	8
3.3	 Caracterização Química	9
3.4	 Análise elementar (CHN) e Difração de Raio X (DRX).....	10
4	 CONSIDERAÇÕES FINAIS	11
	REFERÊNCIAS.....	12

1 INTRODUÇÃO

No concreto, o material sintético mais utilizado no mundo, o ligante tipicamente utilizado é o Cimento Portland Comum, que fornece rigidez e durabilidade à mistura. A produção de cimento consome uma quantidade considerável de matéria-prima e energia, além de liberar uma grande quantidade de CO₂. Um método de reduzir o impacto ambiental da produção do concreto é a substituição parcial do cimento por materiais cimentícios suplementares (MCS), geralmente oriundos das indústrias agrícolas ou de resíduos. Dependendo da atividade pozzolânica do material suplementar é possível melhorar a resistência e durabilidade do concreto (ARIF *et al.*, 2016; QING XU *et al.*, 2018).

No Brasil os materiais mais utilizados como MCS são a escória de alto forno e a cinza volante. Um MCS deve ser de natureza pozzolânica, constituída de sílica ou sílica+alumínio, podendo não ser naturalmente cimentícia, mas devendo reagir com hidróxido de cálcio e água para formar compostos cimentícios. Quando materiais pozzolânicos são adicionados ao cimento, a sílica (SiO₂) presente nesses materiais reage com a cal livre liberada durante a hidratação do cimento e forma hidrato de silicato de cálcio adicional (CSH) como novos produtos de hidratação, que melhoram as propriedades mecânicas. A queima controlada de resíduos produz a cinza, transformando o teor de sílica das cinzas em fase amorfa, e a reatividade da sílica amorfa é diretamente proporcional à área superficial específica das cinzas (ABRÃO, 2019; GANESAN *et al.*, 2007; MOAYAD *et al.*, 1984).

Os resíduos agrícolas e industriais são gerados em grandes quantidades, e o seu descarte é um problema ambiental, uma vez que não são biodegradáveis e a maioria é descartada em aterros. Cinzas volantes de carvão, sílica ativa e escória de alto forno são comumente implementadas em materiais cimentícios por produzirem benefícios sociais e eficientes. Estudos, como os realizados por Ambedkar, *et al.*, (2017), Thomas, *et al.*, (2017), Cordeiro, *et al.*, (2017), Ban, *et al.*, (2011), Rodier, *et al.*, (2017) comprovaram que diferentes tipos de cinza de biomassa podem ser usados como materiais cimentícios suplementares. A incorporação de cinzas de biomassa ajuda na redução dos gases do efeito estufa produzidos na produção de cimento, além de reduzir custos e auxiliar na redução de descarte de resíduos (QING XU *et al.*, 2018).

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC), resultado da queima do bagaço de cana-de-açúcar, para fins de geração de energia nas indústrias sucro-alcooleiras, é uma cinza residual, constituída basicamente de sílica (SiO₂). O subproduto coletado geralmente consiste em partículas queimadas e grosseiras, não queimadas ou parcialmente queimadas (MOKHENA, *et al.*, 2017). A CBC tem potencial para ser utilizada como adição mineral, substituindo parte do cimento em argamassas e concretos (CORDEIRO *et al.*, 2009). Devido a concentração de sílica e outros óxidos, o resíduo de CBC pode ser utilizado como pozzolana. As pozzolanas tem capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento, formando compostos de poder aglomerante (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

Kazmi *et al.* (2016) em seu estudo afirmaram que a adição de cinzas da casca de arroz e do bagaço de cana-de-açúcar em tijolos de solo reduz o peso do material final e resulta na diminuição de cargas estruturais da edificação, contudo, seu estudo constatou-se que a resistência à compressão e o módulo de ruptura diminuiriam de acordo com a adição desses materiais. Faria *et al.* (2012) analisaram o uso de CBC como matéria-prima na fabricação de tijolos de argila, onde os resultados demonstraram que a CBC pode ser usada como enchimento em tijolos, resultando em uma construção mais sustentável e econômica. Valenciano e Freire (2004) avaliaram as características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e CBC. Diferentes combinações cimento-cinza foram analisadas e a resistência à compressão foi medida. Os resultados indicaram a possibilidade de substituir até 20% do cimento por CBC sem diminuir a resistência à compressão do material.

Tendo em vista uma alternativa para o gerenciamento do resíduo da CBC, o objetivo principal do trabalho é analisar as propriedades físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, oriunda da região do Vale de São Patrício, em Goiás, e através de suas características propor o seu uso na construção civil como material cimentício suplementar.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Foi utilizada cinza residual da queima do bagaço de cana-de-açúcar *in natura*, coletada no fundo da caldeira com partículas de tamanhos irregulares e coloração preta. As cinzas foram cedidas pela CRV - Industrial LTDA, Unidade Carmo do Rio Verde, Goiás.

2.2 Caracterização física

O teor de umidade da CBC *in natura* foi realizado segundo procedimento descrito no Documento 236 – Procedimentos para Análise Lignocelulósica da EMBRAPA (EMBRAPA, 2010), onde a amostra teve sua massa medida em um recipiente inerte, em seguida, o conjunto material-recipiente foi levado à estufa onde permaneceu secando durante 3 h a 105 °C, colocado em dessecador e em seguida novamente pesado até que a massa fosse constante.

As cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) foram secas em estufa durante 3 horas a 110 °C para remoção da umidade presente. Após a secagem, o resíduo foi moído manualmente a seco, em almofariz de porcelana.

O tamanho das partículas foi determinado em ensaio de granulometria, onde uma amostra seca de cinza foi passada em uma sequência de peneiras da série normal (600µm, 300 µm, 150 µm, 75 µm), e após agitação mecânica, a massa acumulada em cada peneira foi anotada de modo a traçar a curva granulométrica da cinza.

2.3 Análise Térmica

O Ensaio de Termogravimetria (TGA) foi realizado em um equipamento SDT Q600 (TA Instruments, EUA). Uma amostra com $10 \pm 0,5$ mg foi depositada em cadinho de alumina. A análise foi realizada sob uma taxa de aquecimento de 10 °C/min entre temperatura ambiente até 1000 °C sob uma atmosfera de nitrogênio com um fluxo de gás de 100 mL/min.

2.4 Caracterização química

A CBC foi caracterizada quimicamente segundo o Documento 236 – Procedimentos para Análise Lignocelulósica da EMBRAPA (EMBRAPA, 2010). Para a análise do teor percentual de cinzas o conjunto material-recipiente foi aquecido em forno mufla com rampa de aquecimento de 9,6 °C/min entre temperatura ambiente e 600 °C, onde permaneceu em isoterma durante três horas. Ao final desse tempo, a temperatura foi reduzida para 200 °C em uma hora. O conjunto cadinho-amostra foi removido, resfriado em dessecador por 30 minutos e em seguida massa de cinzas foi medida.

A análise do teor de extrativos presentes na CBC foi realizada com auxílio de um cartucho de amostra adicionado a um extrator de Soxhlet. Inicialmente, foi adicionado solvente a um balão de vidro, e conectado ao extrator. O conjunto balão-extrator foi colocado em uma (acetona) manta aquecedora e conectado ao condensador. A temperatura foi ajustada de modo que o número de refluxos ocorridos não fosse menor que 24 no período de 5 h de extração. Após o procedimento, o balão foi removido e o extrato transferido para um recipiente de

pesagem, previamente seco e com a massa determinada, e inserido em uma estufa durante 1 h a 105 °C. Em seguida, o material foi removido da estufa, transferido para dessecador até atingir temperatura ambiente, e então medida a massa final.

A composição química da CBC realizada com a técnica de fluorescência de raios X, foi estudada com base em estudos anteriores. As porcentagens em massa dos componentes foram listadas, levando em consideração que as amostras compartilham os principais componentes de sílica, alumínio e outros elementos metálicos.

2.5 Análise elementar (CHN) e Difração de Raios X (DRX)

A composição elementar da CBC foi determinada via combustão em analisador elementar (Perkin Elmer 2400 Series II). Na análise foram medidos os teores em porcentagem de carbono (C), hidrogênio (H) e nitrogênio (N) presentes na amostra de CBC.

A análise mineralógica foi realizada por meio da técnica de difração de raio X (difratômetro SHIMADZU - DRX-6000), usando radiação monocromática de Cu-K α , com uma varredura de 10° até 80° (2 θ) e velocidade do escaneamento de 2°/min.

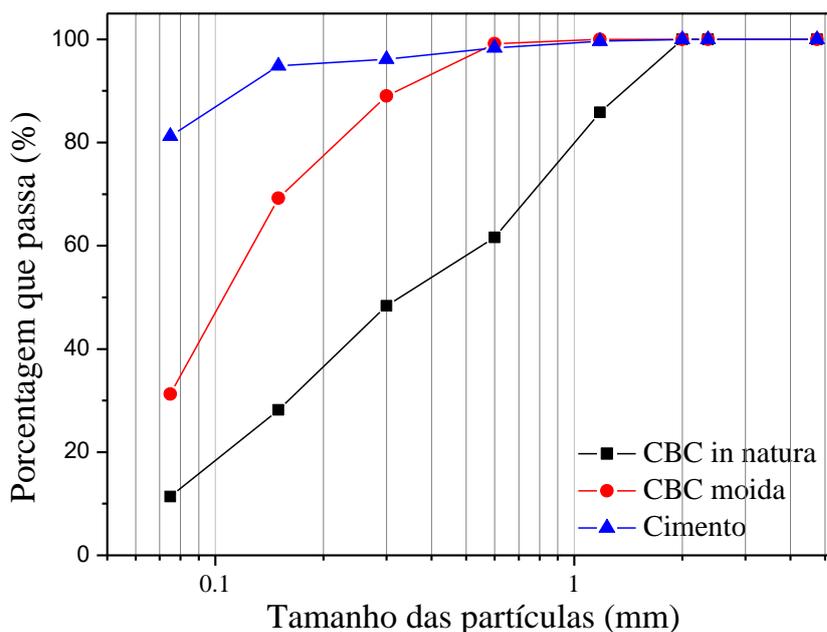
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização física

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar quando analisada *in natura* apresentou umidade de 50,2%, indicativo de que o resíduo, que é de origem de uma fibra natural, é um material hidrofílico, com muita afinidade a água. Dessa forma, o resíduo de bagaço de cana antes de sua incorporação deve ser devidamente seco para que não interfira na relação água-cimento, o que pode acarretar na diminuição da resistência mecânica (MOKHENA, *et al.*, 2017).

As curvas de distribuição do tamanho das partículas da CBC moída, *in natura* e do cimento, obtidas via peneiramento, são apresentadas na Figura 1. O tamanho médio de partícula das cinzas de bagaço *in natura* foi de 2,36 mm, e 0,600 mm após a moagem.

Figura 1 – Distribuição do tamanho das partículas da CBC *in natura*, CBC moída e cimento

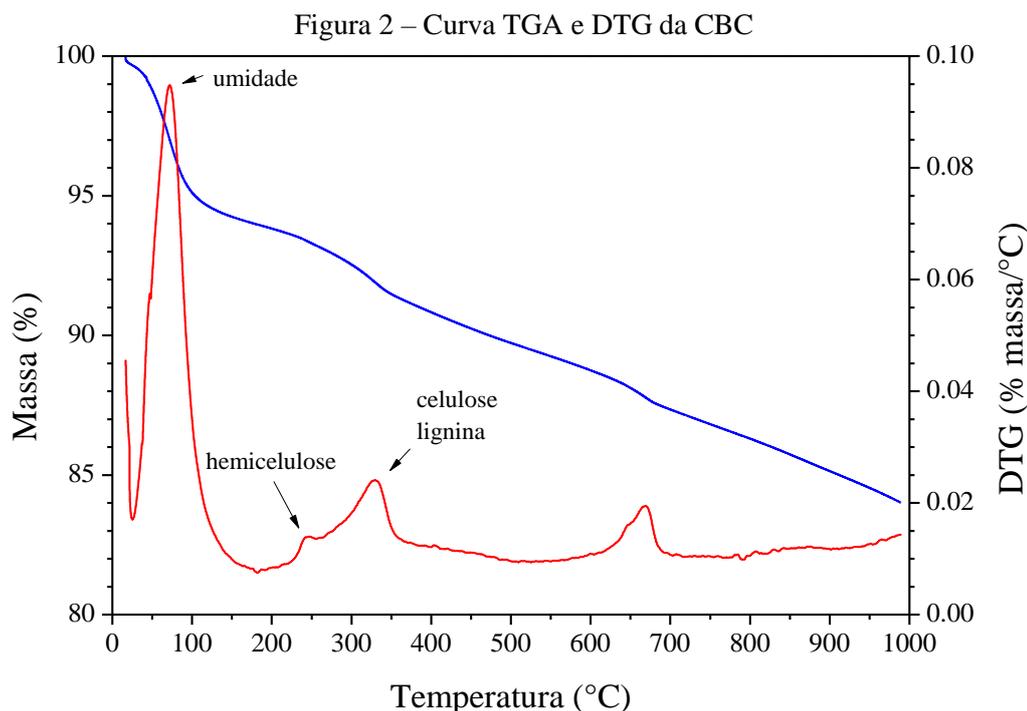


Fonte: Próprio autor (2019)

Os resultados apontaram que as amostras compõem diferentes faixas de tamanhos, onde o cimento apresenta as menores partículas registradas. A análise granulométrica do resíduo de CBC *in natura* mostra que o material apresenta um alto percentual de partículas grosseiras relacionadas as longas fibras de bagaço não queimado. Essas partículas porosas podem ser resultado da combustão de matéria orgânica durante a queima do bagaço (AMARAL, 2014). As partículas esponjosas absorvem a água usada para a reação do cimento, sendo necessário a moagem, já que a reação pozolânica pode ser altamente ativada quando o tamanho da partícula é pequeno (KIATTIKOMOL, *et al.*, 2001).

3.2 Análise térmica

Os resultados da análise termogravimétrica (TGA) estão apresentados na Figura 2. A análise de TGA é um processo no qual a massa de uma substância é analisada sob temperatura controlada em um ambiente controlado em função da temperatura ou do tempo, e é geralmente usada para avaliar tanto a estabilidade térmica quanto a porcentagem de cada composição das amostras (JAGADESH e RAMACHANDRAMURTHY, 2015). Ao final da análise, a perda de massa total foi de 15,9% durante o aquecimento da amostra, através de decomposição e vaporização do material. De acordo com a análise das curvas é possível notar três estágios de perda de massa. A primeira perda de massa, entre 37 e 180°C, cerca de 5,7%, está relacionada a umidade presente na CBC, comprovando a tendência hidrofílica do material (ALI, *et al.*, 2009).



Fonte: Próprio autor (2019)

A próxima reação exotérmica ocorre devido à combustão da matéria orgânica. A CBC é constituída de partículas queimadas e não queimadas de bagaço de cana-de-açúcar, sobrando vestígios de fibras na amostra (MOKHENA, *et al.*, 2017). A segunda etapa de perda de massa, com pico máximo de degradação em 248 °C, é atribuída a decomposição da hemicelulose, presente nas fibras não queimadas. A hemicelulose possui muitas ramificações (são amorfas), que são mais suscetíveis a ações da temperatura, iniciando sua degradação em temperaturas

menores (SOUSA, 2016). Em 329 °C a perda de massa pode estar associada à degradação conjunta da celulose e lignina. Pereira *et al.* (2015) também estudaram o TGA da CBC, notaram uma perda de massa traçada entre 350 - 550 °C, que é credenciada à matéria orgânica.

A reação exotérmica ocorrida entre 570 e 870 °C é devido à reorganização do arranjo estrutural quando ocorre a queima do mineral de quartzo, transformando o quartzo α para quartzo β , que confirma que o resíduo é constituído predominantemente de sílica (AMARAL, 2014; FREITAS, 2005). A sílica é um dos minerais mais puros encontrados na natureza, a forma mais comum da sílica é o quartzo, porém, outras formas polimórficas são encontradas na natureza, tais como tridimita e cristobalita (PUKASIEWICZ, 2001). A forma mais estável na temperatura ambiente é o quartzo α . O quartzo α transformasse em quartzo β a 573°C e permanece estável até 870°C (ERNST, 1971). Conforme a ASTM C618 (ASTM, 2019), a perda máxima de massa deve ser de 10% para material pozzolânico de Classe N, mas a partir da análise TGA, observou-se que a CBC estudada apresentou perda de massa superior a 10%, portanto, o processamento da calcinação se torna essencial para eliminar partículas parcialmente queimadas, bem como para aumentar a atividade pozzolânica (YADAV, *et al.*, 2019).

3.3 Caracterização Química

O bagaço de cana consiste em aproximadamente 50% de celulose, 25% de hemiceluloses e 25% de lignina (MAHESH, *et al.*, 2017). Antes da queima, o bagaço apresenta um teor de 2,3% de cinzas (MOKHENA, *et al.*, 2017). A amostra de CBC indicou uma quantidade de cinzas 47,1%, indicando a presença de minerais, assim como resíduos de subprodutos usados durante sua produção. O principal produto da queima do bagaço é a CBC. O bagaço, quando queimado, apresenta elevado índice de cinzas por conta da combustão dos principais componentes (celulose, hemicelulose e lignina). O índice mostra, juntamente com o teor de umidade do resíduo, que a combustão foi completa, verificando que o material final é formado praticamente por água e cinzas (97,1%). O teor de extrativos da CBC foi de 5,24%. Esse valor, em comparação com o bagaço de cana *in natura* mostra-se inferior, na medida que ocorre a queima os extrativos, que são componentes orgânicos intermediários da biomassa, são consumidos (BARBOSA, 2018).

A composição química da CBC, com base em estudos anteriores, é apresentada na Tabela 1. Observa-se a presença de óxidos supremos na CBC, como: dióxido de silício (SiO_2), óxido de ferro (Fe_2O_3), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de cálcio (CaO) e óxido de potássio (K_2O). Além desses óxidos supremos, também existem alguns óxidos menores, como trióxido de enxofre (SO_3), óxido de magnésio (MgO), óxido de sódio (Na_2O).

Tabela 1 – Composição química da CBC (em massa,%) de estudos anteriores

Composição Química	Faria <i>et al.</i> , 2012	Cordeiro <i>et al.</i> , 2009	Ríos-Parada <i>et al.</i> , 2017	Kazmi <i>et al.</i> , 2017	Moretti <i>et al.</i> , 2018	Akkarapongtrakul <i>et al.</i> , 2017
SiO_2	61,6	78,3	66,12	85,17	91,3	74,00
Al_2O_3	5,90	8,55	15,00	1,69	2,30	3,70
Fe_2O_3	7,40	3,61	7,16	2,73	3,00	1,80
CaO	5,00	2,15	2,57	2,59	0,40	1,70
MgO	1,20	1,65	1,19	0,69	0,20	0,70
SO_3	0,40	-	0,26	0,17	-	0,30
Na_2O	-	0,12	0,51	0,29	-	-
K_2O	6,20	3,46	3,52	0,36	0,5	4,40
Perda de ignição	9,80	0,42	9,00	3,55	1,30	11,20

Fonte: Próprio autor (2019)

A perda de ignição está relacionada à ineficiência térmica das caldeiras na usina de açúcar, o que produz CBC com partículas não queimadas e parcialmente queimadas (RASUL, *et al.*, 2000). Altos teores de carbono na CBC, criam problemas de descarte, além de o resíduo não poder ser denominado como material cimentício suplementar (BATRA, *et al.*, 2008). Conforme a ASTM C618 (ASTM, 2019), as cinzas de vários setores industriais ou agroindustriais são classificadas nas classes N, F e C com base na soma da porcentagem de óxidos pozzolânicos, principalmente SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃. Na classe C, pelo menos 50% de óxido pozzolânico deve estar presente, enquanto na classe F, a 70% de óxido pozzolânico deve estar presente. De acordo com a ASTM C618 (ASTM, 2019), a CBC seria classificada na classe N, pois satisfaz a porcentagem mínima de óxidos pozzolânicos, ou seja, 70% e, juntamente com isso, requer calcinação para induzir propriedades satisfatórias. As variações na composição química da CBC de diferentes fontes devem-se a mudanças nas condições de cultivo de um lugar para outro, até variações de espécies de culturas, temperatura de combustão e seu período de produção (YADAV, *et al.*, 2019).

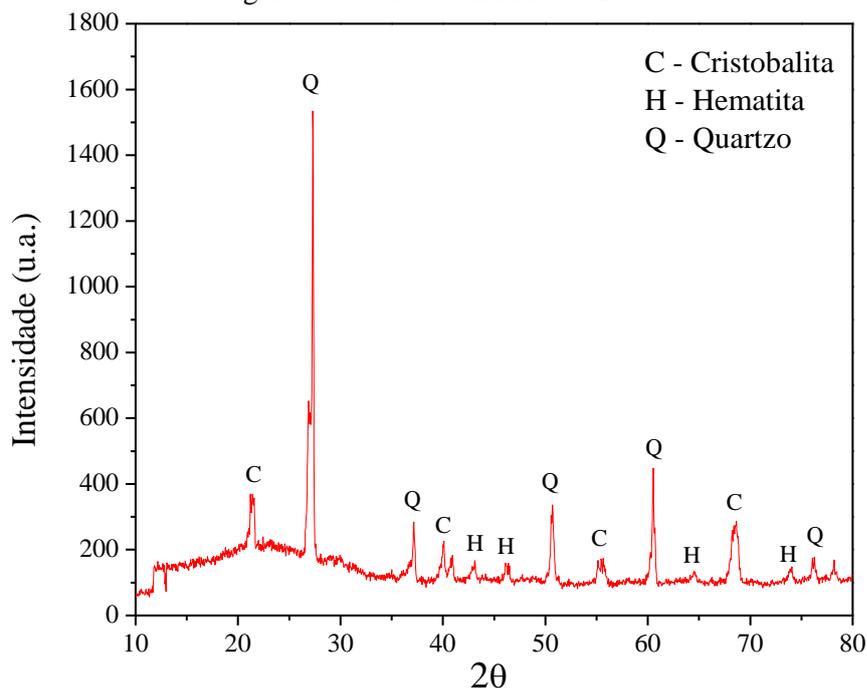
3.4 Análise elementar (CHN) e Difração de Raio X (DRX)

Segundo os resultados da análise elementar CHN, o teor de carbono presente na cinza foi de 5,48%, semelhante ao encontrado por Villar-Cociña *et al.* (2006) e Paula *et al.* (2008). Este percentual está relacionado às condições de combustão da biomassa, além de ser o responsável pela cor preta das cinzas, e é provavelmente resultado de condições de combustão descontroladas (KATARE e MADUWAR, 2017). Cook (1986) em seu estudo percebeu que não ocorreu diminuição na resistência à compressão na incorporação de cinza com teor de carbono menor ou igual a 20%, porém cinzas com teores elevados de carbono podem apresentar decréscimo nas propriedades mecânicas devido à queda na quantidade de sílica ativa.

A concentração de nitrogênio presente na amostra foi de 0,09%, semelhante aos encontrados por Arif *et al.* (2016). O processamento da biomassa, a concentração de carbono, a composição mineralógica, e tamanho das partículas, são algumas das principais características que influenciam na reatividade da cinza (CORDEIRO *et al.*, 2009).

A Figura 3 apresenta o difratograma de raios-X (DRX) da CBC. Chusilp *et al.*, (2009), Cordeiro *et al.*, (2018), Ríos-Parada *et al.*, (2017) descobriram que a maior parte do ângulo de difração da CBC está entre 15 ° e 35 ° (2θ), como encontrado na Figura 3. Através da análise dos picos foi possível identificar as seguintes fases cristalinas na amostra: quartzo, cristobalita e hematita (FARIA, *et al.*, 2012; KATARE e MADUWAR, 2017). A presença de quartzo e cristobalita indicam biomassa queimada a alta temperatura, o que está de acordo com os resultados obtidos por Arif *et al.* (2016). A grande porcentagem de quartzo na CBC deve-se à presença de areia, cerca de 2,0% em peso, aderida à cana-de-açúcar durante o processo de colheita (QING XU, *et al.*, 2018). A presença de quartzo na cinza pode reduzir a reatividade da pozolana.

Figura 3 – Padrão de DRX da CBC.



Fonte: Próprio autor (2019)

A cristobalita indica a fase cristalina da sílica. A cristalização ocorreu devido a elevada temperatura de combustão no processo de queima (KATARE e MADUWAR, 2017). Para melhorar as propriedades pozolânicas é necessário a transformação da sílica cristalina em sílica amorfa, que é mais reativa (FREITAS, 2005). Quando a CBC possui um teor de sílica cristalina relativamente alto na forma de quartzo, ela ainda pode ser usada em materiais de construção como substituto ou preenchedor de areia (SALES e LIMA, 2010). Devido à estrutura cristalina, diversos estudos indicam a utilização de CBC como substituto parcial do cimento Portland e de agregados miúdos (ARIF, *et al.*, 2016; MAHESH, *et al.*, 2017). Yadav, *et al.*, (2019) ressalta ainda que o solo (minerais de areia ou argila) com alta contaminação terá um impacto prejudicial nas características pozolânicas das cinzas, uma vez que não tem um impacto positivo no desempenho do concreto quando misturado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da CBC em materiais de construção se mostra uma alternativa promissora para o gerenciamento desse resíduo. A heterogeneidade das partículas da CBC influencia a reatividade pozolânica do resíduo, fazendo-se necessário sua moagem e peneiramento. O processo de secagem do resíduo é uma importante etapa, uma vez que a fibra em estado natural apresenta um alto teor de umidade, e possui tendência hidrofílica, podendo absorver umidade do ar. A análise térmica provou a necessidade do processamento da calcinação para eliminar partículas parcialmente queimadas, para um aumento da atividade pozolânica. A análise da CBC através da técnica de difração de raios-X comprovou a presença de quartzo e cristobalita na cinza, o que indica que a biomassa foi queimada a alta temperatura. A apresentação sílica na forma cristalina aponta a utilização aceitável da CBC como substituto parcial do cimento Portland e de agregados miúdos. Apesar de apresentar um baixo estado de reatividade, a CBC se provou como um subproduto viável para aplicação como material cimentício suplementar em componentes de construção, visto que, seu teor de sílica na forma de quartzo é um dos principais elementos componentes na areia natural.

REFERÊNCIAS

- ABRÃO, P. C. R. A. **O uso de pozolanas como materiais cimentícios suplementares: Disponibilidade, reatividade, demanda de água e indicadores ambientais.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.
- AKKARAPONGTRAKUL, A.; JULPHUNTHONG, P.; NOCHAIYA, T. Setting time and microstructure of Portland cement-bottom ash – sugarcane bagasse ash pastes. **Monatshefte für Chemie – Chemical Monthly**, v. 148, p. 1355–1362, 2017.
- AL-KHALAF, M. N.; YOUSIF, H. A. Use of rice husk ash in concrete. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**, v. 6(4), p. 241–248, 1984.
- ALI, K.; AMIN, N.; SHAH, M. T. Physicochemical study of bagasse and bagasse ash from the sugar industries of NWFP Pakistan and its recycling in cement manufacturing. **Journal of the Chemical Society of Pakistan**, v. 31(3), p. 375–378, 2009.
- AMARAL, M. C. **Avaliação da incorporação de resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar em tijolo solo-cimento.** Rio de Janeiro, 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2014.
- AMBEDKAR, B.; ALEX, J.; DHANALAKSHMI, J. Enhancement of mechanical properties and durability of the cement concrete by RHA as cement replacement: Experiments and modeling. **Construction and Building Materials**, v. 148, p. 167–175, 2017.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Specification for Blended Hydraulic Cements. ASTM C595/C595M-14.** West Conshohocken, PA, 2014
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete. C618-19.** Philadelphia, United States of America, 2019.
- ARIF, E.; CLARK, M. W.; LAKE, N. Sugar cane bagasse ash from a high efficiency co-generation boiler: Applications in cement and mortar production. **Construction and Building Materials**, v.128, p. 287-297, 2016.
- BARBOSA, P. S. **Procedimentos para caracterização química do bagaço de cana-de-açúcar: estudos para otimização e padronização.** Viçosa, MG, 2018.
- BAN, C.C.; RAMLI, M. The implementation of wood waste ash as a partial cement replacement material in the production of structural grade concrete and mortar: An overview. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 55, p. 669–685, 2011.
- BATRA, V. S.; URBONAITE, S.; SVENSSON, G. Characterization of unburned carbon in bagasse fly ash. **Fuel**, v. 87, p. 2972–2976, 2008.
- CORDEIRO, G.C.; KURTIS, K.E. Effect of mechanical processing on sugar cane bagasse ash pozzolanicity. **Cement and Concrete Research**, v. 97, p. 41–49, 2017.

- CORDEIRO, G.C.; TOLEDO FILHO, R.D.; FAIRBAIRN, E.M.R. Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash. **Construction and Building Materials**, v.23, p. 3301–3303, 2009.
- CORDEIRO, G. C.; BARROSO, T. R.; TOLEDO FILHO, R. D. Enhancement the Properties of Sugar Cane Bagasse Ash with High Carbon Content by a Controlled Re-calcination Process. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 22, p. 1250–1257, 2018.
- COOK, D. J. Rice husk ash. **Cement replacement materials**, v. 3 170 p. 1986.
- CHUSILP, N.; JATURAPITAKKUL, C.; KIATTIKOMOL, K. Utilization of bagasse ash as a pozzolanic material in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 23, p. 3352–3358, 2009.
- ERNST, W. G. **Minerais e rochas**. Editora Edgard Blucher LTDA. São Paulo, 1971, p. 162.
- FARIA, K. C. P.; GURGEL, R. F.; HOLANDA, J. N. F. Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks. **Journal Of Environmental Management**, v. 101, p. 7-12, 2012.
- FREITAS, E. S. **Caracterização de cinza de bagaço da Cana-de-açúcar do município de Campos dos Goytacazes para uso na construção civil**. Rio de Janeiro, 2005. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2005.
- GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. **Construction and Building Materials**, v. 29, p. 515-524, 2007.
- JAGADESH, P.; RAMACHANDRAMURTHY, A. Micro-analytical studies on sugar cane bagasse ash. **Indian Academy of Sciences**, v. 40, p. 1629–1638, 2015.
- JAMSAWANG, P.; POORAHONG, H.; YOOBANPOT, N.; SONGPIRIYAKIJ, S.; JONGPRADIST, P. Improvement of soft clay with cement and bagasse ash waste. **Construction and Building Materials**, v. 154, n. 12, p. 61-71, 2017.
- KATARE, V. D.; MADUWAR, M.V. Experimental characterization of sugarcane biomass ash - A review. **Construction and Building Materials**, v. 152, p. 1-15, 2017.
- KAZMI, S. M. S.; ABBAS, S.; SALEEM, M. A.; MUNIR, M. J.; KHITAB, A. Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. **Construction and Building Materials**, v. 120, p. 29–41, 2016.
- KIATTIKOMOL, K.; JATURAPITAKKUL, C.; SONGPIRIYAKIJ, S.; CHUTUBTIM, S. A study of ground coarse fly ashes with different finenesses from various sources as pozzolanic materials. **Cement and Concrete Composites**, v. 23(4-5), p. 335–343, 2001.
- MAHESH, B.; KUMAR, T. M.; NIKHIL, U.; YAKASWAMY, A. Usage of sugarcane bagasse ash in concrete. **International Journal of Engineering Research and General Science**, v. 5, p. 218-224, 2017.

MOKHENA, T. C.; MOCHANE, M. J.; MOTAUNG, T. E.; LINGANISO, L. Z.; THEKISOE, O. M.; SONGCA, S. P. Sugarcane Bagasse and Cellulose Polymer Composites. **Sugarcane - Technology and Research**, 2018.

MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M. **Procedimentos para análise lignocelulósica**. EMBRAPA - Documento 236, 2010.

MORETTI, J. P.; NUNES, S.; SALES, A. Self-compacting concrete incorporating sugarcane bagasse ash. **Construction and Building Materials**, v. 172, p. 635–649, 2018.

OLIVEIRA, M. P.; NÓBREGA, A. F.; DI CAMPOS, M. S.; BARBOSA, N. P. Estudo do caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento Portland. **Conferência Brasileira de Materiais e Tecnologias Não Convencionais: Habitações e Infra-Estrutura de Interesse Social**. Pirassununga, São Paulo, 2004.

PAULA, M. O.; DE, TINÔCO, I. DE F. F.; RODRIGUES, C. DE S.; SILVA, E. N. DA.; SOUZA, C. DE F. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13(3), p. 353–357, 2009.

PEREIRA, A.; AKASAKI, J. L.; MELGES, J. L. P.; TASHIMA, M. M.; SORIANO, L.; BORRACHERO, M. V.; MONZÓ, J.; PAYÁ, J. Mechanical and durability properties of alkali-activated mortar based on sugarcane bagasse ash and blast furnace slag. **Ceramics International**, v. 41, p. 13012–13024, 2015.

PUKASIEWICZ, A. **Tecnologia dos Processos de Fabricação IV – Materiais Cerâmicos**. Centro de Educação Tecnológica do Paraná. Paraná. 2001.

RASUL, M. G.; RUDOLPH, V. Fluidized bed combustion of Australian bagasse. **Fuel**, v. 79, p. 123–130, 2000.

RÍOS-PARADA, V.; JIMÉNEZ-QUERO, V. G.; VALDEZ-TAMEZ, P. L.; MONTES-GARCÍA, P. Characterization and use of an untreated Mexican sugarcane bagasse ash as supplementary material for the preparation of ternary concretes. **Construction and Building Materials**, v. 157, p. 83–95, 2017.

RODIER, L.; BILBA, K.; ONESIPPE, C.; ARSENE, M. A. Study of pozzolanic activity of bamboo stem ashes for use as partial replacement of cement. **Materials and Structures**, v. 50, p. 14, 2017.

SALES, A.; LIMA, S. A. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. **Waste Manage**, v. 30, p. 1114–1122, 2010.

SOUSA, V. M. Z. **Caracterização mecânica, térmica e morfológica de compósitos de Polihidroxibutirato (PHB) reforçados com fibras de curauá**. Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília, Publicação FGA.DM – 037A/2016. Faculdade UnB Gama. Programa de Pós-Graduação em Integridade de Materiais da Engenharia.

THOMAS, B. S.; KUMAR, S.; AREL, H.S. Sustainable concrete containing palm oil fuel ash as a supplementary cementitious material—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 550–561, 2017.

VALENCIANO, M. C. M.; FREIRE, W. J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 24(3), p. 484-492, 2004.

VILLAR-COCIÑA, E.; VALENCIA-MORALES, E.; SANCHES ROJAS M. I. An Evaluation of different kinetics models for determining the kinetic coefficients in sugar cane-straw – ash/lime system. **Advances in Cement Research**, v. 18, p. 17-26, 2006.

XU, Q.; JI, T.; GAO, S. J.; YANG, Z.; WU, N. Characteristics and Applications of Sugar Cane Bagasse Ash Waste in Cementitious Materials. **Materials**, v. 12(1), p. 39, 2019.

YADAV, A. L., SAIRAM, V., MURUGANANDAM, L., & SRINIVASAN, K. An Overview of the influences of mechanical and chemical processing on Sugarcane bagasse ash characterisation as a Supplementary Cementitious Material. **Journal of Cleaner Production**, v. 118854, 2019.