

ANÁLISE REOLÓGICA DE MISTURAS CIMENTÍCIAS UTILIZANDO RESÍDUOS DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR E LODO DE ETA

CORDEIRO, Alana Caroline Lima¹;
GERMANO, Rebeca Lísia Bento²;
LIMA, Nívea Karoline da Silva³;
FONTES, Rayssa Passos Damasceno⁴;
MORAES, Karoline Alves de Melo⁵.

¹ Graduanda, UFAL, Maceió-AL (alana.cordeiro@ctec.ufal.br).

² Graduanda, UFAL, Maceió-AL (rebeca.germano@ctec.ufal.br).

³ Graduanda, UFAL, Maceió-AL (nivea.lima@ctec.ufal.br).

⁴ Graduanda, UFAL, Maceió-AL (rayssa.fontes@ctec.ufal.br).

⁵ Doutora, UFAL, Maceió-AL (kamm@ctec.ufal.br).

Resumo. A indústria cimenteira atualmente é responsável por uma das maiores taxas de emissão de gás carbônico (CO₂) no mundo. Uma vez que é notória a importância do cimento na construção civil, já que este está presente na composição de uma gama de sistemas construtivos. Aliado a isto, a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) e o lodo de Estações de Tratamento de Água (ETA) são resíduos encontrados em abundância no Brasil e, em muitos casos, não apresentam destinação viável. Neste sentido, este trabalho teve como intuito estudar a reologia de misturas cimentícias com adição de resíduos de CBCA e lodo de ETA, de forma a objetivar a análise da tensão de escoamento e da viscosidade das misturas com esses materiais. A metodologia utilizada se sucedeu pela coleta e beneficiamento dos resíduos, caracterização das misturas cimentícias e análise reológica. Assim, com os resultados obtidos pôde-se concluir que a porcentagem de 5% e 10% de adição nas pastas para a análise da tensão de escoamento obtiveram o melhor resultado entre as demais. Enquanto para a viscosidade o melhor valor se caracterizou pela adição de 10% de resíduo.

Palavras-chave: Reologia, Misturas Cimentícias, Cinza do bagaço de cana-de-açúcar, Lodo de estação de tratamento de esgoto, Materiais de construção.

1 INTRODUÇÃO

O cimento é um dos materiais de construção civil mais utilizados. Componente indispensável e poucas vezes substituído, presente em todo tipo de construção, desde simples moradias até em grandes obras (CHAVES *et al*, 2014). O cimento é um material de construção base para uma gama de sistemas construtivos de grande importância para o setor da construção civil. Um destes produtos é a argamassa, onde para a sua produção se faz necessária a utilização de uma pasta, cimento e água, e pelo esqueleto granular, constituído pela areia.

A produção de cimento apresenta impacto elevado em termos de emissões de gases de efeito estufa (GEE), com destaque para o dióxido de carbono, que corresponde a quase o total dos GEE emitidos (CARVALHO *et al*, 2016). Aliado a isto, a Global Cement and Concrete Association (2021, p. 14) definiu metas para reduzir em mais de 25% a emissão do CO₂ na produção de cimento até o ano de 2030. Neste sentido, as substituições parciais ou adições no cimento por resíduos industriais têm sido de grande importância para o cenário da indústria cimentícia brasileira. Uma vez que no Brasil, de acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI) (2021), o índice de emissão de CO₂ é menor que a metade do índice mundial, que representa cerca de 7% de todo o CO₂ emitido no planeta.

Neste contexto, com o Brasil sendo o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, responsável pela produção de 654,5 milhões de toneladas do produto (NACHILUK, 2021). Onde é estimado que para cada tonelada de cana-de-açúcar processada, são produzidos aproximadamente seis quilos de cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) (SALES *et al*, 2010). Ainda com o crescimento da necessidade de água potável há o acréscimo no percentual de resíduos nas Estações de Tratamento de Água (ETA) (CUNHA, 2019). Além disso, o Brasil produz 4 milhões de toneladas por ano de lodo de ETA (SILVA, 2011). Estes são exemplos de resíduos que podem ser incorporados como adições minerais à misturas cimentícias. Para tal, é importante a avaliação das propriedades dessas misturas, principalmente no que se diz respeito a sua trabalhabilidade, sendo esta relacionada a fluidez da mistura.

Por conseguinte, demonstra-se importante a análise das misturas sob o âmbito da reologia, que é o ramo da ciência que estuda o fluxo e a deformação da matéria, avaliando a relação entre a tensão de cisalhamento e a deformação ao longo do tempo (FILHO *et al.*, 2020). As argamassas, que são materiais viscoelásticos, são classificadas como fluidos não-Newtonianos. Assim, a sua relação entre a tensão e a taxa de cisalhamento não é constante. O modelo de Bingham é um dos métodos utilizados para o estudo da reologia das pastas e argamassas, onde são relacionadas a tensão de escoamento inicial e a viscosidade do fluido, sucedido de um ajuste linear. O presente trabalho fez a análise reológica de misturas cimentícias com adição de resíduos da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) e de lodo de ETA.

2 METODOLOGIA

O estudo seguiu as seguintes etapas: a revisão bibliográfica, a coleta e beneficiamento dos resíduos, caracterização dos materiais, definição dos traços das pastas e argamassas, produção das misturas, realização do ensaio reológico (viscosímetro Brookfield) e a análise dos resultados. As etapas mencionadas foram seguidas tanto para o resíduo do lodo de ETA (RLE) quanto para a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA).

2.1 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica se deu por um estudo detalhado de artigos científicos e monografias sobre o uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar e do lodo de ETA em misturas cimentícias, adições pozolânicas e filares.

2.2 Coleta e beneficiamento dos resíduos

O resíduo do lodo utilizado no estudo foi coletado da Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada na cidade de Maceió – AL, no bairro Benedito Bentes. A cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) foi obtida em uma usina localizada em Campo Alegre - AL. Ambos foram transportados até o Laboratório de Estruturas e Materiais (LEMA), na Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

O beneficiamento dos resíduos seguiu os procedimentos estabelecidos por Pacífico (2020) e listados abaixo:

- Secagem: em estufa por um período de 24 horas a uma temperatura de 100 ± 5 °C;
- Moagem: realizada no moinho de bolas planetário, modelo PM 100 CM, da marca Retsch®, que contém um recipiente de moagem com 250 mL de volume interno e 12 bolas de 2 cm de diâmetro. O ensaio foi realizado no Laboratório de Síntese de Catalisadores (Lscat), e o tempo de moagem seguiu o indicado por Silva (2020), de 30 minutos a uma velocidade de 360 rpm;
- Peneiramento: após a moagem, prosseguiu-se com o peneiramento do resíduo na peneira de abertura de 600 μ m.

2.3 Caracterização dos materiais

Foram realizados os ensaios de granulometria segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009) e de determinação da massa específica, segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2009) para o agregado miúdo, e a determinação da massa específica dos resíduos, por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier, de acordo com a norma NBR 16605 (ABNT, 2017), sendo utilizado a querosene como líquido inerte

2.4 Definição dos traços das argamassas

Foram determinados os traços das misturas cimentícias considerando, em adição à massa de cimento, as porcentagens de 5%, 10%, 15% e 20% de RLE ou CBCA. A relação água/cimento de 0,5 foi mantida em todos os traços, como pode ser observado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Traços das pastas com adição dos resíduos de RLE e CBCA. Fonte: Autores (2022).

Pasta	% de resíduo	Traço
RLE1/CBCA1	5	1:0,05:0,5
RLE2/CBCA2	10	1:0,11:0,5
RLE3/CBCA3	15	1:0,18:0,5
RLE4/CBCA4	20	1:0,25:0,5

Tabela 2. Traços das argamassas com adição dos resíduos de RLE e CBCA. Fonte: Autores (2022).

Argamassa	% de resíduo	Traço
RLE1/CBCA1	5	1:0,05:2:0,5
RLE2/CBCA2	10	1:0,11:2:0,5
RLE3/CBCA3	15	1:0,18:2:0,5
RLE4/CBCA4	20	1:0,25:2:0,5

2.5 Produção das misturas

Para a produção das pastas e argamassas utilizou-se dos seguintes materiais: Cimento CII F 32; como adição mineral, o resíduo do lodo de ETA e a cinza do bagaço de cana-de-açúcar, areia de rio como agregado miúdo e água. As massas foram calculadas para produção das argamassas e medidas em uma balança digital de precisão de 0,1g. As misturas foram realizadas em uma argamassadeira de duas velocidades: 125 ± 10 rpm (alta) e 65 ± 5 rpm (baixa). A produção das pastas seguiu-se o procedimento descrito por Mendes (2013) e as argamassas pela NBR 7215:2019.

2.6 Realização dos ensaios

Após as produções, foi realizado o ensaio para determinação das propriedades reológicas. Para a análise dos parâmetros reológicos foi utilizado o viscosímetro Brookfield, modelo DV-III Ultra. Para as pastas, utilizou-se cerca de 20 ml da mistura e para as argamassas, foi ensaiado 500 ml.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados obtidos foram ajustadas linhas de tendência lineares para relacionar os valores não constantes da viscosidade das pastas e das argamassas, como pode ser exposto na Tabela 3.

Tabela 3. Valor da viscosidade das pastas e argamassas com adição dos resíduos de RLE e CBCA e padrão. Fonte: Autores (2022).

Resíduo	Viscosidade	
	Pasta	Argamassa
RLE1	0,5708	0,1932
RLE2	0,2925	0,2102
RLE3	0,8822	0,2497
RLE4	0,0692	-
CBCA1	0,6099	0,156
CBCA2	0,1702	0,214

CBCA3	0,472	0,1871
CBCA4	0,419	-
PADRÃO	0,5936	0,1394

Ao analisar os valores obtidos, foi possível notar que a pasta RLE3 e CBCA1 obtiveram os maiores valores de viscosidade entre as pastas. Além disso, a argamassa RLE3 obteve o maior valor de viscosidade entre todas as argamassas. Este fato pode ser correlacionado com o alto valor viscosidade da pasta RLE3.

Ao analisar a tensão de escoamento, pôde ser observado que a pasta RLE2 teve o maior valor entre as pastas de lodo. Do mesmo modo, a pasta CBCA2 teve a maior tensão de escoamento entre as pastas de CBCA. O maior valor da tensão de escoamento foi obtido com a adição de 5% nas argamassas de CBCA e lodo, como está demonstrado na Tabela 4. Além do mais, como está exposto nas Tabelas 3 e 4, a viscosidade e tensão de escoamento das argamassas RLE4 e CBCA4 não puderam ser obtidas pelo viscosímetro, uma vez que seu valor resultou muito elevado e devido a isso, não pôde ser lido pelo equipamento.

Tabela 4. Valor da tensão de escoamento das pastas e argamassas com adição dos resíduos de RLE e CBCA e padrão. Fonte: Autores (2022).

Resíduo	Tensão de escoamento (MPa)	
	Pasta	Argamassa
RLE1	13,256	526,035
RLE2	64,766	479,971
RLE3	32,641	395,334
RLE4	19,301	-
CBCA1	10,267	661,79
CBCA2	68,396	270,467
CBCA3	15,227	560,609
CBCA4	-	-
PADRÃO	14,308	745,696

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As adições em pastas e argamassas de cimento, são utilizadas com o objetivo de melhorar a microestrutura através das reações que podem causar na mistura. Tais reações surtem efeitos

na consistência e resistência, cabe aos estudos, a partir de ensaios, levando em consideração o seu emprego, se a influência destes materiais são positivas para o que se é proposto. Desta forma, consoante com os resultados obtidos, pôde ser explicitado que o melhor resultado para a tensão de escoamento das pastas com adição de CBCA e de lodo foi com a adição de 10%. Assim, também pôde-se afirmar que o melhor valor da tensão de escoamento das argamassas foi com a adição de 5% dos resíduos. Destacando-se as misturas com 10% de lodo, obtiveram resultado de viscosidade.

REFERÊNCIAS

Chaves, P. *et al.*, 2014. Análise de indústrias cimenteiras e seus impactos socioambientais. **VII Semana de Ciência e Tecnologia do IFMG campus Bambuí VII Jornada Científica**, pp 01.

Carvalho, P. Mesquita, P. Melo, L., 2016. **Cimento: PANORAMAS SETORIAIS**.

Souza, C. *et al.*, 2018. Cogeneration of electricity in sugar-alcohol plant: Perspectives and viability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 91, n. 1, pp 832-837.

Cunha, B., 2019. **Resíduo do lodo da estação de tratamento de água da Região Metropolitana de Belém em substituição parcial ao cimento Portland em argamassa**. Tese de mestrado, Universidade Federal do Pará.

Silva, M., 2012. **Desenvolvimento de tijolos com incorporação de cinzas de carvão e lodo provenientes de estação de tratamento de água**. Tese de mestrado, Universidade de São Paulo.

Filho, J., 2020. Estudo da reologia de pastas cimentícias contendo resíduo de tijolo cerâmico moído e metacaulim. **Revista Matéria**, vol. 25, n. 01.

GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION. **The GCCA 2050: Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete**. Disponível em: <<https://gccassociation.org/concretefuture/wp-content/uploads/2021/10/GCCA-Concrete-Future-Roadmap-Document-AW.pdf>> Acesso em: 15 de set. 2022.

Rodrigues, M. Palma, N. Indústria brasileira faz sua parte na redução de emissões. **Portal da indústria**, 2021. Disponível em: <<https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/sustentabilidade/industria-brasileira-faz-a-sua-parte-na-reducao-de-emissoes/>> Acesso em: 18 de set. 2022.

NACHILUK, K. Alta na Produção e Exportações de Açúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 16, n. 6, jun. 2021, p. 1-5.