

ESTUDO DE CASO: INVESTIGAÇÃO DAS CAUSAS DE FORMAÇÃO DE AGLOMERADOS DE AREIA EM CALDEIRA DE LEITO FLUIDIZADO BORBULHANTE

Autores: Rafael Zaghete Bertochi ¹, Eduardo Bajo Souza ², Paulo Cesar Martins²

¹ Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento, Lwarcel Celulose Ltda, Brasil

² Departamento de Recuperação e Utilidades, Lwarcel Celulose Ltda, Brasil

RESUMO

Em 2009 a Lwarcel iniciou a operação de uma Caldeira de Leito Fluidizado (CLF) borbulhante de areia para queima de biomassa, complementando o suprimento de vapor e energia para a fábrica, além de suprir outras unidades do Grupo Lwart e possibilitar a venda de energia. Para diminuição dos resíduos gerados e economia de insumo, foi instalado em 2013 um sistema para o reaproveitamento de parte da areia que era eliminada juntamente com as cinzas. Nesse novo cenário a formação de aglomerados de areia dentro do leito da caldeira passou a ser algo mais frequente, dificultando uma operação estável do equipamento. Para identificar as causas desses aglomerados, foram estudadas as diferenças de qualidade entre a areia de dois fornecedores, a composição química dos aglomerados formados (mais e menos densos) e a composição dos combustíveis consumidos, bem como realizado acompanhamento diário da areia do leito fluidizado borbulhante na tentativa de estabelecer método laboratorial de controle do grau de contaminação do leito. Ao final do estudo foram identificadas importantes diferenças físicas e químicas entre as areias fornecidas, entendido o mecanismo de formação dos aglomerados e sua posterior densificação por meio da sinterização e identificada a principal fonte dos componentes inorgânicos diminuidores do ponto de fusão. Como resultado do estudo, alterações foram implementadas, permitindo mais estabilidade da caldeira.

Palavras-chave: caldeira, areia, aglomerado e leito fluidizado.

INTRODUÇÃO

A Caldeira de Leito Fluidizado (CLF) borbulhante da Lwarcel foi projetada e construída para dar autonomia de energia e vapor ao Grupo Lwart, constituído das empresas Lwarcel Celulose e Lwart Lubrificantes.

Após os primeiros anos de boa operação da caldeira (início em 2009), observou-se a oportunidade de diminuição da quantidade de resíduos gerados, com valores monitorados por indicador do Sistema de Gestão Ambiental da empresa. Em 2013 iniciou-se a

operação de um sistema de classificação do descarte da fornalha. A eliminação se dava tanto na parte de baixo (cinzas e partículas finas) quanto na de cima (partículas maiores e com início de aglomeração e sinterização⁽¹⁾), restando no centro a fração de areia que retorna para o leito da caldeira.

O sistema reduziu em até 40% a massa de resíduos gerados anualmente, porém passou a concentrar mais rapidamente os inorgânicos presentes na biomassa, o principal combustível da caldeira, diferentemente do projetado em 2009. Isso começou a gerar diferentes tipos de aglomerados de areia na fornalha, ocasionando paradas e perda de produtividade, o que levantou questionamentos sobre qual seria a nova condição operacional do equipamento.

Em meados de 2015 deu-se início ao estudo das causas da formação e das medidas de melhor relação custo/benefício a serem aplicadas para eliminar ou diminuir a formação de tais aglomerados e proporcionar maior produtividade da caldeira.

MÉTODOS

Materiais

As amostras de dois fornecedores (aqui denominados Fornecedores A e B) foram coletadas na própria Lwarcel, fazendo-se uma composição de 12 *big bags* de areia de cada fornecedor.

Os aglomerados de areia foram coletados em momentos de parada operacional da caldeira ou na eliminação de cinzas após o descarte manual de aglomerados.

Caracterização química – areia e aglomerados

As análises para determinação dos componentes inorgânicos das amostras de areia foram realizadas por duas metodologias: ensaios de espectrometria de fluorescência de raios X no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP). Foram preparadas pastilhas prensadas dos

materiais e determinada a concentração pelo equipamento sequencial S8 Tiger – Bruker segundo o método interno STD-1. O método ainda contempla análise de perda ao fogo do material a 1.020 °C.

Foi também realizada análise elementar inorgânica pelo espectrômetro de absorção atômica Varian AA240 localizado no laboratório de Pesquisa & Desenvolvimento da Lwarcel. As análises se deram através de digestão ácida (mistura nítrico-clorídrico), posterior filtração dos insolúveis e leitura da solução, com base no método interno PQ176/31.

Classificação granulométrica

Foi realizada a classificação granulométrica das amostras de areia estudadas através de peneira vibratória para classificação granulométrica A Bronzinox, modelo ABME 0800, de acordo com o procedimento interno PQ185/31, já aplicado para avaliação de qualidade do insumo recebido.

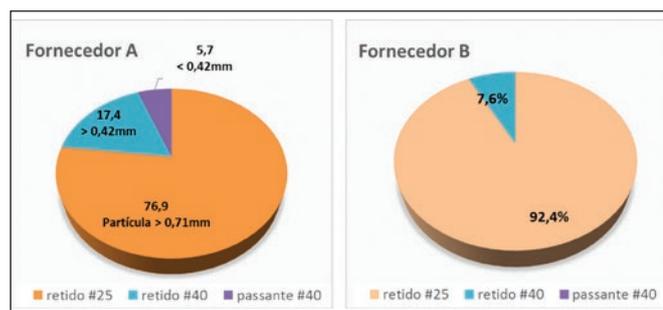


Figura 1 – Distribuição granulométrica das areias dos Fornecedores A e B

Lavagem da areia

As amostras de areia dos Fornecedores A e B foram lavadas para avaliar a quantidade de material argiloso – no trabalho chamado “pó” – presente em cada partícula.

A lavagem foi realizada com água ultrapura obtida no próprio laboratório da Lwarcel. A mistura de água e areia foi aquecida em chapa aquecedora até aproximadamente 80 °C para maximizar a extração de materiais argilosos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação do insumo

Foi realizada a separação granulométrica das areias do Fornecedor A (Areia A) e do Fornecedor B (Areia B) para avaliação da distribuição do tamanho de partícula de ambas.

Os resultados mostram que a Areia B tem perto de 16 pp a mais de material retido na malha 25 *mesh* (tamanho de partícula maior que 710 μm) e não apresenta valor considerável passando na malha de 40 *mesh* (partículas menores que 425 μm), enquanto a Areia A possui 5,7% desse material fino. Para as partículas entre 710 e 425 μm , a Areia A tem 17,4% do total, 10 pp a mais que a Areia B (Figura 1).

Após separadas as frações, cada uma foi lavada com água ultrapura para avaliação da quantidade de “pó” presente.

As Figuras 2 e 3 mostram como a Areia B é mais limpa visualmente em comparação à Areia A.

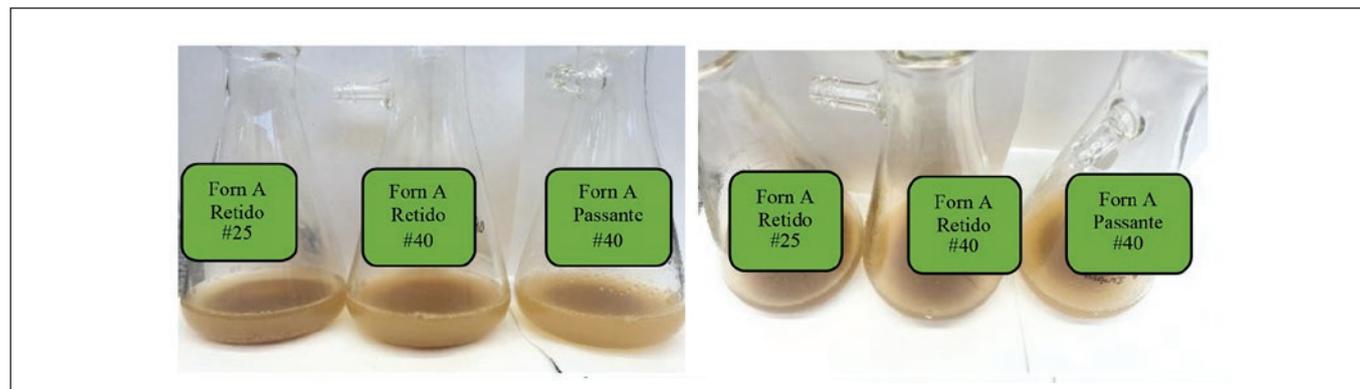


Figura 2 – Lavagem da Areia A, ainda com água fria

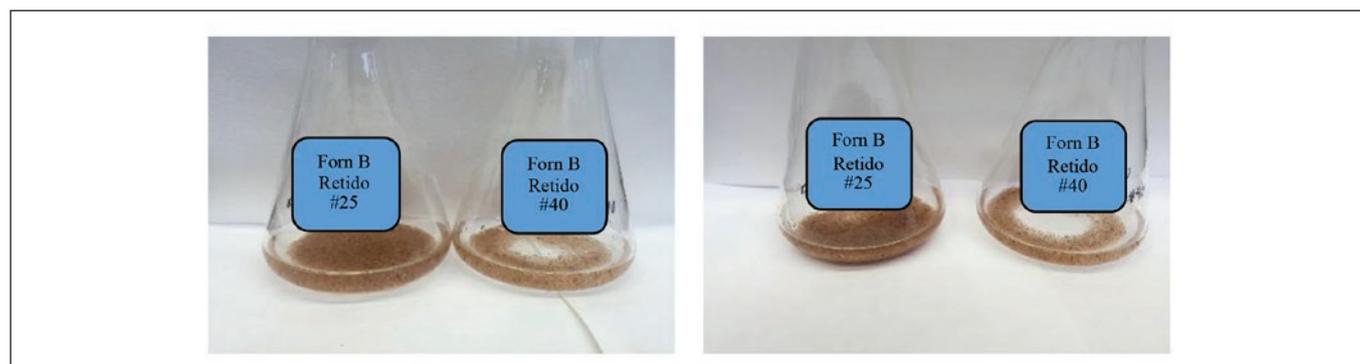


Figura 3 – Lavagem da Areia B, ainda com água fria

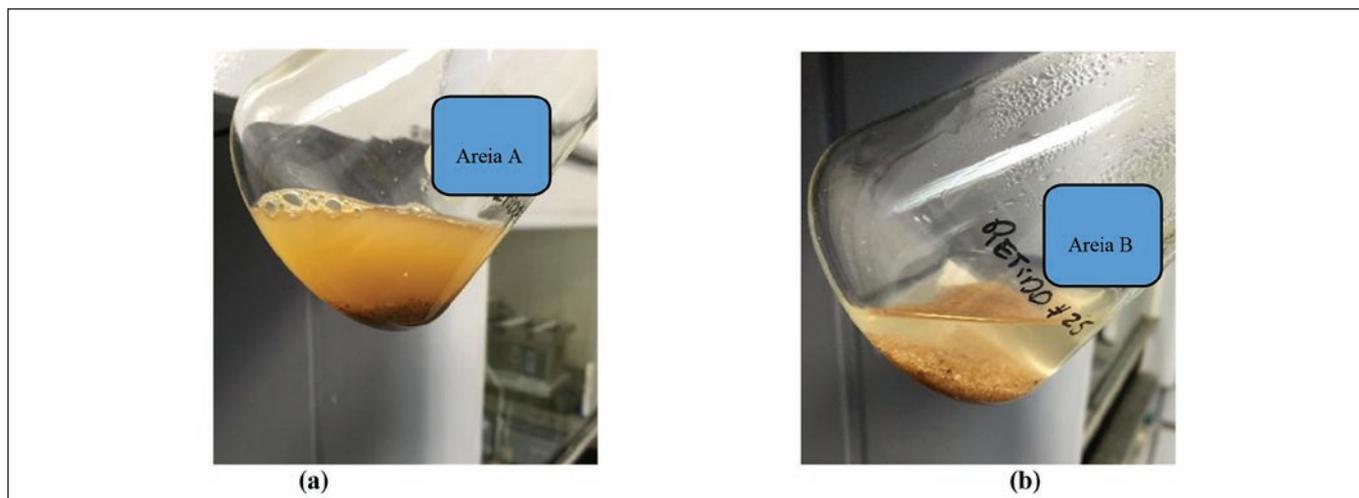


Figura 4 – Fração retida em #25 das areias A e B durante lavagem com água quente

Na Figura 4, a comparação visual durante a lavagem com água quente entre a Areia A (a) e a Areia B (b), ambas da fração retida na malha 25 *mesh* (#25), mostra claramente que a B tem bem menos material fino/pó (ver gráfico da Figura 5 com os valores em porcentagem).

A Figura 5 apresenta os gráficos com as porcentagens, em massa, de “pó” extraído na lavagem da areia de ambos os fornecedores. O pó extraído está separado por sua fração de areia de origem.

Nota-se que a quantidade de pó extraído na lavagem é menor

para a Areia B. Pode-se destacar que a fração mais fina de areia – a passante em 40 *mesh* (<0,42 mm) – é a que teve 2,1% de pó extraído em lavagem no caso da Areia A, enquanto na B essa granulometria é inexistente no insumo recebido.

Após secos, os materiais – pó e areia – foram digeridos em solução ácida. Em seguida, foi feita a leitura dos elementos inorgânicos presentes em absorção atômica. A Figura 6 mostra um gráfico com a composição mineral das frações.

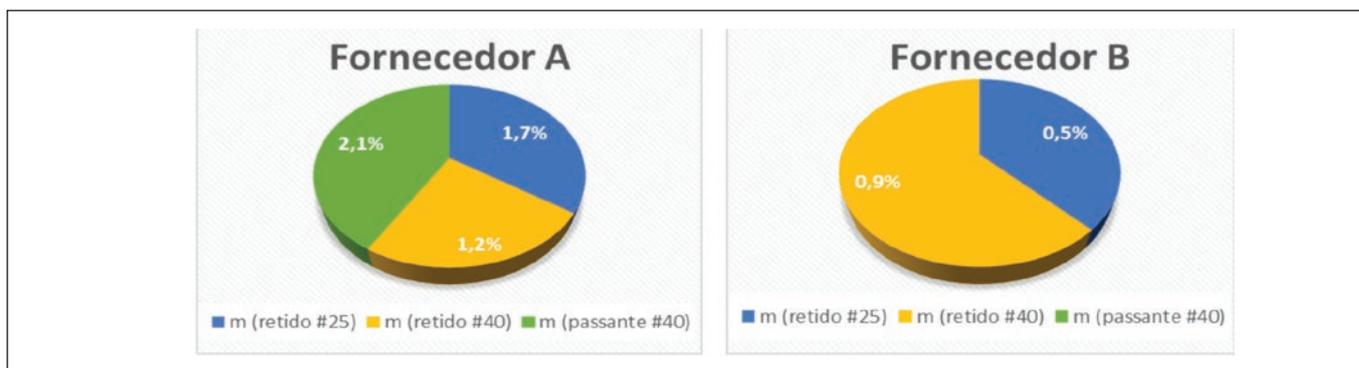


Figura 5 – Diferentes percentuais de pó extraído na lavagem de cada fração de areia

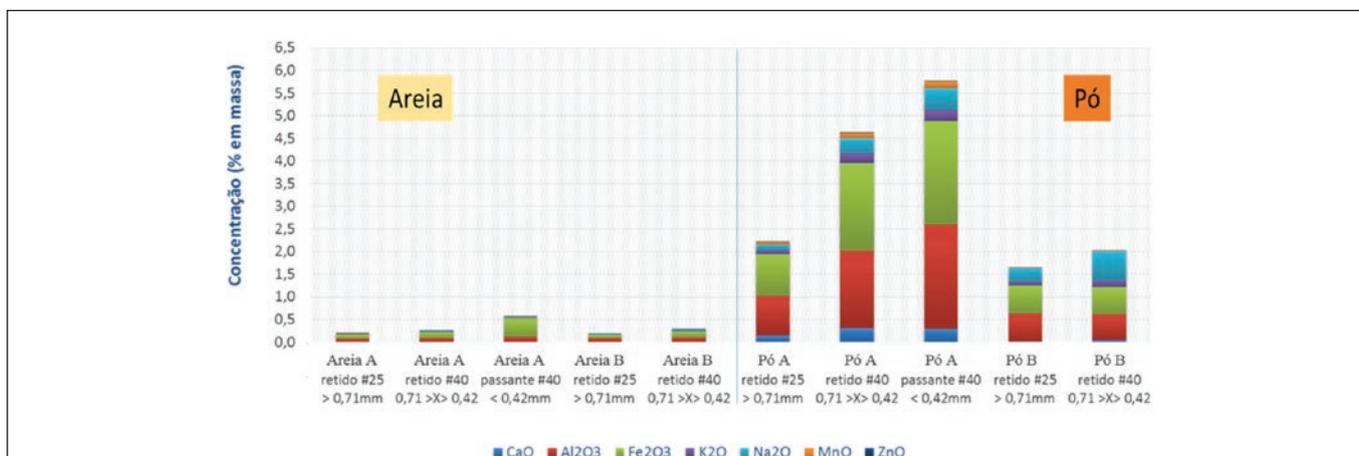


Figura 6 – Porcentagens de concentração em massa dos minerais extraídos de cada fração das areias A e B

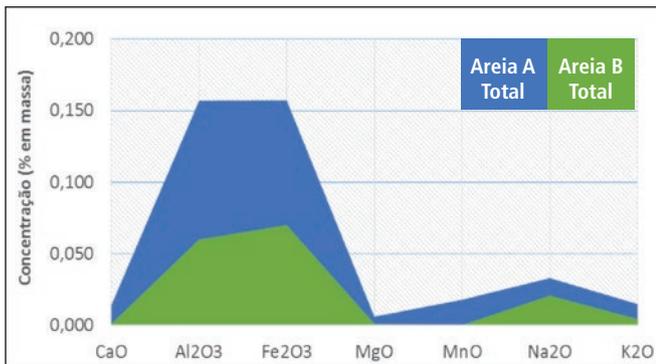


Figura 7 – Composição geral das areias A e B, descontando-se o óxido de silício

Fica claro, ao observar o gráfico da Figura 6, que tanto o pó das frações da areia A quanto o da areia B têm maior porcentagem em massa de outros elementos que não o óxido de silício – SiO₂ (areia). Assim, pode-se dizer que, como a fração mais fina de areia (passante # 40) é a que tem mais pó e maior concentração de outros minerais, quanto mais finos houver na areia, mais elementos que não SiO₂ estarão presentes.

A Figura 7 mostra as porcentagens dos minerais contemplando todas as frações. Interessante observar que em ambas as areias predominam certos elementos (excluindo o Si), como alumínio, ferro e sódio, porém em maior quantidade na areia A. A presença dos elementos sódio e alumínio no insumo colabora para queda do ponto de fusão do óxido de silício^[2].

Avaliação dos aglomerados e areia do leito

Avaliando-se os aglomerados comparativamente à areia em fluidização dentro do leito da caldeira através do método de fluorescência de raios X, observa-se o apresentado na Figura 8.

O gráfico mostra que a concentração de alguns elementos mostrados está maior nos aglomerados do que na areia do leito. Isso indica a possibilidade de relacionar a formação de aglomerados ao aumento da concentração de inorgânicos no leito^[3]. Nota-se que o de potássio (K₂O) é o que tem a concentração mais aumentada, seguido pelo de sódio (Na₂O), cálcio (CaO) e alumínio (Al₂O₃).

Os gráficos da Figura 9 proporcionam uma visão da composição geral das amostras analisadas via fluorescência de raios X, e vê-se que apenas 2,4 pp de acréscimo de massa de outros inorgânicos já é suficiente para contribuir para a formação de aglomerados.

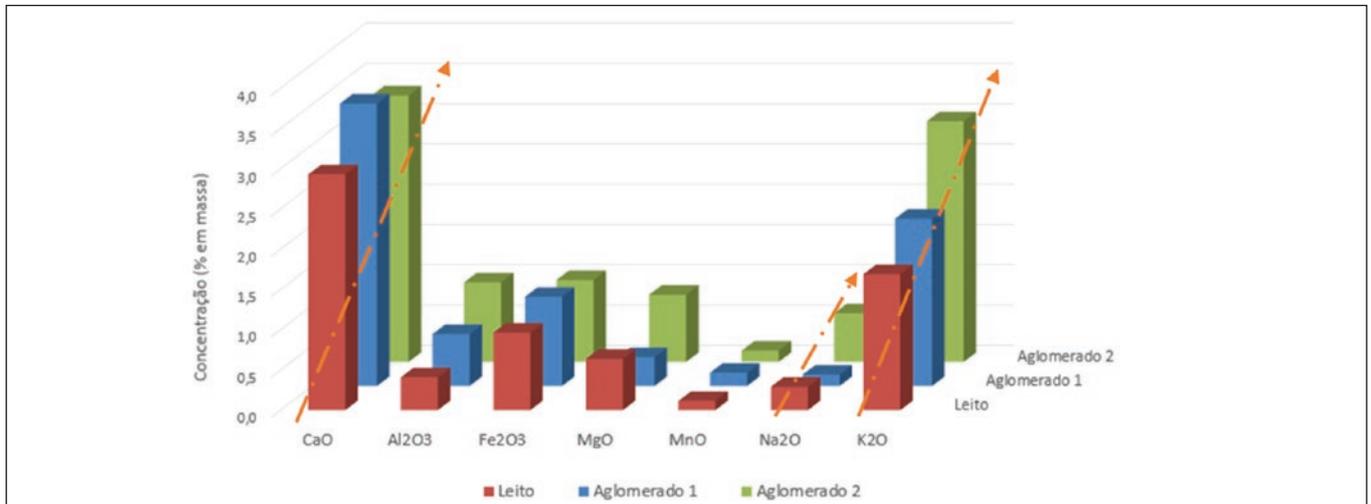


Figura 8 – Composição mineral majoritária da areia do leito e de diferentes aglomerados (pedras) coletados no interior da caldeira

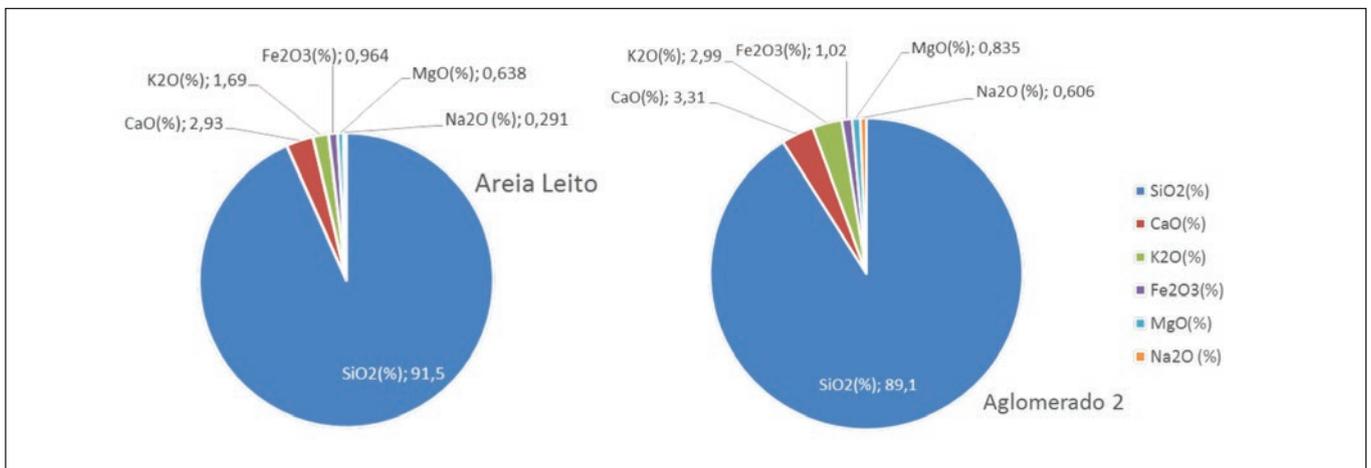


Figura 9 – Composições gerais das amostras de areia de leito e aglomerado branco

Além do insumo areia fornecido pelos Fornecedores A e B estudados, existe outra fonte de entrada dos elementos inorgânicos: o combustível.

Avaliação do combustível

Nos primeiros anos da operação da caldeira de leito, consumia-se predominantemente biomassa de mercado, com umidade de até 50%. A partir de 2014, tornou-se estrategicamente vantajoso o consumo de quase 90% de cavacos de eucalipto próprio como combustível, o que acabou afetando as condições operacionais de queima, que passaram a atingir temperaturas mais altas, aumentando a probabilidade de formação de aglomerados.

Vale observar no gráfico da Figura 10 que uma constituição química típica dos eucaliptos produzidos pela Lwarcel contém valores próximos de 0,12% m/m de K_2O , 0,08% m/m de CaO e 0,03% m/m de Na_2O , que ficam dentro das faixas típicas observadas na literatura^[4]. Também esses elementos apareceram em quantidades elevadas nos aglomerados de areia.

Com a caldeira de leito operando em condições de dificuldade no

controle da temperatura do leito devido à baixa umidade da biomassa, a presença em maior concentração dos elementos detectados nos aglomerados propiciaria a fusão de regiões do leito a partir de temperaturas próximas a $800\text{ }^\circ\text{C}$ ^[3], muito próxima da normal de operação ($700\text{--}750\text{ }^\circ\text{C}$).

Para minimizar as ocorrências de defluidização, decidiu-se pela realização de um monitoramento diário das amostras do leito da caldeira, com o objetivo de encontrar valores ou faixa de valores críticos desses elementos (potássio, sódio e cálcio), a indicar momentos de formação iminente de aglomerados. Com isso, seria possível realizar descarte pontual extra da areia e manter por mais tempo o leito fluido.

O monitoramento ocorreu por quase 70 dias, divididos em dois períodos – de 07.11.2015 a 16.12.2015 e de 02.02.2016 a 26.02.2016. Na Figura 11 observa-se o gráfico com os valores de concentração de cálcio e potássio, analisados em absorção atômica.

As linhas roxas na horizontal correspondem à média da concentração de potássio nos respectivos períodos. Apesar de a média de concentração de potássio cair nos períodos de melhor funcionamen-

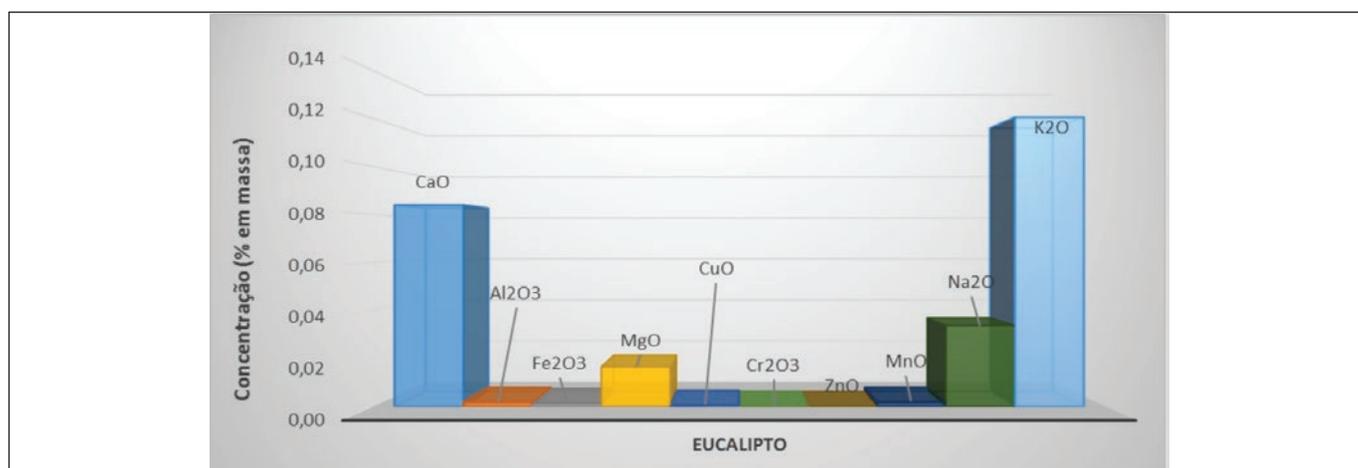


Figura 10 – Composição química típica dos eucaliptos produzidos pela Lwarcel

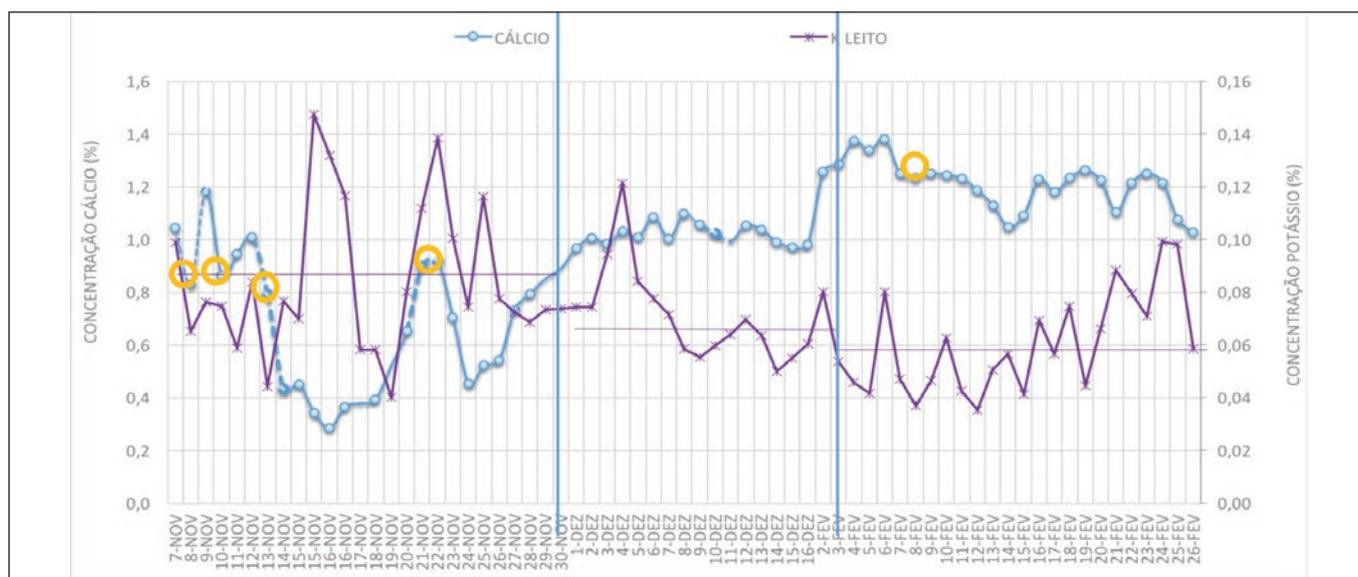


Figura 10 – Concentrações de cálcio (linha azul) e potássio (linha roxa) nas amostras coletadas entre novembro de 2015 e fevereiro de 2016

to do leito, é perceptível a impossibilidade de identificar um valor crítico para monitoramento do ponto aproximado de formação de aglomerados. Isso se dá por conta da dificuldade de amostragem representativa do leito da caldeira da Lwarcel.

A partir do início de fevereiro de 2016 foi implantado um procedimento de limpeza a cada quatro horas das telas da peneira classificatória de areia, equipamento chave no sistema de recuperação de areia, que separa cinzas+finos e as partículas maiores do restante da areia que irá retornar ao leito. Apesar da dificuldade operacional, tal medida visou avaliar se a retirada mais efetiva de finos garantiria uma melhor descontaminação do leito. Caso isso ficasse comprovado, melhorias no equipamento precisariam ser realizadas.

A caldeira da Lwarcel, uma das primeiras do fabricante, possui apenas dois pontos centrais para purga de cinzas e areia, não conseguindo alcançar todas as regiões da fornalha, formando caminhos preferenciais para o descarte e contribuindo para a concentração de inorgânicos indesejados no leito, o que também não permite amostragem representativa. Os projetos seguintes desse fabricante já contemplaram um maior número de pontos de purga, facilitando um descarte mais uniforme de areia+cinzas.

CONCLUSÕES

É possível concluir que a presença de maiores concentrações de cálcio não influencia tanto na formação de aglomerados e pedras – ao contrário do potássio, que em períodos de boa operação esteve em baixas concentrações.

Identificado que o Fornecedor B é mais qualificado que o A, cujo produto apresenta distribuição granulométrica adequada (tamanho acima de 0,71 mm = 25 *mesh*) e também quantidade irrisória de material argiloso – o que mais contribui para aumentar as concentrações de ferro e alumínio, prejudiciais para o leito.

A quantidade de descarte de cinzas e areia está diretamente ligada à de biomassa queimada, por meio da qual ocorre a principal entrada de potássio, sódio e cálcio – elementos que causam maior probabilidade de sinterização do leito de areia^[1,3]. Logo, quanto maior o consumo, maior a purga necessária no sistema.

Como este trabalho identificou que a maior parte dos contami-

nantes se encontra nos finos, foi efetuada a adequação da abertura das telas da peneira do sistema de reciclo de areia da CLF, a fim de facilitar a purga do material fino do leito.

As medidas implantadas descritas neste projeto abrandaram muito as ocorrências, mas não impedem novas formações de aglomerados, em função de alguns fatores: a umidade da biomassa alimentada na caldeira afeta a temperatura do leito e, conseqüentemente, a formação de aglomerados, assim como o nível do leito baixo acarreta má homogeneização da biomassa, exposição de aglomerados de areia previamente formados, que podem ocasionar zonas de alta temperatura e concentração de inorgânicos. Conseqüentemente, mais das aglomerações acontecem.

Por fim, com os bons resultados dos testes de limpeza da peneira, foi efetuado na parada geral de 2016 um projeto de melhoria no sistema. As telas da peneira passaram a ser removidas facilmente pela operação, permitindo uma limpeza mais frequente, para mantê-las desobstruídas, e contribuindo para a eficaz retirada de cinzas e areia e também para a estabilidade do leito.

Alternativas possíveis

Durante o desenvolvimento do projeto foram discutidas algumas alternativas para contornar os problemas citados, sendo algumas já utilizadas no meio industrial:

- possibilidade de se trabalhar com cavaco de eucalipto mais úmido e manter a umidade do combustível próxima a 40%;
- dosagem de calcário no leito, diluindo a concentração dos elementos causadores da sinterização, visto que o cálcio não é um vilão na formação de aglomerados^[5].

Avaliação de lixiviação da areia reaproveitada do leito para retirada de alumínio, sódio, potássio e outros. ■

Agradecimentos

Agradecimentos à equipe do Departamento de Recuperação e Utilidades da Lwarcel Celulose, que idealizou o trabalho e deu todo o apoio necessário para os estudos e testes, assim como à equipe do P&D/ATC da Lwarcel, sempre ativa nas discussões e contribuições para o projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Skrifvras, B-J., Hupa, M., Backman R. and Hiltunen, M. "Sintering mechanisms of FBC ashes" *Abo Akademi University, FIN-20500 Turku, Finland*, (1992)
2. Babisk, M. P. "Desenvolvimento de Vidros Sodo-Cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais," *Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2009, Dissertação mestrado – Rio de Janeiro, 2009*
3. Zevenhoven-Onderwater, Skrifvras, B-J., Hupa, M., Backman R. "The ash chemistry in fluidized bed gasification of biomass fuels. Part I: Predicting the chemistry of melting ashes and ash-bed material interaction" *Abo Akademi University, 20500 Turku, Finland*, received 18 May 2000; accepted January 2001.
4. Foekel, C. "Os eucaliptos e os elementos não processuais na fabricação de celulose kraft", *Eucalyptus Online Book & Newsletter* (2011).
5. Lorente, F. M. J., Arocas, P. D., Nebot, L. G., Garcia, J. E. C. "The effect of the addition of chemical materials on the sintering of biomass ash" *Fuel* vol. 87, pp 2651-2658, (2008).