

DESENVOLVIMENTO DE AUXILIAR DE AGLOMERAÇÃO PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE BENTONITA NA USINA DE PELOTIZAÇÃO DA VALE VARGEM GRANDE*

Luiz Cláudio von Sperling Cotta¹
Artur Frederico Fonseca da Cruz²
Evandro José de Castro Lopes³
Gleison Vinicius Ricardo⁴
Talys Augusto Generoso Moraes⁵

Resumo

Aglomerantes são insumos de grande importância no processo de pelotização de minério de ferro. A bentonita, mais usual, é utilizada nas usinas deste processo desde a década de quarenta em função de seu bom desempenho na aglomeração de minério ultrafino, no entanto o teor de silício na bentonita prejudica o teor de ferro total da pelota, o que reduz seu valor de mercado. Este trabalho visa a diminuição do consumo de bentonita e a melhoria das qualidades químicas da pelota através da inclusão de um auxiliar de aglomeração na usina de pelotização da Vale Vargem Grande. Através da avaliação das variáveis de número de quedas das pelotas verdes, resistência à compressão da pelota verde, verde seca e da pelota queimada, índice de abrasão, fração percentual menor que 5 mm e porcentagem total de ferro nas pelotas queimadas, foi possível validar a viabilidade técnica na utilização do auxiliar de aglomeração no processo de pelotização de Vargem Grande. Além do impacto positivo do aumento de percentual de ferro total devido à redução da utilização da bentonita, também não foi verificado impacto na qualidade física das pelotas sob mesmo ritmo de produção, validando mais uma vez a utilização de insumos orgânicos na pelotização.

Palavras-chave: Pelotização; Aglomeração; Bentonita; Aglomerante Orgânico.

AGGLOMERATION ADDITIVE DEVELOPMENT FOR BENTONITE CONSUMPTION REDUCTION AT VALE VARGEM GRANDE PELLETIZING PLANT

Abstract

Binders are important raw materials in the iron ore pelletizing process. The bentonite, most usual, has been used in plants of this process since the forties due to its good performance in the agglomeration of ultrafine ore, although the silicon content in bentonite impairs the total iron content of the pellet, reducing its market value. This article studies the bentonite consumption reduction and improvement of the chemical quality of pellets by the addition of an organic binder in the productive process of Vale Vargem Grande pelletizing plant. By evaluation of variables as, drop test of green pellet, green pellet, dry pellet and fired pellet compressive strength tests, tumble index, percentage fraction of lower than 5 mm and total iron content in fired pellets, it was possible to approve the technical availability of the organic binder auxiliary in Vargem Grande pelletizing process. Nonetheless the positive influence of total iron content increase due to the reduction of bentonite consumption, it could also verify no impact on the physical quality of the pellets under the same production rhythm, approving once again the use of organic binders in pelletizing process.

Keywords: Pelletizing; Agglomeration; Bentonite; Organic Binder.

¹ Engenheiro Metalurgista, M.Eng., Vale SA, Nova Lima, MG, Brasil.

² Engenheiro de Materiais, B.Eng., Vale SA, Vitória, MG Brasil.

³ Engenheiro de Produção, B.Eng., Vale SA, Nova Lima, MG, Brasil.

⁴ Técnico de Mineração, Vale SA, Nova Lima, MG, Brasil.

⁵ Estudante de Engenharia Metalúrgica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

No processo produtivo de pelotas de minério de ferro são necessários insumos aditivos com objetivos específicos, entre eles, os aglomerantes, a fim de formar os corpos coesos e esféricos. Esse processo se desenvolveu ao longo do século XX devido à crescente geração de produto ultrafino, sem aplicabilidade na indústria siderúrgica (posteriormente denominado *pellet feed*), e crescente escassez de oferta de minério granulado no mercado. Com o processo de aglomeração mineral, pode-se ter maior aproveitamento comercial de produtos, facilidade de transporte e redução do impacto ambiental na geração de resíduos.

O minério de ferro ultrafino tende a formar aglomerados com a simples adição de água, porém o processo é relativamente lento e incapaz de promover a resistência física apropriada ao corpo aglomerado dada a necessidade de escala produção. Dessa forma, a fim de acelerar as propriedades físico-químicas da formação de pelotas, são adicionados os aglomerantes no processo. Estes são quaisquer materiais utilizados para unir partículas em uma massa maior. O minério misturado com aglomerante é submetido a discos ou tambores rotativos cuja movimentação implica no revolvimento do material e a interação entre as partículas que promove a formação das pelotas. Segundo Souza (2014) [1], as forças que se estabelecem nas interfaces sólido/líquido têm um efeito coesivo sobre o sistema partículas sólidas-líquido-ar. Ainda segundo o autor, estas forças interfaciais consistem na tensão superficial do líquido e nas forças capilares atuantes sobre as superfícies côncavas das pontes líquidas formadas entre as partículas de minério. Dessa forma, devido à tensão superficial do filme de água destas pontes formadas e como resultado do movimento das partículas dentro do disco/tambor de pelletização e da combinação individual das gotas de água, ocorre a formação de um aglomerado com diversas partículas, tal como apresentado na Figura 1 (MEYER, 1980, [2]).

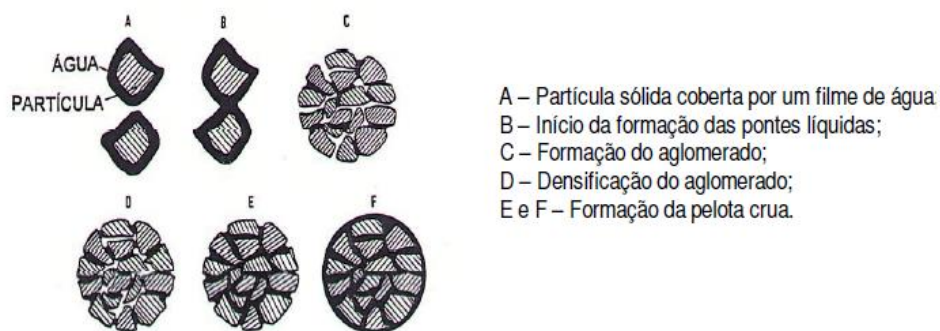


Figura 1 - Estágios de formação das pelotas cruas (adaptado de MEYER, 1980).

Os aglomerantes da indústria mineral podem ser classificados em três tipos: Matriz; Filme ou: Aglutinante Químico. Na produção de pelotas de minério de ferro são utilizados, geralmente, dois tipos de aglomerante tipo filme, que são água e bentonita. A bentonita é uma argila da família das montmorilonitas, as quais se originam da hidrólise de uma rocha vulcânica. É uma argila natural do tipo cálcica e é ativada com barrilha (carbonato de sódio – Na_2CO_3). Essa ativação visa à substituição do cálcio (Ca), solúvel na bentonita natural, pelo sódio (Na), que forma o carbonato de cálcio ou calcário (CaCO_3) e é removido da bentonita. Com isso o poder de aglomeração e o poder de absorção de água aumenta substancialmente.

Todavia a montmorilonita também possui considerável teor de silício na sua matriz inorgânica, o que interfere no teor de ferro total da pelota com o maior percentual de ganga. Estas impurezas impactam negativamente na qualidade da pelota e reduz o seu valor de mercado.

Dessa forma, este trabalho visa homologar, especificamente para o minério utilizado na usina de pelotização de Vargem Grande, um insumo que possa, juntamente com a bentonita, auxiliar na aglomeração e formação das pelotas, sem impactos na produtividade, que poderá promover a redução do aglomerante padrão e, conseqüentemente, aumentar o teor de ferro total e a qualidade química do produto.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 AGLOMERANTE ORGÂNICO

A utilização de aglomerantes orgânicos vem sendo testada nas pelotizações com o intuito de solucionar os problemas ligados ao uso exclusivo da bentonita como agente aglomerante, uma vez que o uso da bentonita incorpora na pelota contaminações indesejadas. Contudo mesmo que os aglomerantes orgânicos não apresentem o mesmo problema da bentonita no que se refere a contaminação da pelota, os primeiros estudos apresentaram outra condição indesejada que foi a diminuição da resistência mecânica na pelota queimada.

Segundo Ripke (2002) [3] os aglomerantes orgânicos sozinhos dão a pelota verde a resistência mecânica necessária, mas estes aglomerantes são queimados antes da recristalização e desta forma os materiais aglomerados não possuiriam a resistência final desejada, fazendo com que esses insumos não fossem considerados uma opção muito vantajosa.

De acordo com Moraes (2014) [4] a visão de que aglomerantes orgânicos não eram vantajosos começou a mudar a partir de 1975, quando eles começaram a ser utilizados como aditivos combinados a outros materiais para melhorar as propriedades aglomerantes, oferecendo assim vantagens em relação a bentonita, como redução da ganga ácida, melhoria da redutibilidade e das propriedades metalúrgicas da pelota. Aglomerantes orgânicos podem ter princípios a base de celulose, epóxios ou acrilamidas. O polímero se adere parcialmente às partículas de minério e a parte não aderida reage com a umidade e aumenta a viscosidade do fluido entre partículas para controlar a taxa de crescimento durante a pelotização. Por serem orgânicos, o aglomerante é degradado no forno após já iniciadas as reações de escorificação na pelota, portanto, não devem impactar na qualidade física da pelota queimada e também não incorporam impurezas (sílica).

Neste estudo, o auxiliar de aglomeração utilizado é um sal de polímero em solução aquosa de composição a base de ácido acrílico neutralizado com hidróxido de cálcio. O insumo é líquido à temperatura ambiente, de cor castanha, odor característico e altamente viscoso. O polímero da sua composição atua sobre uma

melhor dispersão de finos, os quais recobrem os grãos como um filme, mantendo a coesão entre eles.

2.2 SISTEMA DE DOSAGEM

Para a dosagem do auxiliar de aglomeração foi instalada uma calha na transferência entre correias transportadoras de minério, antes da adição dos demais insumos, a fim de já promover a dispersão e homogeneização do aglomerante antes dos misturadores, como mostra a Figura 2.



Figura 2 – Ponto de dosagem do auxiliar de aglomeração.

A dosagem para o teste foi possível com a instalação de um sistema dosador provisório, visto que a unidade de Vargem Grande não dispunha de sistema de dosagem de insumo líquido definitivo. Mesmo assim, o sistema foi interligado ao sistema de controle automatizado da planta, o que permite o controle de dosagem conforme a produtividade da usina.

2.3 PLANEJAMENTO DO TESTE

O planejamento do teste foi desenvolvido baseado em metodologia *Design for Six Sigma* (DFSS). Dessa forma, a partir de análises de restrição de processo e referências de utilização do auxiliar de aglomeração em outras usinas de pelletização, pode-se definir as seguintes premissas de qualidade do *pellet feed* para a utilização do insumo:

- ✓ Superfície específica do *pellet feed* de saída da prensa mínimo de 1.950 cm²/g (conforme método de Blaine);
- ✓ Umidade do *pellet feed* de saída da etapa da Filtragem em 10,30% ± 0,30% (conforme Norma ISO 3087);

Foi definido também que o teste necessitaria de pelo menos quinze dias para estabilização da utilização do insumo e amortização de possíveis distúrbios imprevisíveis no processo produtivo. Além disso, as condições de dosagem foram estabelecidas a fim de se anular os efeitos de custo financeiro entre os insumos, ou seja, a dosagem do auxiliar de aglomeração é inversamente proporcional à

dosagem de bentonita, o que garante que não haverá aumento do custo de produção com a utilização do insumo.

Foram definidas vinte e cinco variáveis de acompanhamento no teste, ilustradas através do Diagrama FAST na Figura 3. Estas variáveis foram classificadas como: de resposta; controladas e; de processo.

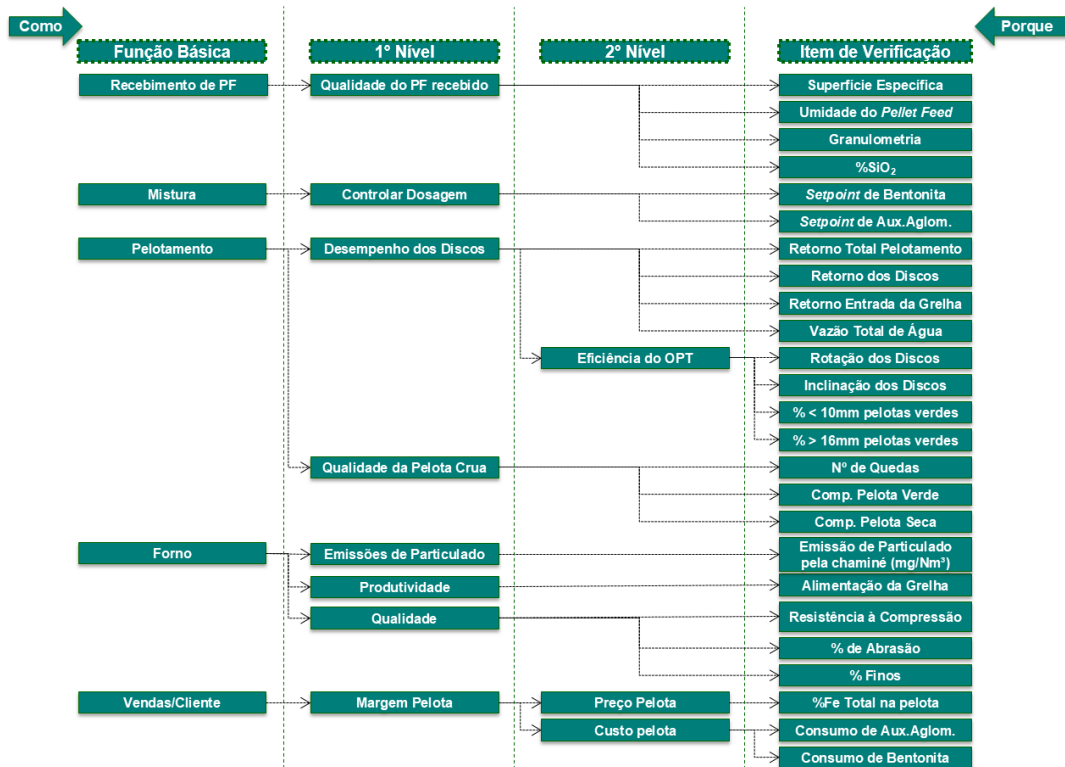


Figura 3 – Diagrama FAST para o teste com auxiliar de aglomeração.

Com base no propósito de se apresentar os resultados do efeito da utilização do auxiliar de aglomeração no produto para o cliente, este artigo se restringirá aos resultados das variáveis resposta, sendo estas:

- ✓ Resistência à Compressão da pelota verde, verde seca e queimada;
- ✓ Número de quedas das pelotas verdes;
- ✓ Índice de Abrasão das pelotas queimadas (conforme norma ISO 3271);
- ✓ Resistência à Compressão das pelotas queimadas (conforme norma ISO 4700);
- ✓ Percentual menor que 5 mm das pelotas queimadas (conforme norma ISO 4701);
- ✓ %Fe total nas pelotas queimadas.

2.4 TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O tratamento da informação e análise estatística foi realizado através do software Minitab® 18.1© 2017 Minitab, Inc.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período de teste foi de dezoito dias e, durante três dias, foi possível se alcançar o ponto de equilíbrio de dosagem dos insumos com condições de processo estáveis e, dessa forma, os dados foram analisados sob este período.

3.1 INDICADORES DO PELOTAMENTO

Sobre os parâmetros de qualidade da pelota verde não houve diferença no período durante e após o teste como pode ser observado da Figura 4 à Figura 6.

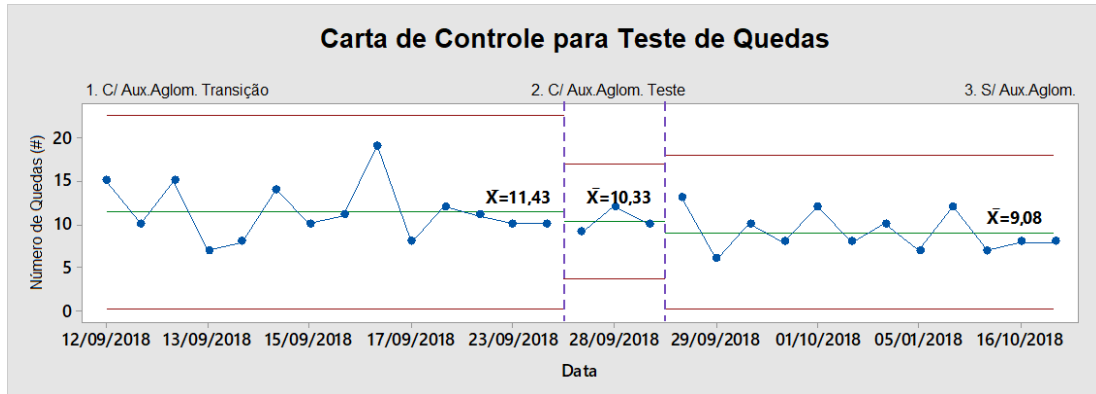


Figura 4 – Carta de Controle do teste de queda durante e após o teste.

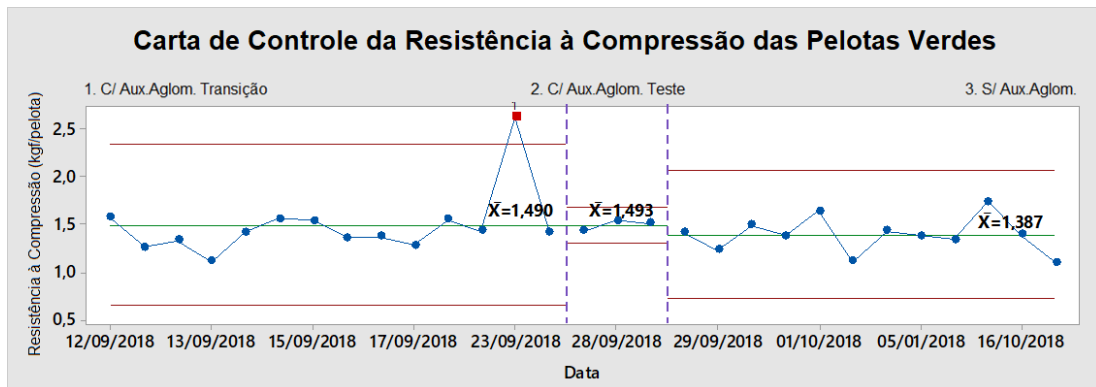


Figura 5 – Carta de Controle da resistência à compressão de pelotas verdes durante e após o teste.

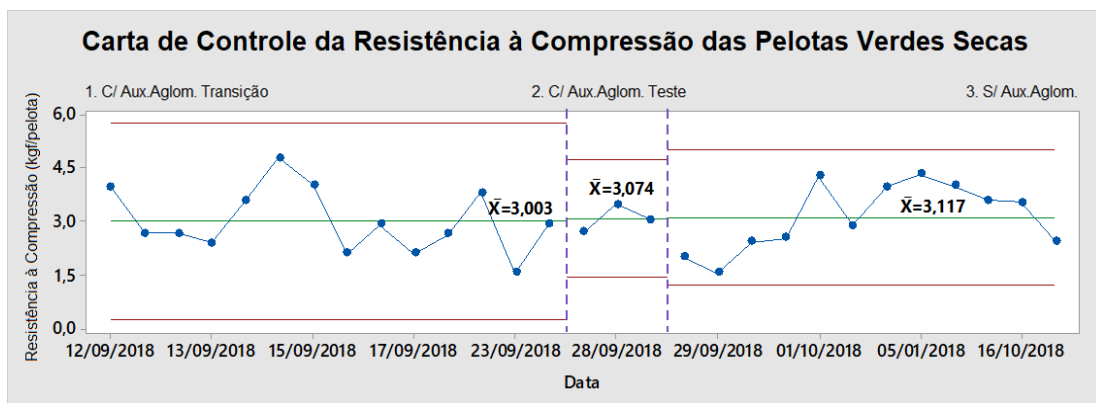


Figura 6 – Carta de Controle da resistência à compressão de pelotas secas durante e após o teste.

3.2 INDICADORES DE QUALIDADE DA PELOTA QUEIMADA

A avaliação dos parâmetros de qualidade física da pelota queimada permitiu afirmar que não houve diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos

índices de abrasão (Figura 7), da fração menor que 5,00 mm (Figura 8) e da resistência à compressão (Figura 9) nas amostras de pelota queimada de produção quando comparados os dois períodos de utilização do aditivo de aglomeração com redução da bentonita e dosagem padrão de bentonita sem aditivo.

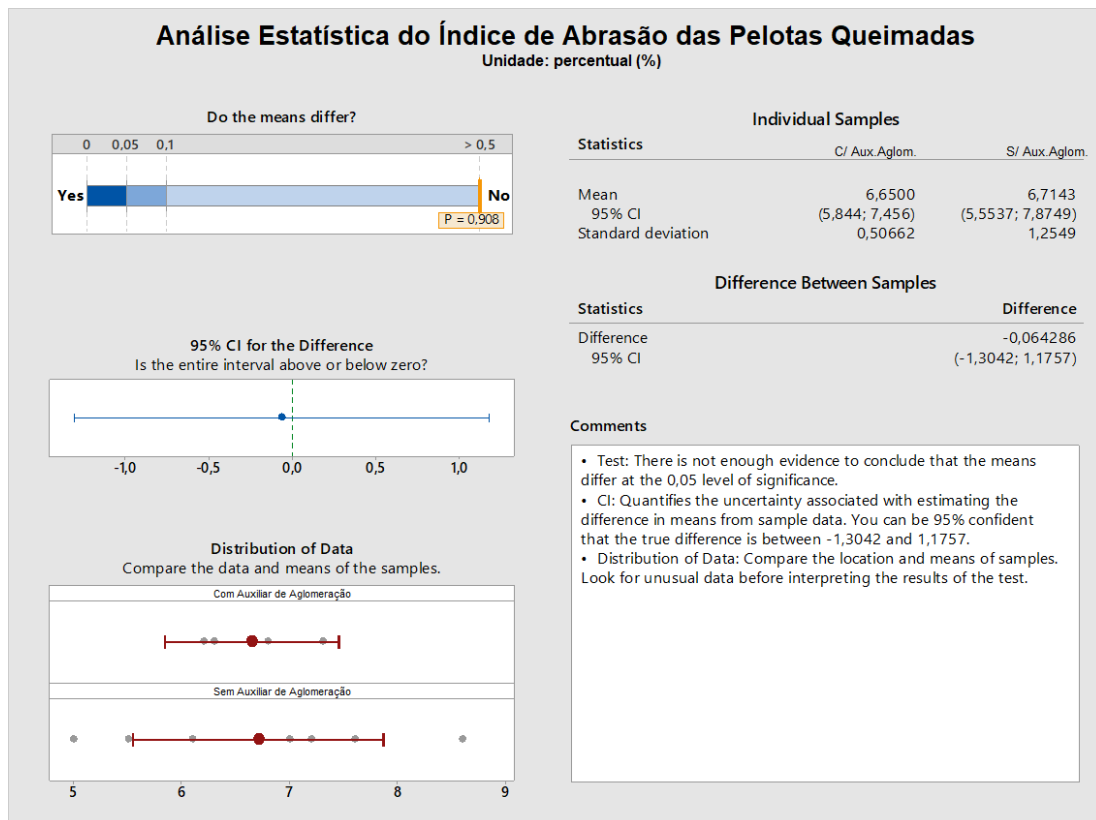


Figura 7 – Análise Comparativa das Médias dos Índices de Abrasão.

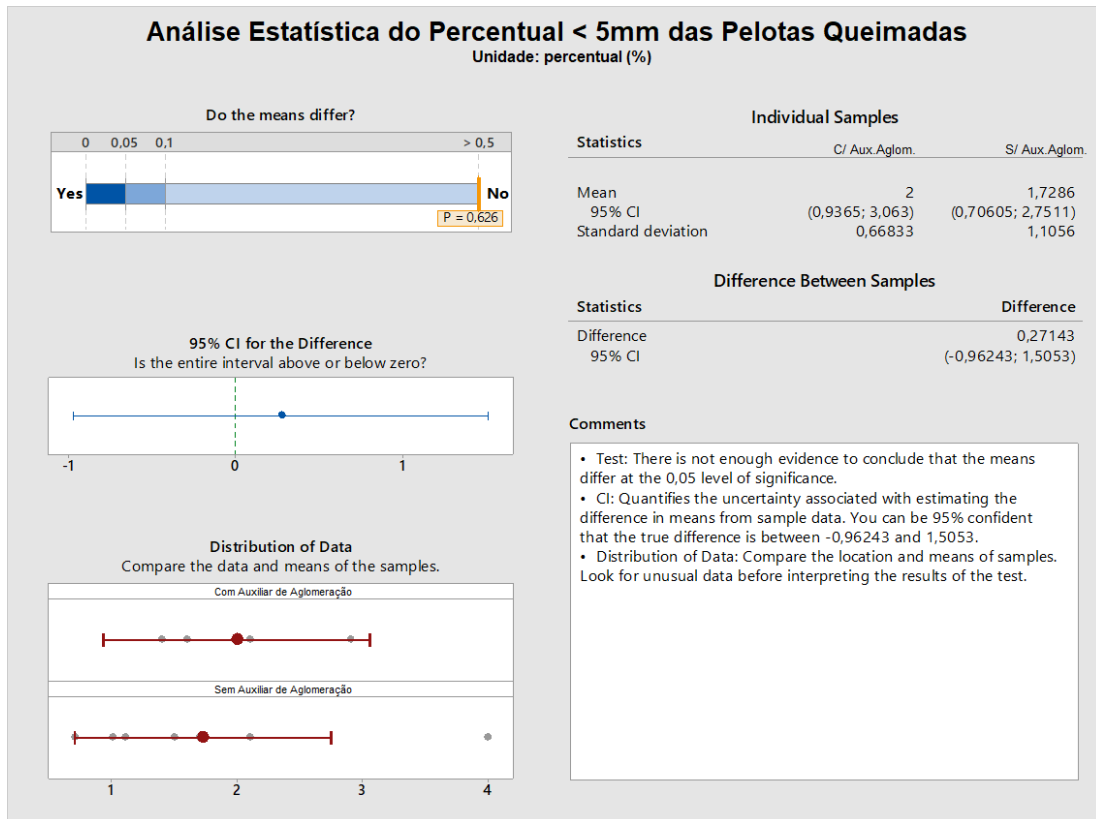


Figura 8 – Análise Comparativa das Médias dos Percentuais < 5mm.

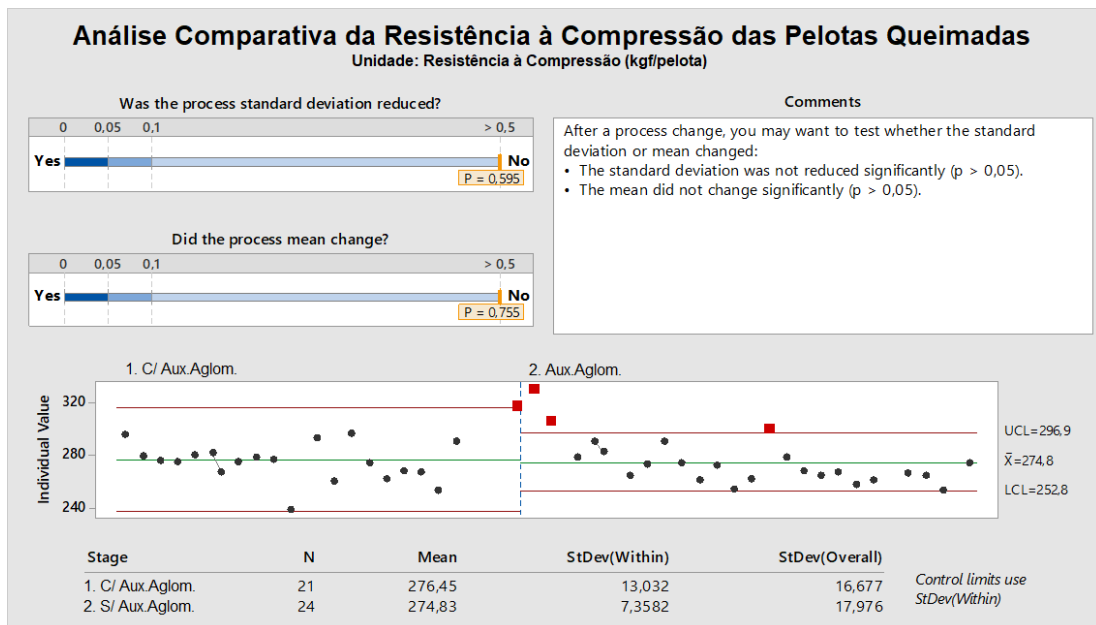


Figura 9 – Análise Comparativa das Resistências à Compressão.

Portanto, pode-se afirmar que a utilização do aditivo auxiliar de aglomeração não impacta negativamente nos indicadores de qualidade da pelota queimada.

3.3 INDICADORES DE QUALIDADE QUÍMICA

Ao avaliar a qualidade química de teor de ferro total e sílica, pode-se detectar que houve redução da variação de sílica entre o *pellet feed* e a pelota queimada

(Figura 10) quando se utiliza o aditivo auxiliar de aglomeração com também consequente aumento do teor de ferro total (Figura 11), observado no mesmo período. Esse aumento de Ferro Total e redução da variação de sílica já era esperado uma vez que o aglomerante não possui impurezas para se incorporar à pelota, uma vez que sua matriz é orgânica e evapora no processo de sinterização no forno de endurecimento. Através do balanço de massa foi simulado o aumento do teor de ferro com a redução da bentonita. O aumento no teor de ferro com a utilização do aglomerante foi de 0,13 pontos percentuais.

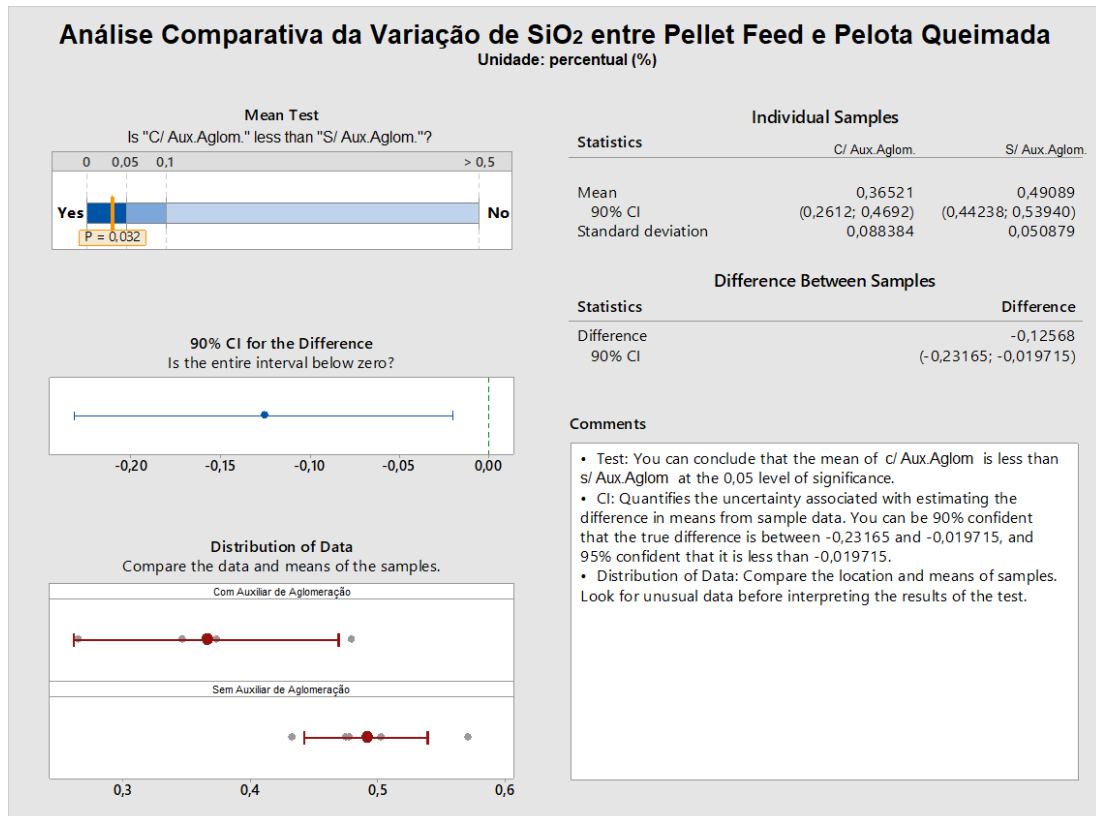


Figura 10 – Análise Comparativa das Médias para variação de SiO₂ entre *pellet feed* de saída da prensa e pelota queimada.

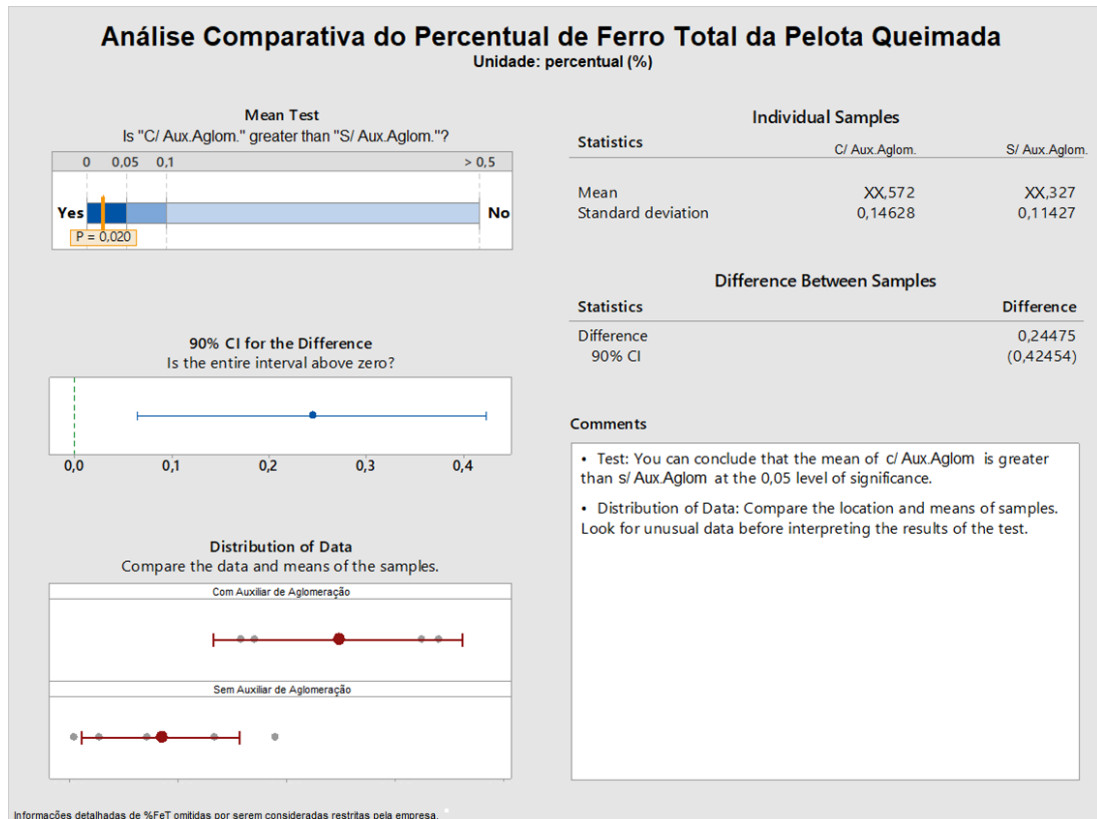


Figura 11 – Análise Comparativa das Médias para Ferro Total entre pellet feed de saída da prensa e pelota queimada.

Ao avaliar pelo teste industrial, foi detectado que o percentual de Ferro Total aumentou 0,24 pontos percentuais. Dessa forma, pode-se considerar que o auxiliar de aglomeração é capaz de aumentar o teor de Ferro Total em 0,13 pontos percentuais, conforme previsto no balanço de massa. Baseado nas proporções de utilização, o aumento de margem estimado por esse aumento de percentual de Ferro Total para a usina de pelotização de Vargem Grande é superior à 1,5 MBRL/ano.

4 CONCLUSÕES

O auxiliar de aglomeração apresentou resultados satisfatórios com viabilidade técnica comprovada para utilização no processo de pelotização de Vargem Grande, principalmente frente aos indicadores de resposta, os quais podem impactar na produtividade do forno de endurecimento e no reator do cliente. Foi comprovado também o impacto positivo de aumento de percentual de ferro total devido à redução da bentonita, o que também implica em redução de ganga na pelota queimada. Este trabalho valida não só a utilização de insumos orgânicos para a pelotização como também a incorporação de material líquido à mistura para a produção de pelotas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos que indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, em especial ao pessoal da Gerência de Operação Vargem Grande, Unidades Técnicas Minas Gerais e Brasil e Gerência de Manutenção Vargem Grande da Vale em Nova Lima.

REFERÊNCIAS

- [1] SOUZA, A.L., *Efeito da adição de cal hidratada na etapa de aglomeração das pelotas de minério de ferro produzidas pela Samarco S.A.*, dissertação de mestrado, UFMG, Belo Horizonte, 2014.
- [2] MEYER, K., *Pelletizing of iron ores*, Düsseldorf: Springer-Verlag mbH, 1980.
- [3] RIPKE, S.J., *Advances in iron ore pelletization by understanding bonding and strengthening mechanism*. 2002. Tese de Doutorado – Michigan Technological University, Houghton, MI, 2002.
- [4] MORAES, S.L., LIMA, J.R.B., *Contribuição ao entendimento do efeito de agente coloidisante no processo de pelletização de concentrado de minério de ferro*. USP, São Paulo, 2014.