

## DOSAGENS ESPECÍFICAS DE ÁGUA NO DECORRER DO DIA DURANTE O PROCESSO DE EMPILHAMENTO DE PELOTAS\*

Lucilio Bertoldi Ribeiro<sup>1</sup>  
Francisco Magalhães Fazollo<sup>2</sup>

### Resumo

A água é um importante produto para controle da emissão de particulados. Entretanto, a inserção de água está vinculada à escassez desse recurso e a custos de frete no transporte das pelotas, encarecendo assim seu custo final. Além disso, está associada ao deslocamento da receita da venda das pelotas, uma vez que parte das cargas entregues corresponde ao conteúdo de água, não remunerada. O foco de atuação deste trabalho foi na otimização do consumo de água sem impactar negativamente nos níveis de emissões de particulados, medidas nas torres de monitoramento no entorno dos pátios de estocagem de pelotas. Em virtude de uma maior incidência de ventos durante o dia, sobretudo no período de incidência solar, é esperado observar maiores níveis de emissão de particulados nesse período. Observações empíricas já indicavam esse fenômeno, constatado numericamente com os dados das mencionadas torres de monitoramento. Desta forma, foi estudada a otimização do sistema de dosagem de água no empilhamento de pelotas. Essa adequação foi feita de forma a aumentar a dosagem de água nessa etapa nos horários onde as emissões são mais intensas e diminuir essa dosagem nos horários em que tradicionalmente não ocorrem problemas de emissão.

**Palavras-chave:** Consumo de água; Emissões de particulados; Processo de empilhamento

### SPECIFIC DOSAGES OF WATER DURING THE DAY IN THE PELLET STACKING PROCESS

#### Abstract

Water is an important product to control the emission of particulates. However, the insertion of water is linked to the scarcity of this resource and to freight costs in the pellets transportation, increasing the final cost. It is also associated with the displacement of revenues from the pellets' sales, since part of the delivered cargo corresponds to water, not remunerated. The present work focus on the optimization of water consumption respecting the particulate emission levels, measured by the monitoring towers around the pellets storage yards. Due to a higher incidence of daytime winds, especially in the period of solar incidence, it is expected to observe higher levels of particulate emissions in this period. Empirical observations already indicated this phenomenon, numerically verified with the data of the mentioned monitoring towers. Thus, optimization of the water dosage system in the stacking process was studied. This suitability was made to increase the dosage of water in the stacking stage when the emissions are higher and to reduce this dosage when traditionally do not occur emission problems.

**Keywords:** Water consumption; particulate emissions; stacking process.

<sup>1</sup> Engenheiro Civil com Mestrado em Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Engenheiro Sênior, Departamento de Pelotização, VALE S.A., Vitória, Espírito Santo, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico, Universidade Federal de Ouro Preto, Especialização em Gestão Técnica em Laboratórios pela UNICAMP, Engenheiro Sênior, Departamento de Pelotização, VALE S.A., Vitória, Espírito Santo, Brasil.

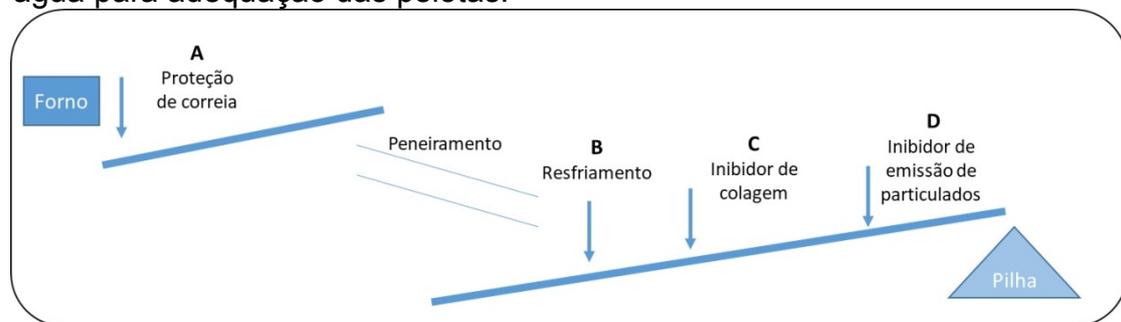
## 1 INTRODUÇÃO

A indústria do aço utiliza como um de seus principais componentes da carga metálica as pelotas de minério de ferro. Essas pelotas são formadas a partir da etapa de cominuição de partículas de óxidos de ferro, que são posteriormente misturadas a aditivos (combustíveis sólidos, fundentes, aglomerante), aglomerados e submetidos ao processamento térmico. Uma etapa final, de queima, realiza a sinterização desses materiais com fundentes específicos, garantindo assim determinadas propriedades físicas de interesse, entre as quais a resistência à compressão e a abrasão.

No processo de empilhamento das pelotas nos pátios de estocagem, de forma a adequar as características das pelotas às exigências ambientais e às demandas dos clientes, é realizada a aplicação de água e produtos específicos em diversos pontos, sumarizados abaixo na figura 01. Essas aplicações têm como função o resfriamento das pelotas após a fase de queima (Pontos A e B) e a aplicação em pelotas do tipo redução direta de agentes inibidores de colagem – Coating (Ponto C).

Nos processos de transferência e armazenamento em pátios a céu aberto, em função da abrasividade e da movimentação das pelotas, ocorre a geração de finos, que podem gerar emissões de particulados, em geral PM10, partículas entre 2,5 e 10 µm de diâmetro. De modo a minimizar essas emissões, ainda antes da estocagem, no empilhamento, é realizada uma última etapa de aplicação de supressor de pó, uma solução contendo a água e um inibidor de emissão de particulados (Ponto D).

Figura 01 – Desenho esquemático para apresentar os pontos de adição de água para adequação das pelotas.



O primeiro ponto (A) apresentado tem como objetivo resfriar as pelotas que eventualmente saem do forno a temperaturas acima de 220°C, para evitar danos às correias transportadoras. Devido à temperatura e à quantidade de água aplicada, essa água é praticamente evaporada na sua totalidade no percurso até o próximo ponto de adição de água. O ponto B, já nas proximidades do pátio, é utilizado para resfriar as pelotas de modo a evitar que o agente inibidor de emissão de particulados, a ser aplicado no ponto D, possa sofrer degradação, perdendo assim sua finalidade como inibidor de emissão de particulados. Para pelotas do tipo redução direta é ainda aplicado um agente inibidor de colagem - coating, apresentado no ponto C da figura acima. A água aplicada nesse ponto auxilia no processo de resfriamento. Um último ponto (D) utiliza a água para dispersar o agente inibidor da emissão de particulados, supressor de pó, e ajustar a umidade final das pelotas, com o objetivo de garantir eficiência nos controles ambientais dos

processos subsequentes de empilhamento, estocagem, recuperação para embarque e desembarque.

Muitas variáveis contribuem para interferir nos padrões de emissão. Segundo Turpin, e Harion [1], modelos de emissão usualmente consideram como parâmetros de cálculo de emissão de materiais particulados a velocidade dos ventos incidentes, a granulometria das partículas erodíveis e a área superficial da pilha. Usualmente existe um padrão de ocorrência de maiores velocidades de ventos, geralmente associados com uma maior incidência solar.

Em EPA [3], por exemplo, são apresentados fatores de emissão de particulados em pilhas a céu aberto para diversos produtos, com umidades diferenciadas de produto. Entretanto, muitas outras variáveis são impactantes à emissão de particulados. Como exemplo, podem ser citadas a circulação de veículos em vias próximas às torres de monitoramento ambiental, a realização de determinadas atividades de limpeza em estruturas e silos, entre outras.

Ainda segundo Turpin, e Harion [1] e Cong, Yang, Cao, Chen, Dai and Peng [2], diversas simulações numéricas foram realizadas constatando que mesmo a direção do vento em relação a uma pilha de um material erodível pode interferir significativamente na formação da pluma de material.

Esse trabalho pretende avaliar o comportamento das emissões nos pátios e as dosagens de água aplicadas no ponto D apresentado na figura 01. O objetivo é otimizar o consumo de água na etapa de empilhamento de pelotas no pátio, que é uma das etapas sensíveis à emissão de particulados.

## 2 DESENVOLVIMENTO

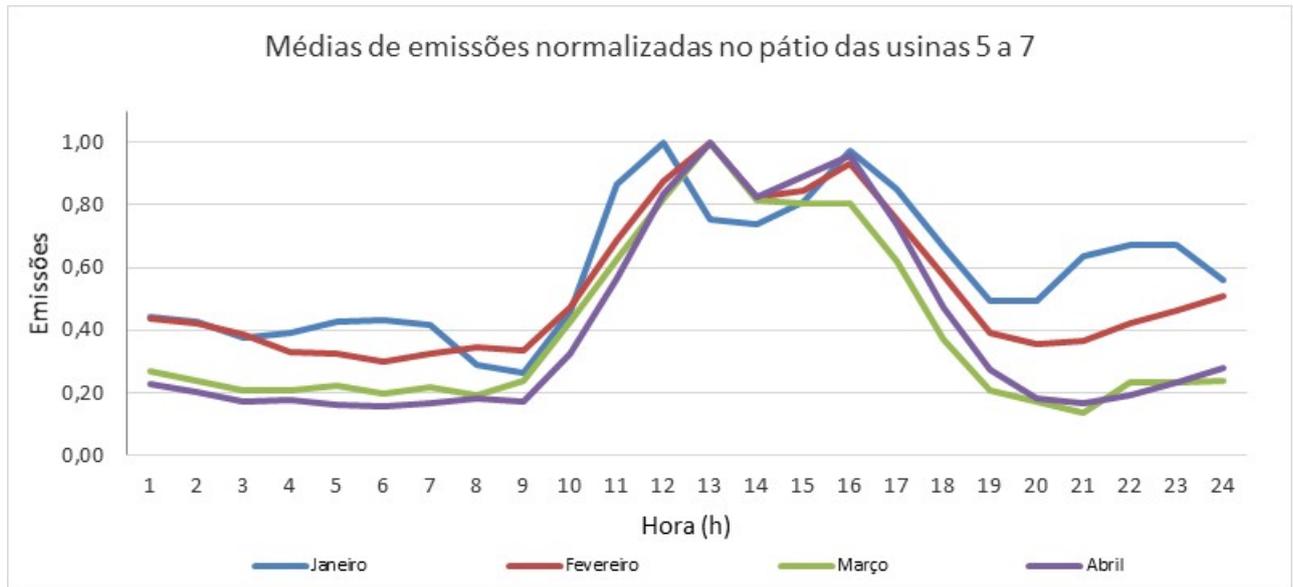
### 2.1. Entendimento do Problema:

O primeiro passo no sentido de melhorar a aplicação de água durante o empilhamento foi o entendimento do comportamento das emissões durante as vinte e quatro horas do dia, de modo a verificar a existência ou não de sazonalidades ou relação direta com outro indicador.

No entorno dos pátios de estocagem de pelotas estão instaladas torres de monitoramento ambiental, que atuam mensurando as emissões geradas nesses pátios, em intervalos de tempo específicos. Os valores de emissão aqui apresentados estão normalizados para permitir a comparação do comportamento das emissões entre diversos pátios de estocagem.

De acordo com o gráfico 01 apresentado abaixo, os valores de emissão variam durante o dia, mantendo uma sazonalidade que usualmente se repete durante os dias. As maiores emissões de particulados acontecem no período da tarde. Efeitos como a incidência de chuvas em determinados períodos do dia, por exemplo, interferem nos padrões observados de emissão.

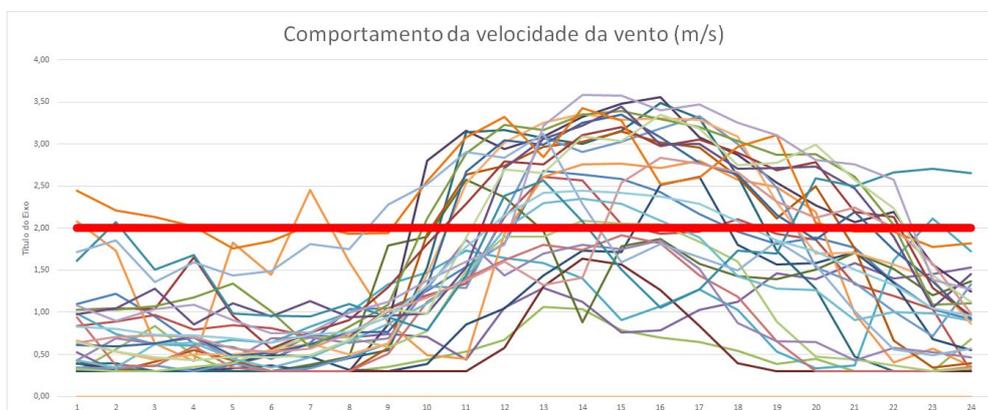
Gráfico 01: Médias mensais de emissões normalizadas por hora do dia no primeiro quadrimestre de 2018, no pátio de armazenamento de pelotas das usinas 5 a 7.



Para identificar o comportamento da velocidade dos ventos foi realizada uma análise amostral, durante o mês de fevereiro de 2018, das velocidades escalares nas vinte e quatro horas do dia, no pátio de armazenamento de pelotas das usinas 5 a 7 no Complexo de Tubarão, Gráfico 02 abaixo. Como pode ser observado, os registros de maiores velocidades de ventos estão concentrados entre as dez da manhã e seis da tarde.

Visualmente constata-se a existência de grande similaridade entre os horários de pico das emissões, já apresentadas anteriormente (Gráfico 01), com correlação positiva entre a velocidade de incidência dos ventos e a emissão de particulados.

Gráfico 02: Medições diárias de velocidade dos ventos em fevereiro de 2018 no Complexo de Tubarão.

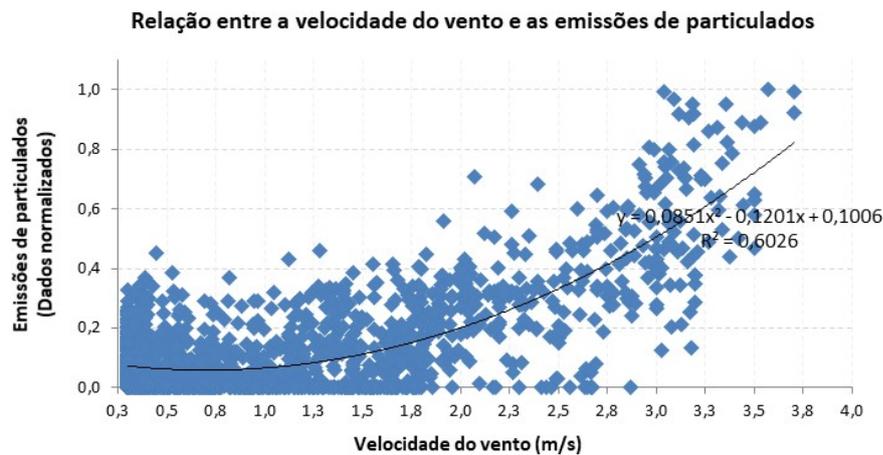


Com base nos gráficos 01 e 02 e considerando as metas internas de emissão de particulados, é possível identificar que velocidades de vento inferiores a 2,0 m/s não causam, nos pátios, arraste significativo de material particulado. Para esses dois

meses analisados, foram registrados ventos inferiores a esse limite desejado em 75,9% do tempo.

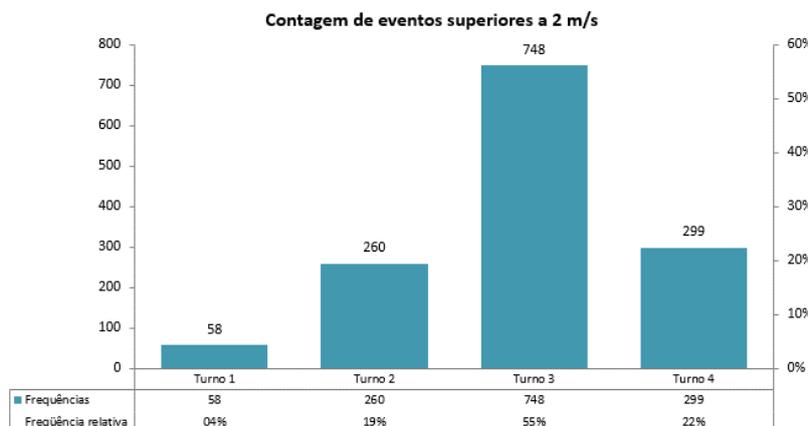
Esse fenômeno pode ser comprovado abaixo no gráfico 03, que apresenta a relação entre a velocidade do vento e a emissão de particulado no mesmo período avaliado anteriormente.

Gráfico 03: Correlação existente entre a velocidade dos ventos e a emissão de particulados, com dados normalizados de 01/02/2018 a 31/03/2018.



Uma vez entendido as principais variáveis que atuam no processo de emissão de particulados, foi realizada uma análise dos dados para conhecer melhor o comportamento da velocidade do vento por turno, períodos de seis horas, sendo turno 1 (00:00 as 06:00hs), turno 2 (06:00 as 12:00hs), turno 3 (12:00 as 18:00hs), e turno 4 (18:00 as 24:00hs), retratado abaixo no gráfico 04.

Gráfico 04: Contagem de eventos com velocidades superiores a 2 m/s nos turnos.

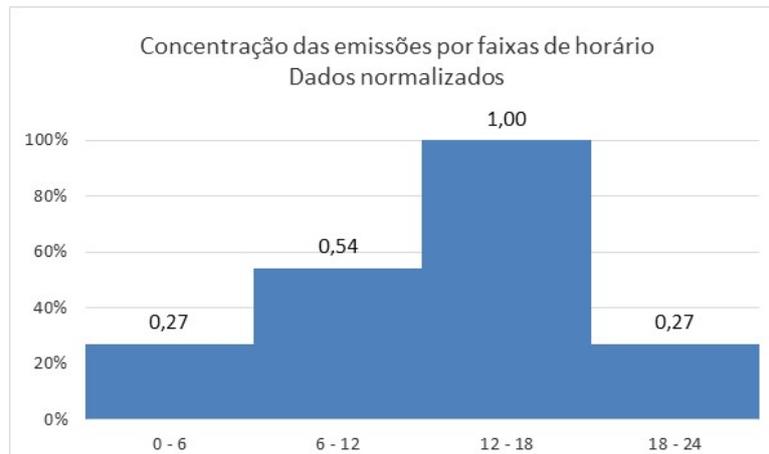


As medições são realizadas a cada quinze minutos e a grande variabilidade de incidência de ventos consegue ser capturada nessa análise com a utilização desse curto intervalo de tempo. Mesmo assim constata-se que no horário da madrugada existe uma baixa ocorrência (4% do total) de ventos superiores aos limites desejados

de 2 m/s, gerando uma oportunidade para diferenciar a dosagem de água na etapa de empilhamento. Da mesma forma constata-se que 55% dos eventos concentram-se no período da tarde, sendo interessante um melhor controle de emissões nesse período.

No gráfico 05 abaixo são apresentadas médias de emissões em períodos de seis horas para o mesmo intervalo de análise, demonstrando comportamento semelhante ao apresentado no gráfico 04.

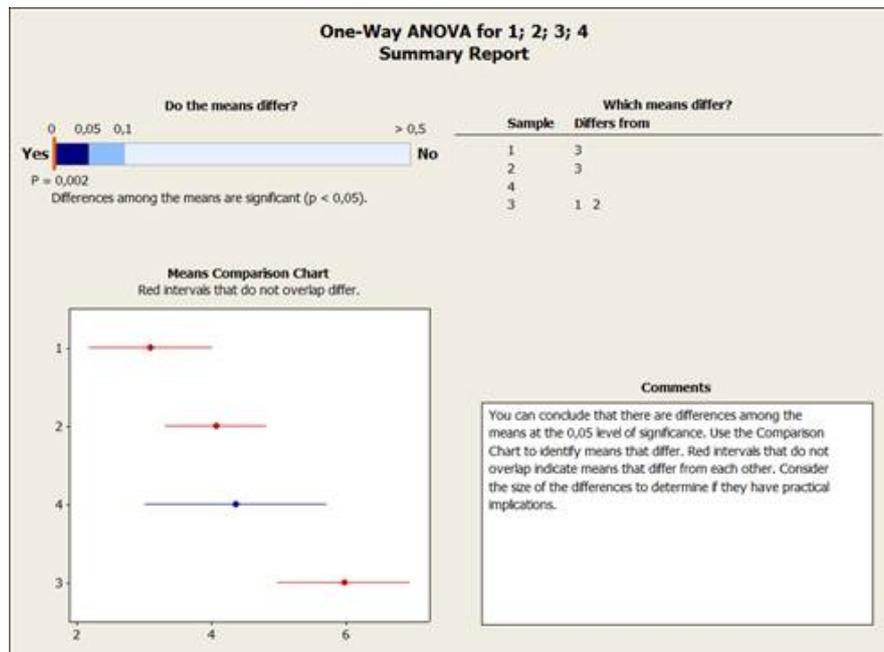
Gráfico 05: Dados normalizados de emissões com base na emissão máxima em períodos de seis horas, medidos no mesmo período de 60 dias.



Esse comportamento, com emissões pronunciadas no período da tarde foi constatado nos dois pátios estudados e para todos os meses do primeiro quadrimestre de 2018, indicando um comportamento padrão.

Um teste estatístico (Anova) para validar o comportamento das emissões por período foi performedo, identificando que os ventos com menores intensidades estão concentrados no horário da madrugada. Os menores consumos de água poderiam ser aplicados neste período do dia.

Gráfico 06: Estudo estatístico indicando período da tarde com maior ocorrência de emissões.



De acordo com os resultados do teste, é possível afirmar estatisticamente que o período da tarde, identificado como turno 3 - 12:00 as 18:00hs, possui um comportamento diferenciado quando comparado com o período da madrugada.

## 2.2 Efeitos da umidade no controle das emissões

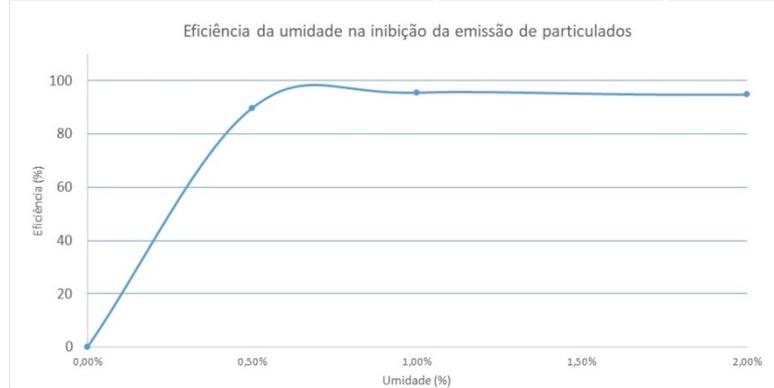
Uma vez conhecidas as variáveis que proporcionam a emissão de particulados, foram realizados estudos adicionais para entendimento do papel dos inibidores de emissão de particulados.

Para isso, foram realizadas medições de emissão de particulados, sempre em duplicata para validação estatística, nos momentos de queda nas pilhas, em diversas amostras controladas e com níveis de umidade previamente conhecidos.

Estes estudos foram realizados em laboratório, em condições controladas para minimização das demais variáveis que possam impactar nos resultados do teste, como intempéries, por exemplo.

Um indicador de eficiência de inibição foi então estabelecido, a eficiência de inibição de emissão de particulados (capacidade do agente de inibir a emissão do particulado). O gráfico 07 abaixo apresenta a eficiência que a água oferece (medida pelo teor de umidade das pelotas) quando avaliada a emissão de particulados.

Gráfico 07: Eficiência da umidade na inibição da emissão de particulados.



A umidade das pelotas apresenta correlação positiva com a eficiência na inibição de emissão de particulados nos momentos de queda das pelotas. Mesmo teores de umidade entre 0,5% a 1% nas pelotas proporcionam elevadas eficiências na inibição da emissão de particuladas. Entretanto, faz-se necessário que a umidade esteja bem distribuída em todo o leito de pelotas para que sejam alcançados esses patamares.

### 2.3 Processo de variação do percentual da umidade no decorrer do dia.

Em virtude dos efeitos da umidade governando a emissão de particulados e da magnitude das emissões, sobretudo no período da tarde, o ponto D de adição da solução de água e inibidor de emissão de particulados, que aplicava uma dosagem fixa em 1,0% da produção, foi alterado. Patamares diferenciados de dosagem de água foram então estabelecidos.

Considerando a frequência e a regularidade das variações necessárias, foi estabelecida uma lógica de aplicação de água e implantada no sistema de automação das válvulas. A dosagem é automaticamente aumentada no período da tarde, sendo, em contrapartida, reduzida nos demais períodos, e, sobretudo no período da madrugada, onde foram observadas menores emissões.

A determinação desses patamares de dosagem de água utilizou como premissas:

- Os níveis de emissão durante o dia, com o pico tradicionalmente observado no início do período da tarde, próximo às duas da tarde, e menores emissões observadas no período da madrugada;
- Os horários de trabalho das equipes, estabelecendo um patamar de dosagem constante durante esses turnos para melhor controle operacional;
- Uma redução do total de água consumida, de modo a não comprometer o fornecimento de água nem a umidade final da pelota.

Tabela 01: Patamares de dosagem de solução de água e inibidor de particulados na fase de empilhamento durante o dia.

Turno - Horário	Dosagem (%)
01: 0h– 6h	0,4%
02: 6h– 12h	0,8%
03: 12h– 18h	1,2%
04: 18h– 24h	0,8%

### 3 CONCLUSÃO

O rastreamento e monitoramento de variáveis influentes nas emissões é uma importante ferramenta para melhorar o entendimento dos fatores causais das emissões, fazendo assim com que sejam realizadas ações efetivas para tratamento das causas raízes.

A incidência de ventos mostrou-se um fator preponderante à emissão de particulados. Existe um padrão de incidência de ventos, que tem relação direta com o padrão de emissões. Entretanto, em virtude da alta variabilidade dos ventos incidentes, é imprescindível permitir ao operador das usinas a alteração dos patamares de dosagem de água na etapa de empilhamento.

A automatização do processo de adição de água na fase de empilhamento é fundamental para garantir as alterações de vazão de água e minimizar os esforços operacionais. Desta forma, proporciona uma melhor umidificação das pelotas, minimizando assim o consumo de água aplicando ainda uma dosagem maior de água nos horários de maior incidência de ventos, que demandam condições mais controladas para inibição da emissão de particulados.

A adoção dos patamares diferenciados no ponto de aplicação de água do empilhamento proporcionou uma redução de 24,6% no consumo de água, passando de 1,16% da produção no primeiro quadrimestre de 2018 para 0,87% em junho, após a entrada das lógicas no sistema de automação. Essa redução percentual significa para esses dois pontos cerca de R\$230.000 reais por ano. Essa mesma ação foi replicada em junho de 2018 para outros três locais nas usinas de Pelotização de Tubarão.

Gráfico 08: Consumo específico de água nas usinas 5 a 7 no primeiro semestre de 2018.



Ventos com velocidade inferior a 2 m/s geralmente não criam condições para a emissão de particulados. Foi observado que **com** essa nova política de dosagem de água no empilhamento, discriminando períodos do dia não comprometeu os níveis de emissão.

Com velocidades de vento superior a 2 m/s no horário de meio dia às dezoito horas, faixa mais sensível de ocorrência de emissões, observa-se uma redução de 45,5%, no número de eventos de emissão na torre localizada nas proximidades do ponto de aplicação da solução de água e inibidor de particulado.

## REFERÊNCIAS

- 1 Turpin, C., Harion, J.-L., Numerical modeling of flow structures over various flat-topped stockpiles height: Implications on dust emissions, Atmospheric, 2009, Environment, 43 (35), pp. 5579-5587.
- 2 X.C.Cong, S.L.YangS.Q.CaoZ.L.ChenM.X.DaiS.T.Peng, Effect of aggregate stockpile configuration and layout on dust emissions in an open yard, Applied Mathematical Modelling, Volume 36, Issue 11, November 2012, Pages 5482-5491
- 3 EPA, AP-42: Compilation of Air Emissions Factors, site: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>, Chapter 11 – Mineral Product Industry, acessoem 20/06/2018.