

# AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO CONSUMO DE RESÍDUOS SOBRE A EFICIÊNCIA DE CAPTAÇÃO DO PRECIPITADOR ELETROSTÁTICO PRIMÁRIO DA SINTERIZAÇÃO#4 DA CSN<sup>1</sup>

*Maxwell Pereira Cangani<sup>2</sup>  
Araldo Ledig Aguiar Silva<sup>3</sup>  
Nara Souza Portes Bandeira<sup>4</sup>  
Sebastião Simões Berthoud Filho<sup>5</sup>  
José Simões Berthoud<sup>6</sup>*

## **Resumo**

A Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES e a empresa K4-Automação desenvolveram, através de Convênio de Cooperação Técnica e Econômica, projeto de P&D para avaliar a influência do consumo de diversos resíduos siderúrgicos sobre a eficiência de captação do Precipitador Eletrostático Primário da Sinterização 4 da CSN. Amostras de pó captadas no interior de cada semi-campo do Precipitador Eletrostático da Sinterização 4 foram coletadas, caracterizadas laboratorialmente e submetidas a simulações no Precipitador Eletrostático Piloto da UFES para estudo de diagnóstico.

**Palavras-chave:** Resíduos siderúrgicos; Precipitador eletrostático; Sinterização.

## **EVALUATION OF THE INFLUENCE OF CONSUMPTION WASTE ON THE EFFICIENCY OF ELECTROSTATIC PRECIPITATOR PRIMARY CATCHMENT OF SINTER PLANT # 4 CSN**

## **Abstract**

The Companhia Siderúrgica Nacional - CSN, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES and company K4-Automação developed through of Technical and Economic Cooperation, project R&D to evaluate the influence of the consumption of various waste steel on the capture efficiency of the Precipitator Electrostatic Primary 4 Sintering of CSN. Dust samples captured within each semi-field Electrostatic Precipitator Sintering of 4 were collected, characterized and subjected to laboratory simulations of UFES Pilot Electrostatic Precipitator for diagnostic study.

**Keywords:** Waste steel plant; Electrostatic precipitator; Sintering.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro de Desenvolvimento Sênior – Gerência de Processos da Metalurgia – CSN.*

<sup>3</sup> *Coordenador de Projetos Especiais – Gerência de Processos da Metalurgia – CSN.*

<sup>4</sup> *Engenheira de Manutenção Plena – Gerência de Sinterização – CSN.*

<sup>5</sup> *Gerente Geral – K4 Automação Ltda.*

<sup>6</sup> *Professor Doutor do LabPrec-K4 – Universidade Federal do Espírito Santo – UFES.*

# 1 INTRODUÇÃO

O entendimento da influência qualitativa e quantitativa do consumo de resíduos siderúrgicos sólidos sobre a eficiência de captação dos Precipitadores Eletrostáticos Primários (PEP) é complexo e motivou o estudo para conhecimento e correlação das propriedades de cada um dos resíduos com a eficiência de captação de pó no PEP. No interior de um Precipitador Eletrostático ocorrem dois fenômenos localizados que contribuem para perda de eficiência de captação de pó,<sup>(1)</sup> conforme Figura 1.

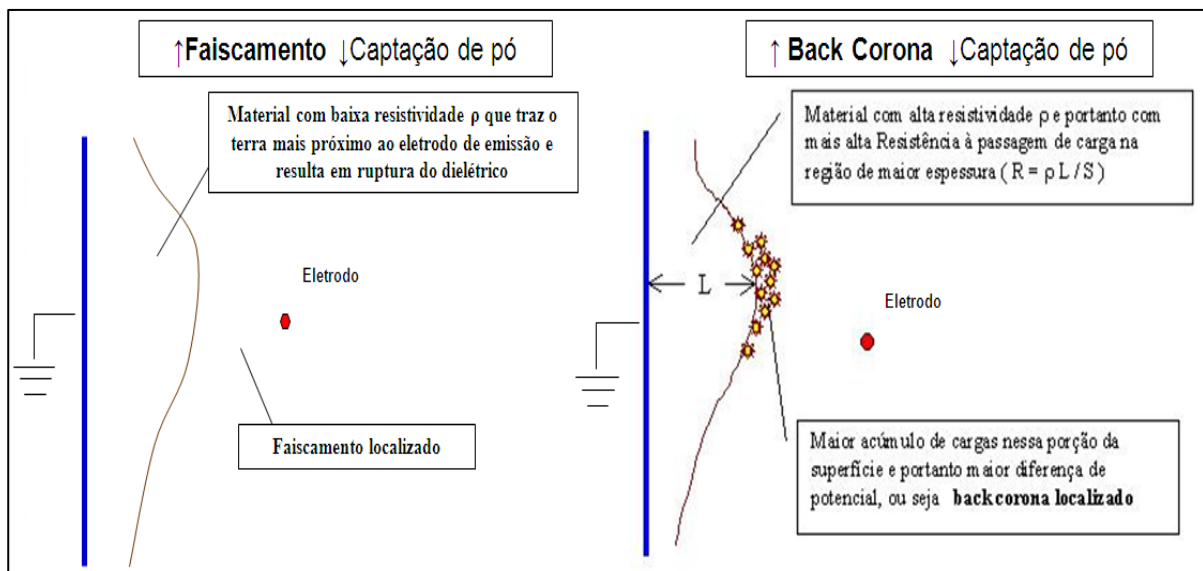


Figura 1: Representação esquemática do Faiscamento e Back Corona localizados.<sup>(1)</sup>

O pó captado no interior de um PEP pode ser classificado como de baixa, normal e alta resistividade, conforme Tabela 1.

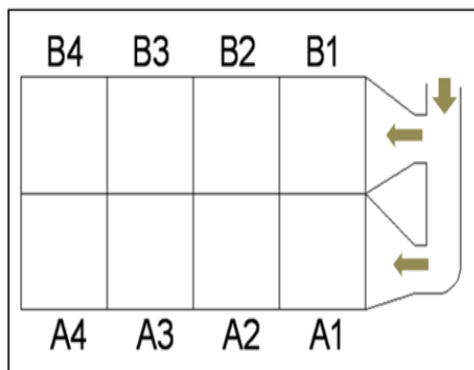
Tabela 1: Classificação da resistividade em função do seu valor

Resistividade	Faixa de Valores
Baixa (Faiscamento)	$10^4$ a $10^7$ Ohm x cm
Normal	$10^7$ a $10^{10}$ Ohm x cm
Alta (Back Corona)	$10^{10}$ a $10^{14}$ Ohm x cm

No presente trabalho foram avaliadas a resistividade, densidade aparente, pH, fração < 100  $\mu\text{m}$  de cada um dos resíduos consumidos na Sinterização#4 da CSN, bem como o Perfil de Coleta e Parametrização Assistida no Precipitador Eletrostático Piloto do LabPrec-K4 instalado no campus da UFES.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram feitas sete amostragens de pó do PEP da Sinterização#4 da CSN, em cada uma delas foi coletado pó por semi-campo (Figura 2), pó de cada uma das câmaras (Mix A e Mix B).



(2a)



(2b)



(2c)

**Figura 2:** Vista superior (2a), ponto de coleta de amostra (2b) e vista lateral do Precipitador Eletrostático Primário da Sinterização#4 da CSN (2c).

Para cada uma das sete amostragens de pó do PEP, foi feita a variação da quantidade e tipo de resíduo na Mistura à Sinterizar, conforme tabela 2.

**Tabela 2:** Participação dos resíduos (% peso) na mistura à sinterizar para as coletas 1 a 7

Resíduos	Percentuais de Resíduos na Mistura à Sinterizar						
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>
Cales do PIC	0,10	0,06	0,00	0,06	0,06	0,03	0,06
Carepa de laminação	1,00	1,00	1,00	1,30	1,00	1,00	1,50
Concentrado do Alto-Forno	0,70	0,00	0,00	0,53	0,50	0,26	0,54
Finos de Sinter Degradado	8,00	9,45	7,58	4,16	8,01	8,00	8,01
Rejeitos da Sinter	0,80	0,67	0,00	0,73	0,60	0,32	0,95
Lama da ETEQ	0,30	0,23	0,00	0,13	0,13	0,07	0,14
Óxido de Ferro Sintético	0,10	0,08	0,00	0,03	0,02	0,01	0,03
Pó de Coletor do AF	1,00	1,00	0,26	1,00	0,80	0,80	0,80
Rejeitos do PMP	0,60	0,63	0,00	0,43	0,65	0,34	0,88
<b>Soma (% na mistura)</b>	<b>12,60</b>	<b>13,12</b>	<b>8,84</b>	<b>8,37</b>	<b>11,77</b>	<b>10,83</b>	<b>12,91</b>

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análises dos Resíduos Utilizados na Mistura à Sinterizar

O impacto sobre o desempenho do PEP resultante da inserção individual ou combinada de cada um dos resíduos foi avaliado considerando-se as propriedades dos resíduos e as propriedades do particulado coletado. Foi realizada a análise de todos os resíduos inseridos no processo, listados na Tabela 3.

**Tabela 3:** Resultados laboratoriais para os resíduos utilizados no processo

Resíduos	Densidade aparente	Resistividade (Ohm x cm)	Granulometria (%<100µm)	pH
Cales do PIC	1,60	$2,8 \times 10^{13}$	81	12,2
Carepa de laminação	1,27	$7,4 \times 10^4$	14	7,4
Concentrado do Alto-Forno	1,13	$4,0 \times 10^5$	44	8,9
Finos de Sinter Degradado	0,94	$2,1 \times 10^5$	11	9,7
Rejeitos da Sinter	2,04	$7,3 \times 10^5$	33	8,7
Lama ETEQ	2,06	$3,3 \times 10^{12}$	20	6,8
Oxido de ferro sintético	2,05	$8,0 \times 10^8$	27	3,5
Pó de coletor do AF	0,62	$1,2 \times 10^5$	21	7,7
Rejeitos do PMP	0,67	$4,0 \times 10^9$	19	6,8

Com relação à resistividade, consideram-se os resíduos com resistividade inferior a  $10^7$  (Ohm x cm) como de baixa resistividade (contribuem para o faiscamento),<sup>(2)</sup> são inclusos nesta classe: Carepa de laminação, Concentrado do Alto-Forno, Finos de Sinter Degradado, Rejeitos da Sinter e Pó de Coletor do AF. No caso dos resíduos com resistividade entre  $10^7$  e  $10^{10}$  (Ohm x cm) a resistividade é considerada normal, enquadram-se nesta classe os resíduos: Óxido de Ferro Sintético e Rejeitos do PMP. Valores de resistividades acima de  $10^{10}$  (Ohm x cm) são considerados de alta resistividade, enquadram-se nesta classe os resíduos: Lama da ETEQ e Cales do PIC (contribuem para o Back Corona).<sup>(2)</sup>

A granulometria influencia significativamente na coleta de particulado realizada pelo PEP. Os materiais com menores diâmetros apresentam maior dificuldade de coleta, pois tem menor área superficial e conseqüentemente menor capacidade de reter cargas em sua superfície.<sup>(1)</sup> Os ensaios de granulometria indicam que os resíduos: Cales do PIC, Concentrado do Alto-Forno, Rejeitos da Sinter, apresentaram mais de 30% de sua massa com material com diâmetros inferiores a 100µm. Por outro lado, os resíduos com distribuição granulométrica deslocada para maiores diâmetros foram: Finos de Sinter Degradado, Carepa de laminação e Rejeitos do PMP. Estes resíduos apresentaram percentual inferior a 20% de sua massa com diâmetros de partículas inferiores a 100 µm. Materiais de maior granulometria e associados à baixa densidade aparente podem provocar intensificação nos acúmulos localizados, pois não sedimentam.<sup>(1)</sup>

Os resíduos com o pH muito ácido ou muito básico, podem resultar em um ambiente corrosivo no interior do PEP, favorecendo o desgaste das placas de coleta e sistemas de batimento. Os resíduos com caráter mais básico foram: Cales do PIC (12,2) e Finos de Sinter Degradado (9,7). O resíduo com caráter mais ácido foi o Óxido de Ferro Sintético (3,5).

Considerando todas as coletas realizadas, os resíduos que representam uma maior utilização no processo foram os Finos de Sinter Degradado e Carepa de laminação.

Estes resíduos com maior percentual na mistura à sinterizar apresentam maior influência na operação do PEP, a coleta destes resíduos na placa do PEP facilita a passagem de elétrons da camada de poeira. Assim, à medida que a espessura da camada de poeira aumenta o potencial nulo se aproxima do eletrodo, a ponto de romper o dielétrico do ar podendo gerar um faiscamento (Figura 1).

Logo, a baixa resistividade destes resíduos pode influenciar na manutenção do nível de tensão definido pela parametrização do Sistema de Controle Automático do PE.

As coletas em que houve uma maior utilização de resíduos, considerando o percentual total de resíduos utilizados foram a 2ª Coleta (13,12%) e a 7ª Coleta (12,91%). A terceira coleta foi a que apresentou o menor percentual de resíduos inseridos no processo (8,84%).

### 3.2 Análises do Pó do PEP por Semi-campo e Misturado (Mix A e Mix B)

A Tabela 4, mostra os resultados laboratoriais do pó do PEP amostrado por semi-campo referente à quarta coleta, as mesmas análises foram feitas para todas as coletas, da primeira a sétima. Nota-se a presença de material mais pesado e menos resistivo nos semi-campos A1 e B1. A Baixa resistividade nas amostras Mix A e Mix B e sua massa específica mais alta sugere a presença de materiais portadores do elemento ferro, sendo provavelmente coletados por sedimentação nos campos A1 e B1.

**Tabela 4:** Resultados laboratoriais das amostras de pó do PEP por semi-campo e Mix (quarta coleta)

Amostra	Densidade aparente	Resistividade (Ohm x cm)	Granulometria (%<100µm)	Tamanho médio (mm)
Mix A	1,54	$2,8 \times 10^6$	71	62,9
A1	1,79	$3,5 \times 10^6$	72	64,2
A2	1,56	$5,3 \times 10^{11}$	88	44,0
A3	0,83	$3,9 \times 10^{14}$	96	30,4
A4	0,86	$7,0 \times 10^{14}$	68	43,8
Mix B	1,99	$1,4 \times 10^6$	44	117,5
B1	2,01	$9,7 \times 10^5$	51	104,5
B2	1,66	$2,3 \times 10^6$	80	49,6
B3	1,25	$2,0 \times 10^{13}$	88	46,5
B4	0,71	$1,7 \times 10^{15}$	87	33,1

### 3.3 Efeitos Específicos do Consumo de Resíduos no Desempenho do PEP da Sinterização#4 da CSN.

#### 3.3.1 Caso 1 - Favorável

Quando comparamos a quarta com a quinta coleta quanto ao consumo de Finos de Sinter Degradado (tabela 5a), podemos observar que na quinta coleta de pó do PEP o consumo de Finos de Sinter Degradado na mistura à sinterizar foi 3,85 % em peso superior à quarta coleta, favorecendo a redução da resistividade do pó captado considerando que os Finos de Sinter Degradado possuem baixa resistividade (tabela 5b). Na proporção em que os resíduos foram consumidos na quarta coleta, houve maior tendência do Efeito Back Corona, constatado pelos baixos valores de tensão média dos transformadores dos semi-campos do PEP da Sinterização#4 da quarta coleta quando comparados com a quinta coleta (tabela 5c).

**Tabela 5:** Dados de um caso favorável do efeito do consumo de resíduos sobre a eficiência de captação de pó no PEP da Sinterização#4 da CSN

Resíduo	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>
Finos de Sinter Degradado (% p)	8,00	9,45	7,58	4,16	8,01	8,00	8,01

Resíduo	Densidade Aparente	Resistividade (Ohm x cm)	Granulometria (%<100µm)	pH
Finos de Sinter Degradado	0,94	2,1 x 10 <sup>5</sup>	11	9,7

Tensão média dos transformadores (kV)		
Campo	4 <sup>a</sup> Coleta	5 <sup>a</sup> Coleta
A1	63,90	79,34
A2	51,12	67,47
A3	45,73	67,10
A4	38,62	67,14
B1	77,24	76,47
B2	59,42	69,92
B3	44,55	62,54
B4	41,74	60,98

### 3.3.2 Caso 2 – Desfavorável (Faiscamento)

Comparando os dados da sexta com a sétima coleta quanto aos consumos de Carepa de laminação, Concentrado do Alto-Forno e Rejeitos da Sinter (Tabela 6b), podemos observar que houve uma maior participação desses resíduos na sétima coleta. Como a Carepa de laminação, Concentrado do Alto-Forno e Rejeitos da Sinter possuem baixa resistividade (Tabela 6a), houve uma piora na tensão média dos transformadores (Tabela 6c) e consequente aumento da taxa de faisamento (Tabela 6d).

**Tabela 6:** Dados de um caso desfavorável do efeito do consumo de resíduos sobre a eficiência de captação de pó no PEP da Sinterização#4 da CSN

Resíduos	Densidade aparente	Resistividade (Ohm x cm)	Granulometria (%<100µm)	pH
Carepa de laminação	1,27	7,4 x 10 <sup>4</sup>	14	7,4
Concentrado do Alto-Forno	1,13	4,0 x 10 <sup>5</sup>	44	8,9
Rejeitos da Sinter	2,04	7,3 x 10 <sup>5</sup>	33	8,7

Resíduos	% Mistura a Sinterizar	
	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>
Cales do PIC	0,03	0,06
Carepa de laminação	1,00	1,50
Concentrado do Alto-Forno	0,26	0,54
Finos de Sinter Degradado	8,00	8,01
Rejeitos da Sinter	0,32	0,95
Lama ETEQ	0,07	0,14
Óxido de Ferro Sintético	0,01	0,03
Pó de Coletor	0,80	0,80
Rejeito da GOP	0,34	0,88



Tensão média transformadores (kV)		
Campo	6ª Coleta	7ª Coleta
A1	78,39	74,83
A2	68,07	59,49
A3	60,06	67,25
A4	43,89	55,61

Taxa de Faiscamento (Sparks/min)		
Campo	6ª Coleta	7ª Coleta
A1	43	82
A2	21	141
A3	0	53
A4	0	72

### 3.4 Parametrização Assistida

Não há na literatura técnica nenhum tipo de metodologia para parametrização de Precipitadores Eletrostáticos (PE), o que motivou a K4-Labprec no desenvolvimento de um procedimento próprio descrito a seguir.

As tensões nos Campos 1, 2, 3 e 4 de um PE devem ser definidas caso a caso.<sup>(1)</sup>

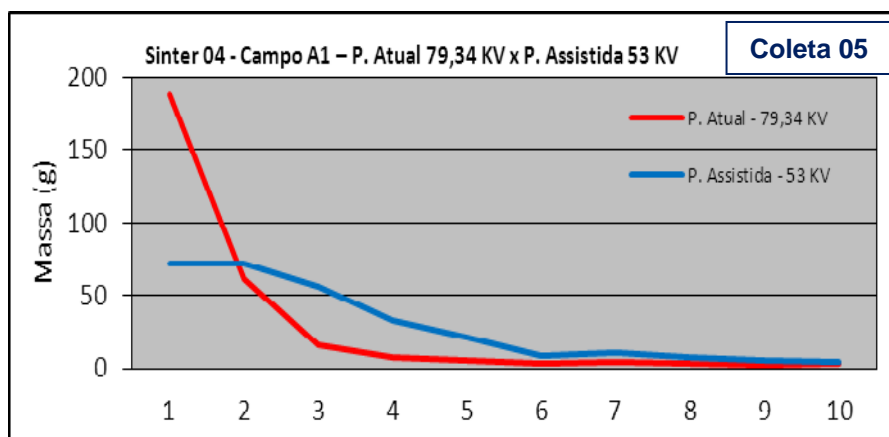
A primeira tentativa de parametrização normal em escala industrial é via de regra, operar com o maior nível de tensão possível.<sup>(1)</sup> Como o Campo 1 (primeiro campo) trata o material em maior concentração é ali que se inicia a parametrização, enfoque esse sem o uso de conceitos de estratificação e investigação de acúmulos localizados no interior do PE.

Como a obtenção dos perfis de coleta internos do PE só pode ser realizada em um Precipitador Eletrostático Piloto (Canal de Diagnóstico – figura 3), a partir desse ponto passa-se a se referir à Parametrização Assistida pelo Canal de Diagnóstico, que tem como objetivo alcançar os melhores níveis de tensão possíveis de tal forma que não haja acúmulos localizados de pó que aumentam a incidência do faiscamento e Back Corona no interior do PE.

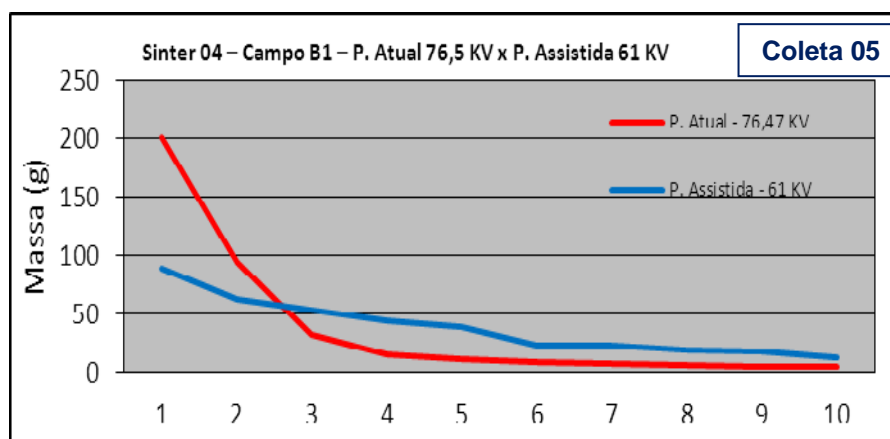


**Figura 3:** Precipitador Eletrostático Piloto (Canal de Diagnóstico) da K4-Labprec instalado na UFES.

As Figuras 4 e 5 mostram os resultados de coleta de pó por eletrodo ao longo do Canal de Diagnóstico referentes à quinta amostragem de pó do PEP da Sinterização#4 da CSN. As simulações no Canal de Diagnóstico foram feitas com as tensões que estavam sendo usadas nos semi-campos A1 e B1 no dia da amostragem de pó do PEP (Parametrização Atual) e comparadas com as tensões sugeridas na Parametrização Assistida.



**Figura 4:** Comparativo do perfil de coleta de pó por eletrodo da P. Atual e P. Assistida – 5º coleta - semi-campo A1.



**Figura 5:** Comparativo do perfil de coleta de pó por eletrodo da P. Atual e P. Assistida – 5º coleta - semi-campo B1.

A partir das Figuras 4 e 5, podemos observar que a redistribuição da massa coletada para os eletrodos finais do corredor do Canal Diagnóstico é uma consequência da redução provocada no pico de coleta existente no eletrodo 01. No ponto onde ocorre o pico de coleta surgem problemas de faiscamento ou Back Corona, sendo necessário o batimento precoce para limpeza das placas. Assim, a redução de tensão proposta na Parametrização Assistida promove esta desejada redução no pico de coleta permitindo uma parametrização com maiores intervalos de batimentos e melhor redistribuição de massa de pó coletada nos eletrodos.

### 3.5 Sugestão de Parametrização Assistida pelo Canal de Diagnóstico

Com base na redistribuição observada nos perfis de coleta de massa das sete amostragens e nos critérios de parametrização de Precipitadores Eletrostáticos, foi proposta a Parametrização Assistida da Tabela 7 para o Precipitador Eletrostático Primário da Sinterização#4 da CSN.



**Tabela 7:** Sugestão de Parametrização Assistida pelo Canal Diagnóstico para o PEP da Sinterização#4 da CSN

<b>Semi-Campos</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>
Tensão (kV)	63	68	72	79
Δ tempo de batimento (min)	15	25	35	50
<b>Semi-Campos</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>
Tensão (kV)	63	68	72	79
Δ tempo de batimento (min)	10	25	35	50

Como pode ser observado na Tabela 7, a redução de tensão proposta para os semi-campos A1 e B1 é acompanhada de um aumento no intervalo de batimento dos martelos do PEP. No semi-campo B1 onde foi observado o maior tamanho médio de partícula (tabela 4) comparado ao semi-campo A1, adotou-se um intervalo de tempo de batimento dos martelos inferior ao do semi-campo A1. Esta diferença no intervalo de tempo de batimento compensa a variação existente na granulometria do material particulado nos semi-campos A1 e B1. Quanto à taxa de faiscamento (sparks/min), recomenda-se a parametrização do PE de maneira a minimizar a taxa de faiscamento em todos os campos. A situação desejável seria utilizar uma parametrização com taxa de faiscamento nula em todos os semi-campos do PE, evitando reingresso de massa coletada nas placas.

#### **4 CONCLUSÕES**

Para a combinação e proporção que os resíduos siderúrgicos são consumidos na mistura à sinterizar da Sinterização#4 da CSN (tabela 2), não houve relação direta entre emissão de particulado para atmosfera ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) e consumo de resíduos. Os níveis de emissão de particulado ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) estiveram abaixo dos valores permissíveis não havendo necessidade de alteração qualitativa e quantitativa do consumo de resíduos na Sinterização#4 da CSN.

#### **REFERÊNCIAS**

- 1 BERTHOUD, J. S.; BERTHOUD, S. S. F.; Relatório final de diagnóstico do Precipitador Eletrostático Primário – Sinter#4 – CSN.
- 2 BERTHOUD, J. S.; BERTHOUD, S. S. F.; Relatório N° 1 - Diagnóstico do Precipitador Eletrostático Primário – Sinter#4 – CSN.