

Cinturão Verde:

Sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço

Aureliano Nogueira da Costa
(Organizador)



 **Atena**
Editora
Ano 2022

Cinturão Verde:

Sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço

Aureliano Nogueira da Costa
(Organizador)



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

ArcelorMittal, arquivos internos

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás



Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas



Cinturão verde: sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço

Diagramação: Natália Sandrini de Azevedo
Correção: Bruno Oliveira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Aureliano Nogueira da Costa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C575 Cinturão verde: sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço / Organizador Aureliano Nogueira da Costa. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0002-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.028223003>

1. Reserva da Biosfera do Cinturão Verde (São Paulo, SP). 2. Aço. 3. Sustentabilidade. I. Costa, Aureliano Nogueira da (Organizador). II. Título.

CDD 333.7098161

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.





GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO
*Secretaria da Agricultura,
Abastecimento, Aquicultura e Pesca*



ArcelorMittal

EQUIPE DE PESQUISA

Ações desenvolvidas no projeto **Cinturão Verde** para avaliar o desempenho de espécies florestais nativas e exóticas do Bioma Mata Atlântica, como quebra-ventos arbóreos em pátios de estocagem de carvão e minério, comparado com ambiente com baixo estresse abiótico, deram subsídio para a elaboração desta publicação.

Pesquisadores do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) e profissionais que prestam serviços à Fundação de Desenvolvimento e Inovação Agro Socioambiental do Espírito Santo (Fundagres Inovar), da ArcelorMittal e de outras instituições parceiras estão inseridos na equipe de autoria desta publicação.

Entretanto, para a condução dos trabalhos de pesquisa, específicos do projeto, enalteçemos e destacamos a participação dos profissionais que contribuíram diretamente para o sucesso deste trabalho e conseqüentemente, para a publicação desta obra:

Aureliano Nogueira da Costa - Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador do Incaper.

Bernardo Enne Corrêa da Silva – Biólogo, Especialista em Gestão Ambiental, Gerente de Sustentabilidade e meio Ambiente da ArcelorMittal Tubarão.

Pedro Luís Pereira Teixeira de Carvalho - Engenheiro Florestal, Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas, Gerente de Agroecologia e Produção Vegetal da SEAG.

Adelaide de Fátima Santana da Costa - Engenheira Agrônoma, Doutora em Fitotecnia, Pesquisadora do Incaper.

Diolina Moura Silva - Bióloga, Doutora em Fisiologia Vegetal, Professora da UFES.

Fabio Favarato Nogueira - Engenheiro Florestal, Pesquisador Bolsista da Fundagres Inovar.

Roberta Cristina Cotta Duarte Conde - Engenheira Agrônoma e Bióloga, Pesquisadora Bolsista da Fundagres Inovar.

Marco Aurélio de Abreu Bortolini - Engenheiro Ambiental, Especialista em Educação Ambiental e Sustentabilidade, Pesquisador Bolsista da Fundagres Inovar.

Charles Falk -Tecnólogo de Nível Superior em Saneamento Ambiental, MBA em Gestão Ambiental, Pesquisador Bolsista da Fundagres Inovar.

Letícia Pereira Rocha - Engenheira de Produção, Pesquisadora Bolsista da Fundagres Inovar.

PREFÁCIO

A história do Cinturão Verde da ArcelorMittal Tubarão teve início nos primórdios da produção de aço na então Companhia Siderúrgica de Tubarão, a qual entrou em operação em 1983. O Cinturão Verde nasceu a partir de um viveiro de mudas, idealizado para produzir espécies florestais heterogêneas que seriam destinadas ao plantio na antiga área de pastagens de animais que deu origem a essa importante siderúrgica.

As mudas foram plantadas pelos empregados que apoiaram a iniciativa de recomposição verde na área industrial para criar uma barreira natural de redução da velocidade dos ventos nos pátios de estocagem, além de trazer maior embelezamento, sombreamento e melhoria da qualidade de vida. O resultado desse trabalho pode ser visto hoje em uma extensa e variada área verde que abriga inúmeras espécies da fauna e flora, com cerca de 2,6 milhões de árvores plantadas. Seu legado é considerado um ativo ambiental de referência em cobertura verde e biodiversidade na Grande Vitória, motivo de grande orgulho para a Empresa!

Para garantir a contínua evolução desse arrojado trabalho, a empresa firmou o que é considerada uma das mais importantes parcerias público-privadas para o desenvolvimento de ações estratégicas de pesquisa, desenvolvimento e inovação nas áreas de silvicultura e meio ambiente do Estado do Espírito Santo: o **Projeto Cinturão Verde**. Projeto esse realizado entre a ArcelorMittal e o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), autarquia ligada à Secretaria de Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca (Seag), que foi concebido para desenvolver pesquisas que identifiquem as melhores espécies (e combinações entre elas) para plantio na área, gerando não só uma eficiente barreira, mas também todos os benefícios atrelados à área verde.

Preservar e gerir os recursos naturais de forma eficiente e responsável faz parte das 10 diretrizes do desenvolvimento sustentável da ArcelorMittal, que tem o compromisso com as gerações futuras de produzir um aço sustentável.

Esta publicação traz os resultados desse intenso trabalho e almeja servir como importante fonte bibliográfica para estudantes, profissionais e demais interessados na área de meio ambiente.

Bernardo Enne Corrêa da Silva - ArcelorMittal Tubarão

APRESENTAÇÃO

Os Cinturões Verdes, quebra-ventos ou *windbreaks* são considerados sistemas agroflorestais lineares de árvores e arbustos, dispostos em direção perpendicular aos ventos dominantes, que coadunam tecnologia, inovação e sustentabilidade em prol do meio ambiente.

Em regiões com incidência de ventos muito fortes e grande perda da umidade do solo, o Cinturão Verde pode contribuir para a manutenção dessa umidade e redução da temperatura, o que propicia condições favoráveis à biodiversidade, além de reduzir a erosão provocada pelo impacto da chuva no solo. Têm sido também utilizados, pelo setor industrial, como barreira de redução da velocidade dos ventos, para minimizar o potencial de arraste de partículas em pátios de estocagem de insumos. A escolha das espécies mais adequadas, quanto à adaptabilidade às condições edafoclimáticas locais, é o passo inicial para o sucesso de sua implantação.

Esta obra, intitulada ***Cinturão Verde: sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço***, apresenta resultados de pesquisas realizadas com o intuito de identificar as espécies agronômicas e florestais para a composição de quebra-ventos, em ambiente industrial, na ArcelorMittal Tubarão. Para maior eficácia, foi realizado um estudo comparativo entre o desenvolvimento das plantas em ambiente industrial, diretamente influenciado pela ação antrópica, e em ambiente livre de ação antrópica, em condições naturais de Mata Atlântica.

Nos diferentes capítulos desta publicação, são apresentados os trabalhos de avaliação da capacidade das espécies em suportar as variações nas condições ambientais e sua adaptação à presença de materiais particulados, destacando-se as respostas ao manejo de solo e sua interferência nas características física e química; disponibilidade de nutrientes e recomendação de adubação; presença de matéria orgânica; monitoramento de metais pesados; respostas aos tratamentos culturais; análises dendrométricas, qualitativas e de sobrevivência; comportamento fisiológico, como também retenção de materiais particulados pelo dossel vegetativo.

Agradecemos aos autores pela contribuição para o sucesso desta obra.

Aureliano Nogueira da Costa – Incaper / Fundagres Inovar

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ORIGEM E APLICAÇÃO DE QUEBRA-VENTOS

Aureliano Nogueira da Costa
Cesar Junio de Oliveira Santana
Adelaide de Fátima Santana da Costa
Pedro Luís Pereira Teixeira de Carvalho
Maria da Penha Padovan
Letícia Pereira Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230031>

CAPÍTULO 2..... 20

CINTURÃO VERDE DA ARCELORMITTAL TUBARÃO

Bernardo Enne Corrêa da Silva
João Bosco Reis da Silva
Ramon Melo Gonçalves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230032>

CAPÍTULO 3..... 35

ESTUDOS DE EFICIÊNCIA DE CONTROLE DO CINTURÃO VERDE

Bernardo Enne Corrêa da Silva
João Bosco Reis da Silva
Guilherme Corrêa Abreu
Luciana Corrêa Magalhães

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.028223003>

CAPÍTULO 4..... 43

ESPÉCIES ARBÓREAS PARA INSTALAÇÃO DE QUEBRA-VENTOS

Aureliano Nogueira da Costa
Reynaldo Campos Santana
Cesar Junio de Oliveira Santana
Israel Marinho Pereira
Pedro Luís Pereira Teixeira de Carvalho
Charles Falk

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230034>

CAPÍTULO 5..... 53

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA ADAPTAÇÃO DE ESPÉCIES AGRONÔMICAS E FLORESTAIS COMO QUEBRA-VENTOS EM AMBIENTES SIDERÚRGICOS

Aureliano Nogueira da Costa
Pedro Luís Pereira Teixeira de Carvalho
Adelaide de Fátima Santana da Costa
Diolina Moura Silva

Bernardo Enne Corrêa da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230035>

CAPÍTULO 6..... 69

FERTILIDADE DE SOLOS DE CINTURÃO VERDE EM AMBIENTES INDUSTRIAIS

Aureliano Nogueira da Costa
Bernardo Enne Corrêa da Silva
Rogério Carvalho Guarçoni
Adelaide de Fátima Santana da Costa
Marco Aurélio de Abreu Bortolini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230036>

CAPÍTULO 7..... 87

DIAGNOSE FOLIAR E NUTRIÇÃO DE ESPÉCIES AGROFLORESTAIS CONDUZIDAS EM CINTURÃO VERDE

Aureliano Nogueira da Costa
Bernardo Enne Corrêa da Silva
Rogério Carvalho Guarçoni
Fabio Favarato Nogueira
Roberta Cristina Cotta Duarte Conde

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230037>

CAPÍTULO 8..... 124

AVALIAÇÕES DENDROMÉTRICAS DE ESPÉCIES AGROFLORESTAIS EM CINTURÃO VERDE

Pedro Luís Pereira Teixeira de Carvalho
Bernardo Enne Corrêa da Silva
Fabio Favarato Nogueira
Aureliano Nogueira da Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230038>

CAPÍTULO 9..... 134

EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA DE ESPÉCIES AGROFLORESTAIS UTILIZADAS COMO CINTURÃO VERDE EM AMBIENTES SIDERÚRGICOS

Diolina Moura Silva
Thaís Araujo dos Santos
Xismênia Soares Silva Gasparini
Pedro Mazzocco Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230039>

CAPÍTULO 10..... 152

RETENÇÃO DE MATERIAIS PARTICULADOS PELO CINTURÃO VERDE NOS PÁTIOS DE MINÉRIO E CARVÃO DA ARCELORMITTAL TUBARÃO: ESTUDO DE CASO

Aureliano Nogueira da Costa

Charles Falk
Letícia Pereira Rocha
Marco Aurélio de Abreu Bortolini
Roberta Cristina Cotta Duarte Conde
Adelaide de Fátima Santana da Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02822300310>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 162

SOBRE OS AUTORES 163

Data de aceite: 08/02/2022

Bernardo Enne Corrêa da Silva

João Bosco Reis da Silva

Guilherme Corrêa Abreu

Luciana Corrêa Magalhães

1 | INTRODUÇÃO

O Cinturão Verde possui como uma de suas funções a atuação como barreira quebra de vento, realizando a redução da velocidade dos ventos nas áreas de pátios de estocagem, com consequente diminuição do arraste de partículas das pilhas de materiais estocados.

De forma a medir sua eficiência e orientar ações de melhoria, vários estudos técnicos foram realizados desde a década de 90, nos principais pátios da ArcelorMittal Tubarão, utilizando-se metodologias científicas de referência internacional para avaliação da efetiva redução das emissões de material particulado nessas áreas.

2 | EVOLUÇÃO DOS ESTUDOS

A partir de 2010, com o desenvolvimento de tecnologias computacionais, novos estudos foram realizados utilizando-se ferramentas avançadas de modelagem, conhecidas como

Computational Fluid Dynamics (CFD), as quais simulam fluxos de ar em instalações com aplicação em avaliações na dispersão de partículas (Figura 1).

Esses estudos foram desenvolvidos pela ArcelorMittal Tubarão em parceria com o instituto de pesquisa americano *Midwest Research Institute* (MRI), referência internacional neste campo de pesquisa, com o intuito de modelar os pátios de estocagem de Minério e Carvão da ArcelorMittal Tubarão.

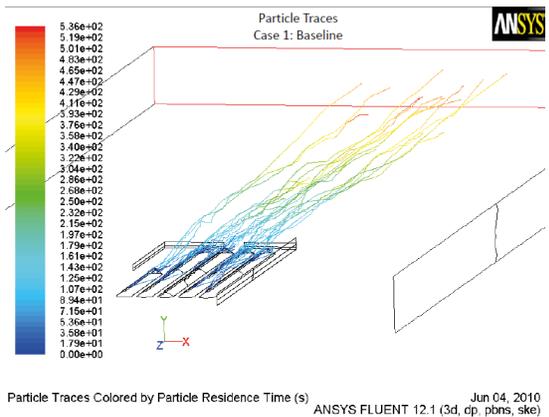


Figura 1 - Exemplo de Imagem de Simulação CFD no Pátio de Carvão.

Fonte: O Autor.

No início da década de 90, a fim de desempenhar papel semelhante ao Cinturão Verde em locais que, por questões climáticas ou operacionais, impediam a formação de área

verde, uma nova tecnologia, denominada *Wind Fence*, começou a ser avaliada para atender à função de quebra-vento. Essa tecnologia é composta por uma estrutura metálica fechada por telas de polipropileno, cujo tamanho varia conforme a altura das pilhas de materiais estocadas nos pátios (Figura 2).



Figura 2 – Wind Fence instalada na área da Coqueria Heat Recovery.

Fonte: O Autor.

Essa barreira alternativa foi implantada em 2011 no pátio de carvão de uma das unidades operacionais da ArcelorMittal, com resultados positivos.

Para melhor entendimento dos resultados alcançados com a implantação da *Wind Fence* no Pátio de Carvão da ArcelorMittal Tubarão, serão apresentados, a seguir, a metodologia utilizada e os resultados alcançados de 2010 a 2014.

3 | METODOLOGIA

De forma a comparar a eficiência das barreiras quebra-vento, foram realizados estudos utilizando-se a metodologia de modelagem *Computational Fluids Dynamics* (CFD), a qual simula fluxos de ar em instalações, com aplicação na avaliação da dispersão de partículas.

Utilizando-se a ferramenta CFD, realizou-se um estudo comparativo da eficiência de utilização do cinturão verde e da *Wind Fence* na redução da velocidade dos ventos que incidem nos pátios de minério e carvão da ArcelorMittal Tubarão.

Foi simulada a dispersão de material particulado dividido nas frações de Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Partículas Inferiores a 10 Micras (PM10). A simulação levou também em consideração os outros mecanismos de controles operacionais existentes nas unidades, como por exemplo, o sistema de aspersão de água em pilhas de materiais.

Destaca-se que, além dos controles citados, a empresa iniciou, em 2015, a aplicação de polímeros nas pilhas conjuntamente com a água de aspersão, criando, desse modo, uma capa de proteção para o arraste eólico.

Dessa forma, além do Cinturão Verde, esses estudos levam em consideração uma série de informações, como:

- a. Localização geográfica e área total dos pátios.
- b. Influência de construções e barreiras físicas na área de entorno.
- c. Altura e porosidade das barreiras quebra-vento (Cinturão Verde e *Wind Fence*).
- d. Intensidade e direções de ventos de maior ocorrência.
- e. Tipo de material estocado e granulometria.
- f. Posição de estocagem das pilhas nos pátios.
- g. Dinâmica de manuseio dos materiais.
- h. Levantamento de fatores de emissão das atividades de manuseio.
- i. Controles adicionais aplicados (como por exemplo a aspersão de água ou aplicação de polímeros).

Para o desenvolvimento do estudo, foram definidos três casos de comparação de barreiras quebra-vento, avaliando-se a eficiência de controle de cada uma nas situações com operação dos sistemas de aspersão de água dos pátios e sem sistemas de aspersão do pátio.

O Caso 1 representa a situação original do pátio de carvão, em 2010, sendo que os cinturões verdes presentes no pátio foram simulados como barreiras vegetais para redução da velocidade dos ventos.

Já o Caso 2 avaliou o aumento da redução do vento pela vegetação, por meio de modelagem, utilizando simulação na criação de aterros (taludes) para plantio de árvores e arbustos, no sentido de enriquecer o cinturão verde já existente no pátio de carvão.

Por fim, no Caso 3, foi feita a simulação de instalação de *Wind Fence* no contorno do pátio de carvão em forma de “U” e, assim, realizada a modelagem computacional. A *Wind Fence* foi considerada uniformemente porosa em 47% ao longo de toda a sua altura de 23 m (altura equivalente a 1,5 vezes a altura das pilhas de carvão, segundo observado na caracterização do pátio)

Para o estudo de modelagem pela MRI, foi considerada a porosidade de 47% da *Wind Fence*, conforme o estabelecido pelos fabricantes da tela.

Para a elaboração dos cenários de modelamento, foram utilizados novos fatores de emissão de material particulado, medidos em campo, para as operações de empilhamento de materiais, recuperação dos materiais nos pátios (remoção) para envio aos processos.

Para a realização dos testes, duas técnicas de medição de emissões foram aplicadas em conformidade com o tipo de fonte: o Método do Túnel de Vento Portátil e o Método do Perfil de Exposição.

O **Método do Túnel de Vento Portátil** permite a determinação precisa do potencial de erosão do vento em uma superfície erodível, como material estocado em pilhas (Figura 3).

O método do túnel do vento se baseia na técnica do balanço da massa para o cálculo das taxas de emissão. Trata-se de uma técnica que prevê resultados precisos para o estudo do processo de erosão pelo vento sobre superfícies específicas de testes, contemplando uma faixa de velocidades do vento. Estudos prévios de erosão pelo vento, realizados pelo MRI utilizando este método, com o seu túnel de vento, conduziram aos fatores de emissão recomendados pela US EPA (1985).



Figura 3 - Túnel de Vento Portátil em operação.

Fonte: O Autor.

O **Método do Perfil de Exposição** (*Exposure Profiling Method*) pode ser aplicado a uma grande variedade de fontes de emissões antropogênicas de poeira (causadas por atividades humanas), principalmente para identificação dos fatores de emissão para atividades de manuseio de matérias-primas (material granulado).

A técnica de perfil de exposição para testes em fontes abertas de emissão de

material particulado é baseada no conceito do perfil isocinético, que é utilizado nas medições convencionais de chaminés. A passagem de poluente transportado pelo vento imediatamente à jusante da fonte é medida diretamente através da amostragem simultânea em múltiplos pontos distribuídos na seção normal da pluma de poeira proveniente da fonte aberta. Essa técnica usa o esquema de medição de fluxo de massa similar ao Método 5 da EPA de testes de chaminés, em vez de utilizar o cálculo indireto da taxa de emissão, através da aplicação de modelos genéricos de dispersão atmosférica (Figura 4).

Em relação à barreira quebra-vento, pelo fato de o potencial de erosão ser uma função da velocidade do vento, é possível rapidamente traduzir a redução da velocidade do vento por meio do uso de cinturão verde (ou outros sistemas de controle por barreira), numa equivalente eficiência para o controle de erosão.



Figura 4 - Técnica de medição de perfil de exposição.

Fonte: O Autor.

Essa caracterização é baseada em medições simultâneas do vento numa altura de referência num ponto (1) à jusante (em relação ao sentido de ocorrência do vento) do cinturão verde e num ponto (2) numa área próxima sem influência do cinturão verde (por exemplo, a montante ou ao lado do cinturão verde).

Anemômetros de hélice são posicionados nessas duas localizações (pontos de medição 1 e 2) e três medições simultâneas do vento são realizadas com durações de 10

minutos cada uma. Desta forma, tem-se o efeito de redução da velocidade do vento, à jusante do cinturão verde, como uma função da distância à tal barreira verde. Analogamente, pode-se aplicar o mesmo princípio de medição simultânea da velocidade do vento a montante e à jusante de cinturões verdes (ou outras barreiras porosas) para determinar o perfil do vento em função de diferentes alturas, bastando, para tanto, localizar os anemômetros à jusante em uma mesma distância, mas em diferentes alturas.

4 | RESULTADOS ALCANÇADOS

De acordo com os estudos de modelagem, o Cinturão Verde adicional e a *Wind Fence*, apresentaram resultados semelhantes no controle de emissões de material particulado. A utilização do sistema aspersão em conjunto com o Cinturão Verde adicional ou com a *Wind Fence* apresenta-se mais eficiente no controle de erosão por vento do que no controle das emissões do material manuseado (Tabelas 1 e 2).

O Cinturão Verde adicional indica maior controle da erosão por vento do que a *Wind Fence* em formato de U. Para as emissões de manuseio de material, uma *Wind Fence* proporciona uma melhoria ligeiramente melhor sobre o caso base (Caso 1) para todos os tipos de partículas.

		Caso 1.	Caso 2.	Caso 3.
		Linha de Referência	Cinturão Verde Adicional	<i>Wind Fence</i>
Sem Aspersão de Água	MPT	43%	37%	52%
	PM ₁₀	36%	30%	46%
Com Aspersão de Água	MPT	71%	70%	76%
	PM ₁₀	68%	65%	73%

Valores baseados na fração média de captura para todos os Pátios de Carvão.

Tabela 1 - Estimativa de eficiência de controle de material manuseado.

Fonte: O Autor.

Os valores para 10 e 30 μm foram usados para PM₁₀ e MPT, respectivamente.

	Caso 1. Linha de Referência	Caso 2. Cinturão Verde Adicional	Caso 3. Wind Fence
Sem aspersão de água ^a			
MPT	0%	95%	76%
PM₁₀	0%	95%	74%
Dias esperados ^b	49	11	27
Com aspersão de água ^c			
MPT	80%	99%	96%
PM₁₀	81%	99%	96%
Dias esperados ^b	14	1	6

^a Estimativa baseada na proporção máxima.

^b Número de dias por ano esperados para que o vento de rajada exceda o limite de 15,5 milhas por hora (velocidade de escape).

^c Baseado em um aumento de 22% na velocidade de escape.

Tabela 2 - Estimativa de eficiência de controle da erosão eólica.

Fonte: O Autor.

Para as emissões de manuseio de material, uma *Wind Fence* proporciona uma ligeira melhoria sobre o caso base (cenário 1) para todos os tipos de partículas. Para as características específicas do pátio de minérios da ArcelorMittal Tubarão, os Cinturões Verdes melhorados promoverão melhor controle de emissão de material particulado oriundo de operações de manuseio que uma *Wind Fence*.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As melhorias no Cinturão Verde vêm sendo realizadas desde 2010, demonstrando significativa melhoria nos controles, superando as expectativas de incremento na redução de arraste de partículas.

Além do crescimento e enriquecimento da barreira verde no entorno, novos controles foram adicionados na operação dos pátios de Minério e Carvão, contando atualmente com o uso de polímeros adicionados conjuntamente com a água utilizada na aspersão. Este polímero possui a capacidade de criar uma capa protetora nas pilhas de materiais, dessa forma aumentando ainda mais a redução de arraste de partículas pela ação dos ventos ou manuseio da matéria-prima.

Para avaliação técnica da adição dos novos controles, aliada ao enriquecimento do Cinturão Verde, novos estudos estão previstos para serem desenvolvidos.

Após os resultados dos estudos de modelagem comparativa entre a eficiência da *Wind Fence* e o enriquecimento do cinturão verde no controle do arraste de material das pilhas de estocagem de minério e carvão, a ArcelorMittal optou pela tomada de decisão do

desenvolvimento e enriquecimento de seu cinturão verde, sendo os frutos desses trabalhos observados, a seguir, nos capítulos deste livro.

REFERÊNCIAS

CEPEMAR – Serviços de Consultoria em Meio Ambiente Ltda. **Inventário de emissões fugitivas para o pátio de carvão**. Vitória: ArcelorMittal Tubarão. Mar. 2011. 42 p. (Relatório Técnico: COM RT 203/10).

NOWAK, D. J.; NOBLE, M. H.; SISINNI, S. M.; DWYER, J. F. People and trees: Assessing the US Urban Forest Resource. **Journal of Forestry**, v. 99, n. 3, p. 37 - 42, 2001.

US EPA – **Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emission Factors**. v. 2. Mobile Sources (AP-42). Fourth Edition. Research Triangle Park, NC: US EPA, 1985.

SOBRE OS AUTORES

ADELAIDE DE FÁTIMA SANTANA DA COSTA- Engenheira Agrônoma, Doutora em Fitotecnia, Pesquisadora do Incaper. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/0095551253223381>

AURELIANO NOGUEIRA DA COSTA- Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador do Incaper. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/0286550882565992>

BERNARDO ENNE CORRÊA DA SILVA- Biólogo, Especialista em Gestão Ambiental, Gerente de Sustentabilidade e Meio Ambiente - ArcelorMittal Tubarão. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/6134491231055828>

CESAR JUNIO DE OLIVEIRA SANTANA- Engenheiro Florestal, Doutor em Engenharia Florestal - Manejo Florestal Remsoft Integrator Technology, REMSOFT. Canadá
<http://lattes.cnpq.br/5101276943283128>

CHARLES FALK- Tecnólogo de nível superior em Saneamento Ambiental, MBA em Gestão Ambiental, Pesquisador-bolsista da Fundagres Inovar. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/4513341962615510>

DIOLINA MOURA SILVA- Bióloga, Doutora em Fisiologia Vegetal, Professora da UFES. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/0341541450627705>

FABIO FAVARATO NOGUEIRA- Engenheiro Florestal, Pesquisador-bolsista da Fundagres Inovar. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/5763251948745059>

GUILHERME CORRÊA ABREU - Engenheiro Industrial Mecânico, Doutor em Engenharia Mecânica, Gerente Geral de Relações Institucionais de Sustentabilidade - ArcelorMittal Brasil. Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/7644840213741072>

ISRAEL MARINHO PEREIRA- Engenheiro Florestal, Doutor em Engenharia Florestal, Professor da UFVJM Diamantina – MG
<http://lattes.cnpq.br/4731214583033664>

JOÃO BOSCO REIS DA SILVA- Engenheiro Mecânico, MBA Gestão de Negócios e Especializações em Gestão Ambiental e Qualidade e Produtividade. Gerente Geral de Sustentabilidade e Relações Institucionais - ArcelorMittal Tubarão. Vitória - ES

LETICIA PEREIRA ROCHA- Engenheira de Produção, Pesquisadora-bolsista da Fundagres Inovar. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/9345301196430200>

LUCIANA CORRÊA MAGALHÃES- Engenheira Metalurgista, Mestre em Engenharia Mecânica, Gerente de Meio Ambiente e Coprodutos ArcelorMittal Aços Longos Brasil – Industrial, Metálicos e Comercial. Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/2630964884982007>

MARIA DA PENHA PADOVAN- Bióloga, Doutora em Sistemas Agroflorestais, Agente de Desenvolvimento Rural do Incaper. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/1491523303247538>

MARCO AURÉLIO DE ABREU BORTOLINI- Engenheiro Ambiental, Especialista em Educação Ambiental e Sustentabilidade, Pesquisador-bolsista da Fundagres Inovar. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/7058579783181610>

PEDRO LUÍS PEREIRA TEIXEIRA DE CARVALHO- Engenheiro Florestal, Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas, Gerente de Agroecologia e Produção Vegetal - SEAG. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/5151792967632926>

PEDRO MAZZOCCO PEREIRA- Biólogo, Doutor em Biologia Vegetal - UFES. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/4312892719856159>

RAMON MELO GONÇALVES- Especialista em Patologia da Construção Civil – ArcelorMittal Tubarão. Vitória – ES

REYNALDO CAMPOS SANTANA- Engenheiro Florestal, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pós-Doutor pela University of Florida/UF, Professor da UFVJM . Diamantina - MG
<http://lattes.cnpq.br/3588575605488750>

ROBERTA CRISTINA COTTA DUARTE CONDE- Engenheira Agrônoma e Bióloga, Pesquisadora-bolsista da Fundagres Inovar. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/672469855829620>

ROGÉRIO CARVALHO GUARÇONI- Engenheiro Agrícola, Doutor em Produção Vegetal, Pesquisador do Incaper. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/2239890092242136>

THAÍS ARAUJO DOS SANTOS- Bióloga, Doutora em Biologia Vegetal, Pós-doutoranda em Biologia Vegetal - UFES. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/1391606489278570>

XISMÊNIA SOARES SILVA GASPARINI- Bióloga, Mestre em Biologia Vegetal, Doutoranda em Biologia Vegetal - UFES. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/1150395422533450>

Cinturão Verde:

Sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br



Cinturão Verde:

Sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

