

Cinturão Verde:

Sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço

Aureliano Nogueira da Costa
(Organizador)



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

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

que a turbulência chegue à superfície do solo (CLEUGH et al., 2002).

Os primeiros quebra-ventos foram plantados na Escócia, no século XVII, e foram disseminados por toda a Europa e Ásia ainda no século XIX (GUYOT, 1963). No Brasil, essa prática teve início na década de 70, seguindo a recomendação do Instituto Brasileiro do Café (IBC) para utilização em regiões propícias para o plantio do cafeeiro, porém sujeitas à incidência de ventos fortes (BAGGIO, 1983).

Os sistemas agroflorestais ganharam popularidade nos Estados Unidos, para o uso de quebra-ventos, a partir da década 1930, quando ocorreram fenômenos climáticos distintos, com prolongados períodos de baixa precipitação e tempestades de areia. Foram utilizados para minimizar o efeito da incidência de ventos com maiores velocidades, que provocavam grande erosão do solo.

De 1930 a 1942, o *Civilian Conservation Corps* (CCC) foi o mais popular dos programas do *New Deal* (programas implementados para recuperar e reformatar a economia norte-americana) criado pelo presidente Franklin Delano Roosevelt, que colocou cerca de dois milhões de jovens para trabalhar em um programa nacional de construção de parques e florestas das Américas, com o plantio de mais de 3 milhões de árvores. Entre as prioridades estavam as atividades relacionadas ao desenvolvimento

1 | INTRODUÇÃO

Os quebra-ventos são plantios de árvores que podem ser formados por combinações entre diversas espécies visando à redução da velocidade dos ventos para diferentes propósitos. São muitos os princípios envolvidos nessa importante tecnologia, mas, no Brasil, poucos estudos têm sido focados nessa questão, diferentemente de outros países onde pesquisadores têm se dedicado a avaliar e descrever os aspectos aerodinâmicos, os critérios mínimos de racionalidade e a maximização dos benefícios (LEAL, 1986).

A permeabilidade do quebra-vento é de extrema importância por determinar a extensão da obstrução do fluxo de ar e a redução da energia cinética do vento. Essa permeabilidade possibilita filtrar e reduzir o fluxo de ar a uma distância relativamente longa, até

de práticas naturais para a conservação do solo, por meio do uso de espécies florestais, com foco na redução do grave problema da erosão, provocado pela força eólica, existente naquela época, despertando, assim, o interesse por essa prática.

2 | AÇÃO DO VENTO

A diferença de gradiente de pressão atmosférica gera o deslocamento do ar, ou seja, origina os ventos. Esses, partindo de zonas de maior para as de menor pressão, sofrem influências também do movimento de rotação da terra, da força centrífuga ao seu movimento, bem como da topografia e conseqüentemente do atrito com a superfície terrestre (TUBELIS; NASCIMENTO, 1984).

O vento de superfície, responsável pela movimentação horizontal do ar, ocorre devido à diferença de temperatura e pressão entre as áreas distintas. Para se conhecer as características da ocorrência de ventos em determinada região são necessários levantamentos de informações através de boletins climatológicos gerados por meio de coleta de dados nas estações climatológicas locais, gerenciadas por instituições credenciadas em nível estadual e/ou nacional. Normalmente as estações climatológicas armazenam os dados referentes à velocidade, à direção, à força e à frequência de calma. Quando a região não possui tais informações, é preciso buscá-las com a comunidade local, tornando possível adquirir conhecimento sobre o histórico dessa região, a fim de balizar as tomadas de decisões, até que se tenha acesso a dados mais consolidados.

Para se orientar sobre a direção dos ventos, tomam-se como referência os pontos cardeais: Norte (N), Sul (S), Leste (L), Oeste (W), Nordeste (NE), Noroeste (NW), Sudeste (SE) e Sudoeste (SW).

Na avaliação da direção dos ventos, utilizam-se duas denominações distintas: a barlavento, que é a direção de onde sopram os ventos, e a sotavento, a direção para onde os ventos se deslocam (TUBELIS; NASCIMENTO, 1980).

A designação do vento se baseia no ponto cardinal a barlavento. A forma mais adequada para a identificação da direção predominante do vento é a utilização da média de uma série histórica de medição climatológica dos dados da região, a qual indicará a maior percentagem de ocorrência desse fenômeno meteorológico durante as épocas do ano. O tipo de relevo tem também efeito direto na direção do vento. Entretanto, podem ocorrer ventos de alta velocidade, que não seguem essa tendência.

As velocidades médias do vento estão relacionadas, além da posição geográfica, com a altitude do local. Quando o vento encontra uma planta, parte da sua energia é transferida, e dessa interação resulta a chamada ação mecânica do vento (VOLPE; SCHÖFFEL, 2001).

A Figura 1 apresenta um esboço do comportamento do vento no lado sotavento do quebra-vento.

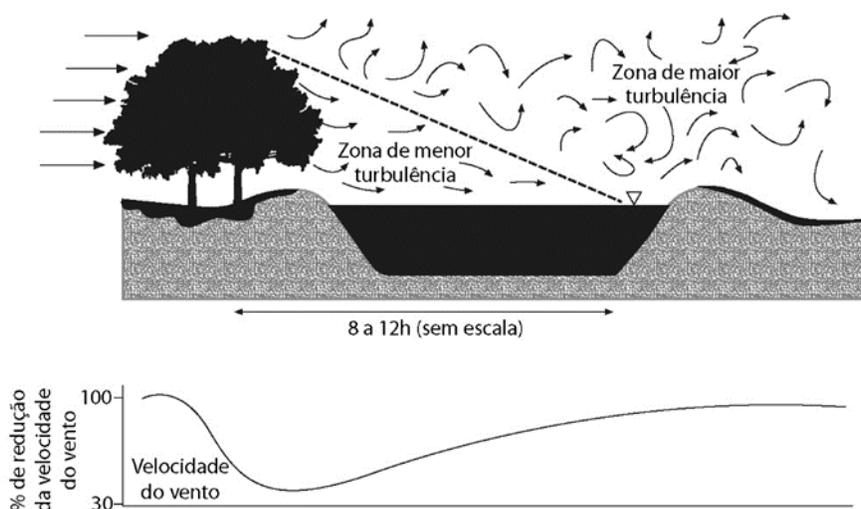


Figura 1 – Sistema de quebra-vento com destaque para as zonas de maior e menor turbulência no lado sotavento da barreira.

Fonte: HIPSEY, 2002, com adaptação.

O Estado do Espírito Santo está situado numa zona de predomínio da influência do centro de alta pressão Anticiclone Tropical do Atlântico Sul, resultando em acentuada ocorrência de ventos de quadrante leste e nordeste. Concomitantemente a esse mecanismo, agem as intermitentes incursões de massas polares – as frentes frias –, ocasionando em uma marcante sazonalidade. Esses mecanismos são as principais influências na escala sinótica da dinâmica atmosférica, as quais se combinam com os mecanismos de mesoescala, tais como as brisas marinhas, terrestres e lacustres, ventos montanha-vale, jatos noturnos e outros. Em geral, os ventos mais intensos ocorrem nos meses de primavera, de setembro a novembro, e os mais brandos, nos meses de final de outubro e início de inverno, de abril a junho (AMARANTE; SILVA; ANDRADE, 2009).

3 | BENEFÍCIOS NO USO DOS QUEBRA-VENTOS

O vento é uma das variáveis meteorológicas mais importantes e menos estudadas, sendo que na agricultura é conhecida a sua influência na aplicação de defensivos e em estudos voltados à propagação de doenças, polinização e práticas com quebra-vento (MUNHOZ; GARCIA, 2008).

Entretanto, a disseminação da informação sobre o uso de quebra-ventos na produção agrícola ainda é bastante restrita, mas os ganhos econômicos com a utilização dessa prática são inquestionáveis. De maneira generalizada, segundo Schöffel (2009), os ganhos de produtividade são de aproximadamente 25%, em relação a cultivos sem a utilização de quebra-ventos.

A utilização de quebra-ventos no setor agropecuário pode contribuir para a proteção do solo contra a erosão eólica, para a melhoria da conservação da umidade, da conservação da fauna, do manejo integrado de pragas, da preservação da paisagem, com maior conforto dos animais silvestres e pecuários, além do aumento na polinização das árvores silvestres e cultivadas, devido à maior incidência de insetos, sobretudo, de abelhas melíferas (FRANÇA; OLIVEIRA, 2010).

4 | QUEBRA-VENTOS ARBÓREOS E SUA INFLUÊNCIA NA REDUÇÃO DA VELOCIDADE DE ARRASTE DE MATERIAL PARTICULADO

Para a recuperação de áreas degradadas ao longo de ferrovias, de reservatórios de água, entre outros empreendimentos de importância para a melhoria da qualidade de vida da população inserida em uma sociedade, em consonância com a preservação do meio ambiente, são utilizadas técnicas de plantio de árvores, formando cinturões verdes, o que proporciona também o resgate da biodiversidade, contenção de erosão, redução da velocidade do vento, com recomposição paisagística (JESUS, 1992).

Em atividades que levam ao arraste de material particulado na atmosfera, a utilização de quebra-ventos pode minimizar esse efeito. Estudos têm sido realizados buscando-se viabilizar a utilização de quebra-ventos arbóreos para essa finalidade.

Para a garantia de uma barreira eficiente na redução da velocidade desse arraste de material particulado utilizando-se quebra-ventos arbóreos, é necessário um manejo constante, visto que um povoamento florestal, seja ele diverso ou não, sofre alterações ao longo do tempo, inerentes a cada indivíduo e às interações diversas do ecossistema. Entretanto, existe uma escassez de estudos científicos sobre a sensibilidade das espécies tropicais no que se refere à questão da poluição atmosférica (SILVA, 2003).

Os setores industriais de mineração e produção de aço, bem como as atividades agrícolas, têm sido destacados na literatura como os principais responsáveis pela contaminação do ar, do solo e da água por metais. Segundo Briat e Lebrun (1999), o conhecimento dos mecanismos que controlam a absorção, a distribuição e o acúmulo destes poluentes, bem como dos mecanismos envolvidos na resistência das plantas em níveis tóxicos, é de fundamental importância para a seleção e/ou melhoramento de plantas capazes de detectar e/ou desintoxicar áreas poluídas sem comprometimento dos sistemas biológicos.

Diversos tipos de indústrias emitem, para a atmosfera, material sólido particulado, constituído de materiais orgânicos, inorgânicos e biológicos. Este material particulado, cuja composição pode variar significativamente, dependendo da natureza dos materiais industrializados e da localização da fonte de emissão, pode afetar a vegetação diretamente, pela deposição na superfície foliar, ou indiretamente, pela deposição no solo, alterando suas propriedades químicas ou diminuindo a radiação que chega à superfície da terra (ALMEIDA, 1999; GRANTZ et al., 2003).

Dentre os elementos presentes no material particulado emitido pelas empresas do setor de produção de aço destaca-se o minério de ferro. O ferro é um micronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, mas quando em excesso pode induzir a produção e acúmulo em espécies reativas do oxigênio, causando estresse oxidativo e levando a uma redução do crescimento e, portanto, diminuição na produtividade das plantas (SILVA, 2003).

A toxidez de ferro normalmente não é problema na maioria dos solos brasileiros, com exceção em solos alagados ou em áreas em que o minério de ferro está sendo extraído e/ou recebendo beneficiamento (OTTAWAY, 1982). Essa toxidez de ferro ocorre geralmente quando o solo se encontra em condições redutoras, como em solos inundados. Nas plantas, os sintomas começam com o aparecimento de manchas marrons pequenas nas folhas, estendendo-se posteriormente a toda a folha.

Jucoski (2011), ao estudar a absorção, o acúmulo e a distribuição do ferro e seus efeitos sobre o metabolismo antioxidativo em plantas jovens de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.), submetidas a níveis tóxicos de ferro, observou que o crescimento de plantas jovens foi fortemente reduzido por níveis elevados de Fe no meio nutritivo, destacando que nas concentrações de 1,0 e 2,0 mM foi tóxico para as plantas, com o aparecimento de sintomas visuais típicos e que o tratamento em níveis elevados aumentou a absorção deste elemento, causando redução nos teores de P, Zn, Mn e Cu.

Neste mesmo estudo, aos 45 dias, na concentração de 2,0 mM, foram encontrados os maiores teores de Ferro nas raízes (1.316,7 mg kg⁻¹), folhas (229,5 mg kg⁻¹) e caules (103,8 mg kg⁻¹), respectivamente, valores em média, 2,4 vezes maiores do que nas plantas-controle.

5 I QUEBRA-VENTOS E SUA CONTRIBUIÇÃO NA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Perfis verticais de vegetação mantidos ou plantados para formar barreiras objetivando-se reduzir a velocidade do vento podem ter um valor fundamental na provisão de bens e serviços ambientais e na conservação da biodiversidade (ARNOLD, 1983; BRANDLE; HODGES; ZHOU, 2004).

O potencial para conservação da biodiversidade de espécies animais e vegetais está diretamente ligado à variabilidade na composição florística e com a estrutura do quebra-vento. De modo geral, à medida que aumenta a variabilidade, isto é, a diversificação na estrutura e composição das espécies de plantas e a complexidade do quebra-vento, maior é a viabilidade de fornecimento de alimento, proteção da fauna e aumento da proteção contra predadores (FOURNIER; LOUREAL, 2001).

Estudo sobre a incidência de mariposas em agropecuária na Costa Rica demonstrou que quebra-ventos muito estratificados apresentaram riqueza de espécies 32% maior quando comparada com a de quebra-ventos simples (LÓPEZ et al., 2006). Outro estudo na Austrália evidenciou que quebra-ventos com largura maior que 19 m tiveram diversidade e composição de espécies de aves mais próximos aos dos remanescentes florestais do entorno quando comparados com os de menor largura (KINROSS, 2004).

Estruturas mais complexas tendem a facilitar a formação de nichos ecológicos, os quais favorecem a reprodução e manutenção das espécies da fauna e da flora. Estruturas mais complexas favorecem também as interações entre as espécies e proporcionam serviços ambientais, como a polinização, por exemplo, com benefícios para os cultivos em áreas adjacentes.

Outro serviço ambiental proporcionado pela presença dos quebra-ventos é a maior efetividade do controle biológico de pragas e doenças, o que pode contribuir para a redução do uso de agroquímicos na propriedade rural. Estudo desenvolvido por Greenberg (1995) demonstrou que a presença de pássaros insetívoros foi responsável pela redução de 64% a 80% da incidência de pragas em cultivos agrícolas. Além disso, a barreira formada para contenção do vento influencia diretamente no deslocamento de pólenes, pragas e patógenos, que são comumente dispersados pelo vento e, desta forma, contribuem para minimizar contaminações nos cultivos agrícolas (CLEUGH, 1998).

Sendo estruturas lineares, os quebra-ventos podem atuar como corredores ecológicos, estabelecendo vias de acesso para a fauna até os demais fragmentos florestais remanescentes na paisagem favorecendo o fluxo gênico e a conservação de certas espécies de animais e vegetais (BENNETT, 1990). O valor de quebra-ventos para a conservação depende amplamente da sua diversidade estrutural e de espécies e será mais eficiente se as espécies vegetais utilizadas na formação do quebra-vento forem similares às áreas de floresta natural existentes no entorno (SREEKAR, 2013).

Quebra-ventos também contribuíram significativamente para a manutenção das espécies de aves nativas existentes nos fragmentos florestais do entorno, que consistiram em 63% do total de espécies da avifauna observada (KINROSS, 2004). Entretanto, quebra-ventos com vegetação nativa serviram como habitat e sítios de reprodução para diversas espécies de aves quando comparados com quebra-ventos com a utilização de *Eucalyptus*, que serviram apenas como lugar de transição e passagem (SCHROTH et al., 2004).

Além disso, quebra-ventos como atrativos para pássaros dispersores de sementes constituíram um mecanismo, ao mesmo tempo, facilitador e acelerador dos processos de regeneração natural em paisagens degradadas. Segundo Harvey (2000), a ação de pássaros, morcegos e pequenos mamíferos favoreceu a colonização por 119 novas espécies de plantas em um quebra-vento, das quais 40% não estavam presentes no entorno.

Quebra-ventos podem ser desenhados e manejados para prover lenha, madeira, frutos, resinas e outros produtos, enquanto continuam a cumprir com seu principal objetivo que é reduzir a ação dos ventos. A partir da seleção de espécies adequadas e de práticas de manejo intensivo, quebra-ventos podem integrar sistemas complexos e multifuncionais, como é o caso de sistemas agroflorestais (RAO et al., 1998; SCHALLER et al., 2003; PADOVAN et al., 2015) e contribuir para conservar a biodiversidade e, ao mesmo tempo, gerar produtos e renda com ampliação da sustentabilidade no meio rural.

6 | IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DE QUEBRA-VENTOS

A atuação dos quebra-ventos no ambiente ocorre primordialmente pela redução da velocidade do vento e exerce efeitos indiretos no sombreamento parcial pelo cultivo de diversas espécies e também na absorção de água e nutrientes do solo.

Para a implantação do quebra-vento, diversos fatores devem ser observados para o sucesso do empreendimento, sendo um dos mais importantes o conhecimento da direção dos ventos predominantes para orientar o planejamento e maximizar os benefícios dos quebra-ventos, que devem ser perpendiculares à direção dos ventos dominantes.

O correto dimensionamento dos quebra-ventos torna-se fundamental para a obtenção da máxima eficiência em sua utilização. Para dimensionar um quebra-vento, torna-se necessário conhecer a sua aerodinâmica, as alterações microclimáticas que este tenderá a promover e as interações com a área a ser protegida.

O uso de quebra-ventos pode reduzir a velocidade dos ventos e promover alterações no microclima, interferindo na evapotranspiração, na evaporação da água, na temperatura e umidade atmosférica, na umidade do solo, no escoamento superficial da água, na temperatura e umidade do solo, além de melhorar as propriedades físicas e químicas desse solo.

Nuberg (1998) destacou a alteração no microclima e na dinâmica da água como efeitos diretos da implantação de quebra-ventos. Entretanto, o nível de alteração do microclima e de mudanças na trajetória da água vai depender de características como a altura, permeabilidade e orientação do quebra-vento na paisagem. A altura é tão importante que, para determinar a distância em relação ao quebra-vento, se convencionou utilizar a altura das árvores como referência de unidade de medida.

Diversos materiais podem ser utilizados como quebra-ventos, podendo ser

destacados cercas, telas e paliçadas, árvores, arbustos e capineiras altas. As principais limitações dos materiais inertes são atribuídas à disponibilidade, à durabilidade e aos custos de implantação e manutenção (CONCEIÇÃO, 1996). Assim, o cultivo de espécies florestais e espécies com fins econômicos ou culturas alimentares tem sido o mais recomendado.

A manutenção das árvores e arbustos é um aspecto importante, devendo-se utilizar as práticas de poda de formação e desramação, conforme indicado para cada espécie. Procura-se obter árvores que sejam bem formadas, não bifurcadas, com reduzido número de nós e de pequena dimensão, até uma altura de 6 a 8 m. Na talhadia, que consiste na poda das árvores, podem realizar-se cortes de modo a regular a densidade dos rebentos presentes. A manutenção, por meio de serras mecânicas, pode também ser recomendada para controlar o desenvolvimento lateral da cortina, a sua renovação no tempo, além das operações decorrentes das produções periódicas obtidas.

Independentemente do material a ser utilizado, diferentes aspectos devem ser levados em consideração para a implementação de quebra-ventos, sendo esses fundamentais e determinantes para o sucesso dessa prática:

Altura

A altura deve ser a máxima possível, pois a extensão da área protegida depende diretamente da altura, devendo ser homogênea ao longo de toda a extensão da barreira. Diversos trabalhos científicos analisando a altura dos quebra-ventos demonstraram que a redução da velocidade do vento é proporcional a essa altura, sendo assim, a altura influencia diretamente na distância efetiva a ser protegida pelo quebra-vento.

As árvores podem alcançar uma altura entre 12 a 40 m, consoante às espécies e condições ambientais, sendo fundamental que tais espécies sejam adaptadas ao ambiente em questão. As árvores em talhadia, resultante de rebentos de toíça, desenvolvem-se até uma altura de 5 a 12 m, já as espécies arbustivas podem alcançar uma altura de 2 a 5 m, conforme o tipo de arbusto.

Distância a ser protegida e entre as barreiras

A distância protegida, além de sofrer a influência direta da altura (VOLPE; SCHÖFFEL, 2001), também sofre influência da declividade do terreno, a qual pode intervir na proteção efetiva.

Finch (1988) estabeleceu a distância de influência de quebra-vento em função de sua altura e da declividade do terreno. Em um terreno plano (0% de declividade), a distância de influência é de 10 h. À medida que a declividade aumenta, a distância de influência é reduzida. A 30% de declividade, a distância de influência reduz para 2,5 h; em declividades superiores, a distância de influência é de 2,0 h (Tabela 1).

Declividade do terreno (%)	Distância de influência (h)
0	10,00h
5	6,65h
10	5,00h
15	4,00h
20	3,30h
25	2,85h
30	2,50h
>30	2,00h

Tabela 1 – Distância de influência em função da interação da altura do quebra-vento (h) com a declividade do terreno h = altura da cortina quebra-vento.

FINCH,1988, com adaptação.

A proporção entre a altura da barreira e a distância de proteção é minimizada à medida que a barreira se torna mais alta. Pavari (1961) observou que a distância de proteção de uma barreira de 25 m de altura foi praticamente a mesma de uma com 20 m. A sotavento da barreira (atrás da barreira, na área de proteção do quebra-vento) a extensão da proteção efetiva gira em torno de 15 ou 20 vezes a altura, enquanto a barlavento (distante da barreira, fora da área de proteção do quebra-vento) apenas de 2 a 5 h (CABORN, 1960).

A distância entre duas barreiras consecutivas deve estar entre 10 e 15 h (IBC, 1985), podendo dobrar esta distância quando os quebra-ventos forem dispostos em rede, sendo que as linhas paralelas ao vento podem distar entre si em até 1.000 a 2.000 m (RADVANVI, 1978).

Estudo realizado por Campi, Palumbo e Mastroilli (2009) demonstrou que na zona mais próxima ao quebra-vento (até 4,7 vezes a altura das árvores), a velocidade do vento chegou a ser reduzida de 15% a 62%. Essa variação ocorreu em função da intensidade e direção do vento, com conseqüente aumento da temperatura média que variou de 1° a 20°C. Observaram que o aumento de temperatura foi proporcional à limitação da velocidade do vento, sendo de até 9% quando o vento foi reduzido em 65%. No entanto, a temperatura não variou quando a redução da velocidade foi inferior a 41%. A umidade relativa do ar não sofreu grandes alterações pela utilização de quebra-ventos. Quando se avaliou uma área próxima da barreira em relação a uma área a 12,7 vezes a sua altura, a umidade relativa próxima à barreira foi superior em apenas 3%, enquanto a temperatura na mesma distância teve um aumento de 15%.

Comprimento

As barreiras relativamente curtas permitem a entrada do vento pelas laterais a uma maior velocidade. A instalação de barreira quebra-ventos, sempre que possível, deve ser realizada na direção perpendicular aos ventos predominantes na região. A dimensão adequada da barreira deve ser definida em função da relação do comprimento x altura.

Para a máxima eficiência, Staple e Lehane (1955), citados por Rollin (1983) e Motta (1976), destacaram como uma razão mínima a relação de 20:1 (comprimento: altura). O monitoramento das barreiras para evitar falhas ao longo de seu comprimento é fundamental para redução da velocidade do vento, uma vez que a canalização do vento nos locais de falhas pode aumentar a velocidade efetiva em até 20% do normal, fenômeno esse denominado de “efeito jato”. Uma alternativa para minimizar esse efeito é a utilização de barreiras em compartimentação, sistema esse considerado compensatório.

Densidade

A densidade é o número de linhas usadas no quebra-vento, o qual deve reduzir a velocidade do vento sem impedir o seu fluxo (CONCEIÇÃO, 1996). Dessa forma, a distribuição da porosidade é um fator importante. Alta porosidade do quebra-vento perto do solo tem a vantagem de permitir o fluxo de ar, prevenindo contra a formação de diferença de pressão, mas pode ter como desvantagem a baixa atenuação da velocidade do vento perto da superfície, imediatamente a sotavento. A turbulência do fluxo de ar incidente tem influência na eficácia do quebra-vento. Se as condições atmosféricas forem mais instáveis, a eficácia tende a decrescer (VOLPE; SCHÖFFEL, 2001).

Quebra-ventos com alta densidade apresentam grande eficiência imediatamente após a barreira, porém os medianamente densos, mesmo não tendo grande eficiência logo após a barreira, são mais efetivos a médias distâncias. Uma porosidade de 40% em ensaios com quebra-ventos artificiais, em túnel de vento, e em nível de campo, mostrou uma melhor eficiência para maiores áreas. Logo, quebra-ventos de estruturas vivas (árvores e arbustos) com média densidade, estrutura uniforme em toda sua altura e sem falhas, para não provocar afunilamento do vento, apresentam os melhores resultados (CABORN, 1960).

Essa densidade pode também variar no nível superior e inferior da barreira. Quando as árvores crescem, o nível inferior fica menos denso, modificando a ação dos quebra-ventos. Gorshenin (1941), citado por Caborn (1960), verificou que, para a maioria dos casos, a densidade moderada em toda a altura é preferível.

Pavari (1961) reforçou essa indicação quando observou que quebra-ventos muito densos reduziram em 19% a velocidade do vento a uma distância 10h da barreira, enquanto os quebra-ventos medianamente densos reduziram a velocidade do vento em 38% à mesma distância. Para Rosenberg (1974), uma barreira densa protege a área a uma distância de 10 a 15 vezes a altura dessa barreira, enquanto o aumento da porosidade para 50% permite aumentar esta distância para 20 a 25 vezes a altura dos quebra-ventos. É importante destacar que essa porosidade depende da arquitetura das copas, do espaçamento entre as árvores e do número de fileiras.

Assim, é interessante que as barreiras formem malhas, já que, além de proteger todos os ângulos, a intensidade da proteção é maior, e a distância entre linhas pode ser

aumentada, pois quebra-ventos moderadamente densos reduzem a velocidade do vento sem causar turbulência, sendo mais eficientes a maior distância (Figura 2).

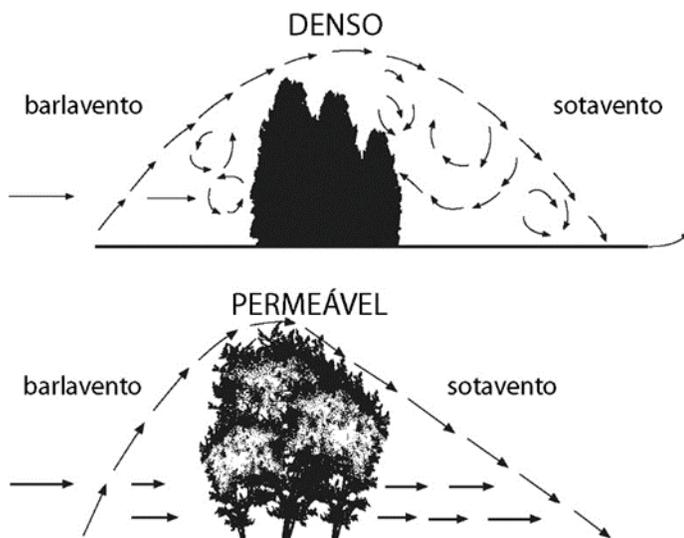


Figura 2 – Densidade do quebra-vento e sua influência na turbulência do vento.

Fonte: ROSENBERG, 1974, com adaptação.

A densidade influencia também a capacidade dos quebra-ventos em reduzir a evaporação, como demonstrado por Skidmore e Hagen (1970).

Espessura

Para a definição da espessura (largura) da faixa de uma barreira a ser utilizada com quebra-vento devem-se levar em consideração os aspectos econômicos e práticos (PAVARI, 1961), uma vez que a mesma parece não influenciar diretamente na penetrabilidade do vento, a não ser que tenha influência na permeabilidade (CABORN, 1960).

A tendência é de se utilizar um número reduzido de fileiras de árvores (variando de 1 a no máximo 3). Conforme Onyewotu (1983), um número maior de fileiras para a formação da barreira induz a uma menor eficiência de proteção. Entretanto, a utilização de uma só fileira de árvores pode comprometer a eficiência do quebra-vento, devido ao risco de mortalidade de plantas e consequente formação de falhas (READ, 1964). A utilização de fileiras duplas para o plantio pode minimizar a ocorrência dessas falhas.

Analisando-se a eficiência das barreiras que tiveram mortalidade de plantas, Tanaka et al. (1954), citados por George (1960), observaram um aumento de 20% na velocidade do vento em relação àquelas em que o *stand* estava completo.

Disposição perpendicular

O ângulo de incidência do vento no quebra-vento é também um fator que interfere na sua eficácia. É esperada uma proteção máxima para ventos perpendiculares e uma proteção mínima para ventos paralelos. Quebra-ventos implantados de forma incorreta podem maximizar os efeitos indesejáveis, não proporcionando as vantagens esperadas. A utilização de linhas perpendiculares à ação do vento tem sido a forma mais usual.

A orientação dos quebra-ventos deve ser em ângulo reto à direção predominante do vento, o que leva a uma maior extensão da área protegida. Se o vento for perpendicular ao quebra-vento maior será a distância protegida, a sotavento. A utilização dessa orientação poderá minimizar a quantidade de barreiras necessárias para proteger uma determinada área.

Velocidade e direção do vento

Há uma diferença importante na velocidade do vento a sotavento e a barlavento. À medida que a porosidade decresce, a velocidade mínima do vento a sotavento também decresce; no entanto, esse decréscimo varia com a distância do quebra-vento e também com a altura acima da superfície do solo. Quando um quebra-vento é muito denso, a velocidade do vento tende a ser similar a sotavento e a barlavento, em distâncias mais curtas do que em barreiras de densidade média, isto é, com maior porosidade. Essa alteração pode ser atribuída a uma diferença de pressão a sotavento, em quebra-vento denso, que força a descida do ar, aumenta a turbulência e, conseqüentemente, reduz a extensão da proteção.

Assim, a eficiência do quebra-vento para reduzir a velocidade do vento depende, principalmente, de sua permeabilidade, altura e orientação em relação ao vento dominante (HIPSEY, 2002; WILSON; JOSIAH, 2004; HEISLER; DEWALLE, 1988; BRANDLE; HODGES; ZHOU, 2004; FAO, 1989; BRANDLE; FINCH, 1991; CLEUGH, 1998; CLEUGH et al., 2002; WANG et al., 2001).

Atenção também deve ser dada à direção predominante do vento (MUNHOZ; GARCIA, 2008). Essa direção é bastante variável no tempo e no espaço, em função da situação geográfica do local, da rugosidade da superfície, do relevo, da vegetação e da época do ano (VENDRAMII, 1986). Segundo Martins (1993), o conhecimento da direção predominante dos ventos e velocidades médias que ocorrem num local fornece informações importantes para o posicionamento de quebra-ventos, orientações na construção de abrigos para animais, distribuição das diferentes culturas no campo e, principalmente, no posicionamento e dimensionamento das torres para a utilização desta fonte de energia natural. Silvia, Zanusso e Silveira (1997) realizaram estudos sobre direção e velocidade dos ventos em Pelotas-RS e verificaram que a direção predominante dos ventos varia com a estação do ano. Na primavera e no verão, a direção predominante é leste (E), no outono a direção é sudeste (SE) e de nordeste (NE) no inverno. Segundo estes autores,

em todas as estações do ano, há uma grande incidência de ventos de direção nordeste (NE). Trabalhos de Machado (1950) e Reis e Beriato (1972) mostraram que, para todas as regiões climáticas do Estado do Rio Grande do Sul, a direção predominante dos ventos é do quadrante leste: NE, E e SE. As velocidades médias mais elevadas ocorrem nos meses de primavera e as menores, no outono.

Galvani, Klosowski e Cunha (1999) observaram que a direção predominante de ventos diurnos em Maringá foi nordeste, e para noturnos, sudeste (de janeiro a maio e de outubro a dezembro) e a leste (de julho a setembro). Moreno (1961) constatou que a direção normal predominante para Santa Maria - RS é leste (E). Leste e sudeste também são as direções predominantes dos ventos em Piracicaba (WIENDLE; ANGELOCCI, 1995, citados por PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Composição e estrutura

A composição do quebra-vento é definida em função das espécies que serão utilizadas para a formação da barreira. Árvores e arbustos variados podem ser utilizados para dar uma forma mais racional à barreira levando-se em consideração as questões práticas e econômicas. Pode-se optar por árvores e arbustos de forma variada, entretanto alguns fatores também devem ser levados em consideração durante o processo de seleção das espécies, podendo destacar a sua adaptabilidade às condições edafoclimáticas do ambiente em questão. Além da adaptação às condições ambientais, as características da espécie também são importantes, tais como: resistência mecânica à ação do vento, densidade, altura das plantas, extensão da copa, competição e tolerância a pragas e doenças.

Alguns gêneros têm sobressaído para utilização como quebra-ventos em todo o mundo, destacando-se o *Pinus*, para solos arenosos; o *Eucalyptus*, nas regiões tropicais; o *Cupressus*, para proteção de pequenas áreas por serem muito densos; a *Grevillea*, muito utilizado no Brasil como quebra-vento para a cultura do café; *Ulmus*, para solos mais secos e *Casuarina* em regiões costeiras (DURIGAN; SIMÕES, 1987). A espécie australiana *Grevillea robusta* tem sido muito utilizada no Brasil por apresentar características anatômicas adequadas e alta plasticidade, adaptando-se bem a diferentes condições de clima, de relevo e de fertilidade do solo.

Leal (1986) destaca mais algumas espécies arbóreas e arbustivas perenes recomendadas para utilização em quebra-ventos: *Casuarina equisetifolia*, *Casuarina cunninghamiana*, *Leucaena leucocephala*, *Pinus* spp., *Persea* sp., *Mimosa scabrella*, *Polyscias paniculata*, *Dracena deremensis* e a *Hibiscus* spp.

A composição das barreiras pode influenciar na estrutura, que é a forma da seção transversal do quebra-vento, mas a disposição das espécies interfere diretamente nessa estrutura, inclusive quando se utiliza a mesma composição.

A utilização de árvores altas no centro da barreira, com árvores menores em suas laterais, obtendo-se a forma transversal de “V” invertido, foi recomendada por Caborn (1960). Trabalhos de Woodruff e Zing (1953), citados por Pavari (1961), já analisavam a eficácia dos quebra-ventos em função da variação de sua espessura e estrutura, em que observaram que a eficiência foi elevada pela estrutura racional e não pelo número de filas na barreira.

Dessa forma, as árvores da linha externa devem atingir alturas menores que as internas, de modo a influir na subida da corrente de ar. O plantio deve ter espaçamento de 3 a 4 m entre árvores e de 2 a 3 m entre fileiras, plantadas de forma alternada. O sub-bosque precisa ser mantido limpo para permitir a filtragem de parte da corrente de ar.

Existe uma tendência de utilização de sistemas em rede, onde as barreiras formam uma malha bastante eficiente na proteção contra os ventos. Neste caso, torna-se interessante utilizar as leguminosas arbóreas. Guimarães e Fonseca (1990) comentam que as espécies mais utilizadas na instalação de quebra-vento em regiões do cerrado têm sido a *Leucaena leucocephala*, o Jacarandá-da-baía (*Dalbergia nigra*), a *Albizia* (*Albizia lebbek*) e o Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*).

Sistemas de cortina quebra-vento

A definição para a cortina de árvores altas, árvores em talhadia e arbustos, levando-se em consideração os aspectos relacionados com a sua disposição, integração e propriedades particulares, vai possibilitar diversas soluções consoantes com os objetivos pretendidos. De forma a providenciar um efeito em zonas extensas poderá ser necessária a implementação de um sistema de cortinas dispostas num esquema de defesa múltiplo, em paralelo ou em compartimentação (VOLPE; SCHÖFFEL, 2001).

Nos sistemas de defesa em paralelo, são utilizadas barreiras paralelas entre si e perpendiculares aos ventos predominantes. Nesse esquema, a sua eficiência dependerá das características da barreira, das distâncias entre as barreiras e da direção dos ventos. Enquanto nos esquemas de defesa em paralelo os ventos predominantes devem ser perpendiculares, no sistema em compartimentação os ventos podem soprar em qualquer direção, o que contribui para a redução da área do quebra-vento sem comprometer sua proteção efetiva. Nesse caso, áreas remanescentes podem ser aproveitadas. A implementação de quebra-ventos em nível, para áreas mais inclinadas, tem um efeito positivo, podendo-se adicionar faixas secundárias para dar o efeito de compartimentação (PAVARI, 1961).

De um modo geral, a separação entre cortinas poderá, consoante os casos e proteção requerida, situar-se entre 10 e 20h. Assim, para uma cortina com uma altura funcional de 10 m, a próxima cortina, num esquema de defesa paralelo, poderá situar-se entre 100 e 200 m de distância.

A orientação das cortinas com propósito principal de proteção de áreas de cultivo é na direção Norte-Sul. A orientação Leste-Oeste pode também ser utilizada com cortinas de menor dimensão nas situações de compartimentação. Em terrenos situados em encostas, torna-se necessária a observação dos ventos dominantes, para buscar soluções mais pontuais de acordo com essa realidade.

7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As tecnologias para limitar a erosão eólica têm avançado nos últimos anos e a instalação de quebra-ventos passou a proporcionar, além do controle da intensidade do vento, serviços ambientais e mecanismos para a conservação da biodiversidade.

Na instalação de quebra-ventos, devem ser considerados e seguidos os diversos aspectos técnicos relacionados com uma adequada seleção de espécies, espaçamento inicial, método de preparo do solo e seleção de mudas. Os espaçamentos utilizados entre as plantas variam consoante as espécies e o tipo de quebra-vento, devendo-se considerar as situações particulares de constituição dos mesmos. De um modo geral, para as árvores de maior dimensão, recomendam-se espaçamentos de 3 a 8 m; para as árvores em talhadia, de 2 m e para os arbustos, de 1 m.

Os quebra-ventos, de maneira geral, promovem a redução na velocidade do vento em uma faixa que ultrapassa 2h a barlavento e 16h a sotavento, ou seja, 2 e 16 vezes a altura da barreira, respectivamente.

Quebra-ventos densos, pouco porosos, são eficientes na redução da velocidade do vento junto à barreira, mas a proteção se estende por uma distância relativamente curta. Por outro lado, quebra-ventos porosos fornecem menor redução na velocidade do vento junto à barreira, mas protegem as culturas por uma distância bem maior, comparativamente com os primeiros.

REFERÊNCIAS

AMARANTE, O. A. C. do; SILVA, F. de J. L. da; ANDRADE, P. E. P. de. **Atlas eólico**: Espírito Santo, Vitória: ASPE, 2009. 100 p.

ARNOLD, R. A. Ecological studies of six endangered butterflies (Lepidoptera, Lycaenidae): Island biogeography, patch dynamics, and the design of habitat preserves. **Univ. Calif. Pub. Entom.**, n. 99, p. 1 - 161.1983.

ALMEIDA, I. T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. 1999. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

BAGGIO, A. J. **Sistema agroflorestal grevilea x café**: início de nova era na agricultura paranaense? Curitiba, v. 9, p. 1 - 15, 1983. (Circular Técnica EMBRAPA/URPFCS).

BENNETT, A. F. **Habitat corridors: their role in wildlife management and conservation.** Victoria, Australia: Department of Conservation and Environment. 1990.

BRANDLE, J. R.; FINCH, S. **How Windbreaks Work, University of Nebraska Cooperative Extension** EC 91-1763-B. 1991.

BRANDLE, J. R.; HODGES L.; ZHOU X. H. Windbreaks in North American agricultural systems. **Agroforestry Systems**, v. 61, n. 62, p. 65 - 78, 2004.

BRIAT, J.F.; LEBRUN, M. Plant responses to metal toxicity. **C.R. Académie des Science**, v. 322, p. 43 - 54, 1999.

CABORN, J. M. The dependence of the shelter effect of shelterbelts on their structure. In: PROCEEDINGS OF WORLD FORESTRY CONGRESS, 5., **Proceedings ...**, Seattle, USA, 1960. p. 1662 - 1664.

CAMPI, P.; PALUMBO, A. D.; MASTRORILLI, M. Effects of tree windbreak on microclimate and wheat productivity in a Mediterranean environment. **European Journal of Agronomy**, v. 30, p. 220 - 227. 2009.

CLEUGH, H. A. Effects of windbreaks on airflow, microclimates and crop yields. **Agroforestry Systems**, v. 41, p. 55 - 84. 1998.

CLEUGH, H. A. Field measurements of windbreak effects on airflow, turbulent exchanges and microclimates. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 42, p. 665 - 677. 2002.

CLEUGH, H. A.; PRINSLEY, R.; BIRD, P. R.; BROOKS, S. J.; CARBERRY, P. S.; CRAWFORD, M. C.; JACKSON, T. T.; MEINKE, H.; MYLIUS, S. J.; NUBERG, I. K.; SUDMEYER, R. A.; WRIGHT, A. J. The Australian National Windbreaks Program: overview and summary of results. **Australian Journal of experimental Agriculture**, v. 42, n. 6, p. 649-664, 2002.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Crêterios para instalaçãõ de quebra-ventos.** [S.l.]: Embrapa, 1996. (Comunicado Técnico, n. 18).

DURIGAN, G; SIMÕES, J. W. Quebra-ventos de *Grevillea robusta* A. Cunn: efeitos sobre a velocidade do vento, umidade do solo e produçãõ do café. **IPEF**, n. 36, p. 27-34, ago. 1987.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Arid Zone Forestry: a Guide for Field Technicians.** Conservation Guide N. 20. 1989.

FAO, Rome, viewed 11 November 2008, Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/t0122e/t0122e0a.htm>>. Acesso em: 22 dez. 2018.

FINCH, S. J. Field Windbreaks: desing criteria. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WINDBREAKS TECHNOLOGY, 1986, Lincoln. **Proceedings...** Amsterdã: Elsevier, 1988. p. 215 - 228.

FOURNIER, E.; LOUREAL, M. Respective roles of recent hedges and forest patch remnants in the maintenance of ground-beetle (Coleoptera: Carabidae) diversity in an agricultural landscape. **Landscape Ecol.**, v. 16, p. 17-31. 2001.

FRANÇA, F. M. C.; OLIVEIRA, J. B. **Quebra-ventos na propriedade agrícola.** Fortaleza: Secretaria de Recursos Hídricos, 2010. 21 p. (Cartilhas temáticas tecnológicas e práticas hidroambientais para convivência com o Semiárido, v. 8).

- GALVANI, E.; KLOSOWSKI, E. S. CUNHA, A. R. Caracterização da direção predominante do vento em Maringá, Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 81-90, 1999.
- GRANTZ, D. A., SILVA, V., TOYOTA, M., OTT, N. Ozone increases root respiration but decreases leaf CO₂ assimilation in cotton and melon. **Journal of Experimental Botany**, n. 391, p. 2375-2384, 2003.
- GEORGE, E. J. The effect of shelterbelts on crop yield. In: PROCEEDINGS OF WORLD FORESTRY CONGRESS, 5., **Proceedings ...**, Seattle, USA, 1960. p. 1648-1656.
- GREENBERG, R. Insectivorous migratory birds in tropical ecosystems: the breeding currency hypothesis. **Journal Avian Biology**, v. 26, p 260 - 264. 1995.
- GUIMARAES, D. P.; FONSECA, C. E. L. da. **Considerações preliminares sobre o uso de quebra-ventos nos Cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1990. 21 p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 34)
- GUYOT, G. Les brise-vent-modification des microclimats et amélioration de la production agricole. **Annales agronomiques**, Versailles, s.i., 1963.
- HARVEY, C.A. Windbreaks enhance seed dispersal into agricultural landscapes in Monteverde, Costa Rica. **Ecological Applications**, v. 10, Issue 1. p 155 - 173. 2000.
- HEISLER, G.M.; DEWALLE, D.R. Effects of windbreak structure on wind flow. **Agric. Ecosyst. Environ**, n. 22-23, p. 41 - 69, 1988.
- HIPSEY, M. **Using windbreaks to reduce evaporation from farm dams**. Department of Agriculture WA, Farmnote 72/2002. Disponível em: <http://www.agric.wa.gov.au/content/lwe/water/watstor/fn072_2002.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2018.
- IBC – Instituto Brasileiro do Café. **Cultura de Café no Brasil**, Manual de recomendações. 5. ed., Rio de Janeiro, 1985. 580 p.
- JESUS, R. M. Recuperação de Áreas Degradadas. **Revista do Instituto Florestal**, v. 2 (parte única). São Paulo, p. 350-362, 1992.
- JUCOSKI, G. DE O. **Toxicidade de ferro e metabolismo antioxidativo em Eugenia uniflora L.** 2011. 77 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- KINROSS, C. Avian use of farm habitats, including windbreaks, on the New South Wales Tablelands. **Pacific Conservation Biology**, v. 10, n. 3, p. 180 - 192. 2004
- LEAL, A. C. **Quebra-ventos arbóreos: aspectos fundamentais de uma técnica altamente promissora**. Curitiba: IAPAR, 1986. (Informe de Pesquisa, n. 67). Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/IP67.pdf>. Acesso: 23 dez. 2018.
- LÓPEZ, D.T.; IBRAHIN, M.; CASASOLA, F. Diversidad de mariposas en un paisaje agropecuario del Pacífico Central de Costa Rica. **Agroforestería en las Américas**, n. 45, p. 58 - 65. 2006.
- MACHADO, F.P. **Contribuição ao estudo do Clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Geografia, 1950. 91 p.
- MARTINS, D. O comportamento dos ventos na região de Botucatu, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola / CEPLAC, 1993. 1413 p.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geográfica. 1961.

MOTA, F. S. **Meteorologia Agrícola**. 2. ed., São Paulo, Nobel, 1976. 376 p.

MUNHOZ, F. C.; GARCIA, A. Caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava-SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 30-34, mar. 2008.

NUBERG, I.K. Effect of shelter on temperate crops: a review to define research for Australian conditions. **Agroforestry Systems**, n. 41, p. 3-34, 1998.

ONYEWOTU, L. O. Z. Structural design and orientation of shelterbelts in northern Nigeria: suggested establishment considerations. **Agricultural Meteorology**, v. 29, n.1, p. 27-38, 1983.

OTTAWAY, J. H. **Bioquímica da poluição**. E. P. U. EDUSP, p. 33 - 35. 1982.

PADOVAN, M. P.; CORTEZ, V. J.; NAVARRETE, L. F.; NAVARRETE, E. D.; DEFFNER, A. C.; CENTENO, L. G.; MUNGUÍA, R.; BARRIOS, M.; VÍLCHEZ-MENDOZA, J. S.; VEGA-JARQUÍN, C.; COSTA, A. N. da; BROOK, R. M.; RAPIDEL, B. Root distribution and water use in coffee shaded with *Tabebuia rosea* Bertol. and *Simarouba glauca* DC. compared to full sun coffee in sub-optimal environmental conditions. **Agroforestry Systems** (Print), v. 89, p. 857 - 868, 2015.

PAVARI, A. **Quebra-Ventos**. Florença, Bertrand, 1961. 179 p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478 p.

RADVANYI, J. Quelques aspects de la conception des bandes forestières de production dans les steppes soviétiques. **Revue Forestière Française**, Nancy, v. 30, n. 6. p. 489-496, 1978.

RAO, M. R.; NAIR, P. K. R.; ONG, C. K. Biophysical interactions in tropical agroforestry system. **Agroforestry Systems** (Print), v. 38, p. 3 - 50. 1998.

READ, R. A. **Tree windbreakes for the central great plains**. Washington, USDA, Forest service, 1964, 68 p. (USDA. Forest Service. Agriculture Handbook, 250).

REIS, B. G.; BERLATO, M. A. **Aspectos gerais do clima do Estado**. Porto Alegre, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 1972, v. 1, 187 p.

ROLLIN, W. M. The influence of wind speed and direction on the reduction of the windspeed leeward of a medium porous hedge. **Agricultural meteorology**, v. 30, n. 1, p. 25 - 34, 1983.

ROSENBERG, N. J. **Microclimate: the biological environment**. New York: John Wiley and sons, 1974. 315 p.

SCHALLER, M.; SCHROTH, G.; BEER, J.; JIMENEZ, F. Species and sites characteristics that permit the association of fast-growing trees with crops: the case of Eucalyptus deglupta as coffee shade in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 175, p. 205 - 215. 2003.

SCHOFFEL, E. R. **Importância agroecológica dos ventos: quebra-ventos**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2009. Notas de Aula. Disponível em: <<http://www.ufpel.tche.br/faem/fitotecnica/graduacao/agromet/vento2.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

SREEKAR R, MOHAN A, DAS S, AGARWAL P, VIVEK R (2013) **Natural Windbreaks Sustain Bird Diversity in a Tea-Dominated Landscape**. PLoS ONE 8(7): e70379. doi:10.1371/journal.pone.0070379.

SILVA, J. B.; ZANUSSO, J. F.; SILVEIRA, D. L. M. Estudo da velocidade e direção dos ventos em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 227-235, 1997.

SILVA, L. C. **Avaliações bioquímicas, fisiológicas e anatômicas dos efeitos de poluentes atmosféricos sobre espécies vegetais**. 2003. 109 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

SKIDMORE, E. L.; HAGEN, L. J. Evaporation in sheltered areas as influenced by windbrake porosity. **Agricultural Meteorology**, v. 7, n. 5, p. 363 - 374, 1970.

SCHROTH, G.; DA FONSECA, A.B., HARVEY, C. A.; GASCON, C., VASCONCELOS, H. L. et al. **Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes**. Washington, USA: Island Press. 2004. Published: July 29, 2013 <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0070379>

TUBELIS, A., NASCIMENTO, F. J. F. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1980. 374 p.

VENDRAMINI, E. Z. **Distribuições probabilísticas de velocidades do vento para avaliação do potencial energético eólico**. Botucatu: UNESP, 1986. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 1986.

VOLPE, C. A.; SCHÖFFEL, E. R. Quebra-ventos. In: RUGGIERO, C. **Bananicultura**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. p. 196 - 211.

WANG, H., TAKLE, A; SHEN, J. Shelterbelts and Windbreaks: mathematical modelling and computer simulations of turbulent flows. **Annu. Rev. Fluid Mech.**, v. 33, p. 549-586, 2001.

WILSON, J. S.; JOSIAH, S. J. **Windbreak Design**. Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska – Lincoln Extension, NebGuide G1304. 2004. Disponível em: <<http://www.nfs.unl.edu/documents/windbreakdesign.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2018.

Data de aceite: 08/02/2022

Bernardo Enne Corrêa da Silva

João Bosco Reis da Silva

Ramon Melo Gonçalves

1 | INTRODUÇÃO

Líder mundial na produção de aço, o Grupo ArcelorMittal está presente em mais de 60 países, com unidades industriais e representações comerciais. Possui fontes próprias de matérias-primas (minério de ferro e carvão mineral) e uma ampla rede de distribuição. Sua gestão é embasada nos pilares da sustentabilidade, qualidade e liderança. O Grupo tem como uma de suas orientações estratégicas o investimento contínuo em tecnologia e inovação, buscando, por meio de pesquisa e desenvolvimento, a consolidação e a ampliação de sua liderança (ARCELORMITTAL TUBARÃO, 2018a).

Assim, para a ArcelorMittal Tubarão, a conservação da biodiversidade é um dos temas centrais do Desenvolvimento Sustentável, com investimentos em controles ambientais, desenvolvimento de novas tecnologias e apoio a áreas de conservação para a garantia de uso adequado dos recursos naturais de forma a atender às demandas atuais, mantendo-se as condições de qualidade de vida das futuras

gerações (ARCELORMITTAL TUBARÃO, 2018b).

Dentro deste contexto de sustentabilidade, a empresa primou por implantar, em seu complexo, uma extensa área verde, denominada Cinturão Verde, estando em contínuo desenvolvimento.

Dentre as ações desenvolvidas no Cinturão Verde, destacam-se o reflorestamento, a manutenção de áreas verdes, os estudos de levantamento de fauna e flora, de conservação de espécies da fauna, de manejo das espécies do cinturão verde, bem como o monitoramento da qualidade dos ambientes.

2 | INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Maior produtora de aços planos e longos da América Latina e do Brasil, a ArcelorMittal Brasil opera 27 unidades. Sua capacidade de produção anual é de 13 milhões de toneladas de aço, além de 7,1 milhões de toneladas de minério de ferro.

A ArcelorMittal Aços Planos América Latina – Brasil é constituída pelas empresas ArcelorMittal Tubarão, ArcelorMittal Vega, ArcelorMittal Contagem e suas filiais. Suas unidades industriais operam integradas, produzindo laminados a quente, a frio, revestidos e produtos beneficiados com alto padrão de qualidade, tendo como foco a produção de aços planos de alta qualidade para atender às

demandas dos mais exigentes setores, além de se manter alinhada com as orientações corporativas que delinearão uma nova abordagem para a sustentabilidade do Grupo, traçando-se as diretrizes para o Desenvolvimento Sustentável, em que se pode destacar o uso eficiente dos recursos e altos índices de reciclagem e o uso confiável do ar, da terra e da água, além do uso responsável de energia, ajudando a criar um futuro com baixa emissão de carbono, com uma posição de vanguarda em Gestão Ambiental.

A ArcelorMittal Tubarão, unidade de produção integrada de aços planos, estrategicamente localizada na região da Grande Vitória, Estado do Espírito Santo, no Sudeste brasileiro, possui uma área total de 13,5 milhões de m², sendo que a usina ocupa 7 milhões de m². A unidade está junto a um complexo logístico com uma malha rododiferroviária que inclui a Estrada de Ferro Vitória-Minas, a Ferrovia Centro Atlântica e as Rodovias BR 101 e BR 262. Além disso, é integrada a um complexo portuário considerado como um dos mais eficientes do mundo, com destaque para o porto de Praia Mole, o qual possui um Terminal de Produtos Siderúrgicos que favorece a disponibilidade de insumos e matérias-primas, assim como o transporte de produtos para os mercados interno e externo.

Ao longo dos anos, a empresa registrou algumas alterações em sua composição acionária, até sua integração à ArcelorMittal, sendo denominada ArceelorMittal Tubarão, antes Companhia Siderúrgica de Tubarão. Desde o início de sua operação, em novembro de 1983, a empresa segue uma gestão orientada pela busca contínua da inovação e da qualidade de processos e produtos, tendo investido continuamente em novas tecnologias. Apresenta uma capacidade de produção anual de 7,5 milhões de toneladas de aço em placas e bobinas a quente, o que possibilita a geração de aproximadamente 5,4 mil empregos diretos e 5,1 mil empregos indiretos.

Desde a elaboração do projeto de construção da ArcelorMittal Tubarão, ainda na década de 70, a gestão ambiental é uma prioridade. A Empresa já nasceu com a visão de se tornar referência, com uma planta dotada de sistemas de controle ambientais complexos e eficientes.

A ArcelorMittal Tubarão está na vanguarda das organizações comprometidas com a sustentabilidade, um conceito que faz parte de seus valores, de sua estratégia e de sua rotina. Desde o início de sua operação, acumula investimentos de mais de US\$ 800 milhões em equipamentos e sistemas de controle ambiental. A melhoria do Sistema de Gestão Ambiental está diretamente associada à melhoria do desempenho ambiental, com um grande cuidado com os Indicadores Ambientais.

A produtora de aço destaca-se internacionalmente pelo índice de 94% de reaproveitamento dos coprodutos industriais, superando a média do setor, que gira em torno de 80%. Os resíduos gerados na ArcelorMittal Tubarão são reciclados para uso interno, doados ou comercializados como matéria-prima para as mais diversas aplicações. Utiliza mais de 96% de água do mar em seu processo e valores inferiores a 4% de água

doce, o que lhe garante o menor índice de consumo industrial de água doce do Brasil, devido ao elevado índice de recirculação, que atinge patamares superiores a 97%. Além disso, é autossuficiente em energia elétrica desde 1997.

Com respeito ao aquecimento global, a empresa também foi pioneira na implantação de mecanismos de desenvolvimento limpo, sendo a primeira produtora de aço a validar e registrar um projeto de créditos de carbono no Comitê Executivo das Nações Unidas (UNFCCC), o que lhe rendeu a condição de primeira empresa no ramo a comercializar créditos de carbono no mercado mundial.

3 | IMPLANTAÇÃO DO CINTURÃO VERDE

O conceito de Cinturão Verde adotado na sua implantação foi definido por Nowak et al. (2001), os quais estabelecem como Cinturão Verde a soma de toda a vegetação lenhosa que circunda e envolve os aglomerados urbanos, desde pequenas comunidades rurais até grandes regiões metropolitanas. Estas florestas urbanas são ecossistemas compostos pela interação entre sistemas naturais e sistemas antropogênicos (NOWAK et al., 2001).

As florestas de proteção assumem diferentes objetivos e podem contribuir para regularizar a vazão dos cursos d'água e manter a sua qualidade; minimizar a erosão; conservar a biodiversidade, propiciando *habitats* para a vida silvestre; criar espaços para a recreação, assim como proteger áreas urbanas das poluições industrial e sonora; proteger áreas da ação dos ventos; contribuir para o sequestro de CO₂ na atmosfera e restaurar paisagens degradadas.

4 | HISTÓRICO DO CINTURÃO VERDE E ESTUDOS DE BIODIVERSIDADE

Atualmente, contando com mais de 700 hectares no entorno da usina, o Cinturão Verde abriga cerca de 2,6 milhões de árvores e arbustos e oito diferentes Áreas de Preservação Permanente (APP), contemplando lagoas, brejos, mangues e praias. Estudos de mapeamento das áreas de preservação foram realizados para a identificação dessas áreas e uso das informações nas ações de manejo.

Existe nos domínios territoriais da empresa um complexo de ecossistemas lacustres formado por sete lagoas, que estão compreendidas dentro da área de influência do empreendimento.

A vegetação encontrada nos limites da área da empresa é típica da Mata Atlântica e de seus ecossistemas associados, com predominância da formação Floresta de Tabuleiro.

A vegetação da Mata Atlântica de Tabuleiro está limitada a extensos trechos planos, ora denominados platôs, onde a vegetação se apresenta em estágio sucessional inicial, considerando-se o porte dos indivíduos, a composição florística predominante e o histórico

de ocupação desses locais. Por sua vez, os trechos recobertos por vegetação em estágio sucessional médio, também se considerando os mesmos critérios citados anteriormente, compreendem basicamente os ambientes de encostas (grotas) associados a corpos d'água.

Geologicamente, a área da ArcelorMittal Tubarão pertence à Formação Barreiras e está localizada em uma plataforma terciária, que é composta de sedimentos argilosos. Originalmente, o relevo da área era de forma ondulada, caracterizada como platôs litorâneos, com altitudes de até 40 metros. Entretanto, parte da área com aproximadamente 700 hectares foi terraplanada em função da implantação da usina no início da década de 80, conforme a Figura 1 (RHEA, 2003).

A vegetação natural predominante era formada por alguns elementos arbóreos e arbustivos de capoeira na parte central e de restinga na orla marítima. A cobertura era caracterizada por pastagens abandonadas e alguns resquícios arbóreos em plena degradação.



Figura 1 - Imagem aérea no início da década de 80.

Fonte: O Autor.

5 I RECUPERAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

A partir da revegetação da área iniciada na década de 80, a qual permitiu a propagação de diversas espécies de fauna e flora nas áreas da empresa (Figura 2), estudos técnicos foram desenvolvidos em busca de mapear o potencial biológico existente,

definindo assim ações de manejo de fauna e flora, além do constante monitoramento da qualidade dos ambientes.



Figura 2 - Imagem aérea no início de 2000.

Fonte: O Autor.

5.1 Estudo de Levantamento de Fauna e Flora

Desde 2003, estudos de levantamento de fauna e flora contemplando o mapeamento de uso do solo, em porcentagem, foram realizados nas áreas da empresa por meio de consultorias especializadas (Gráfico 1).

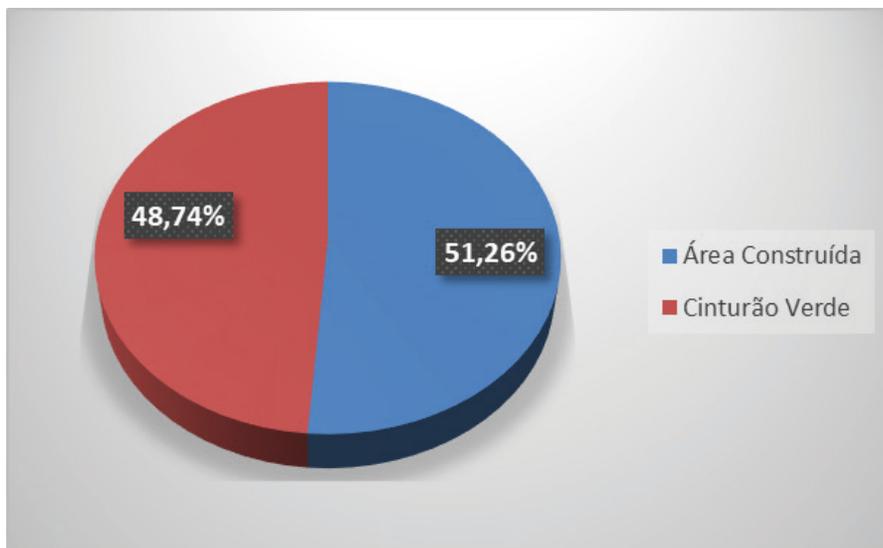


Gráfico 1 - Uso e ocupação do solo da ArcelorMittal Tubarão.

Fonte: O Autor.

O levantamento mais recente foi realizado entre 2012 e 2013 em parceria com o Instituto Terra, contemplando uma área de 781 ha do Cinturão Verde da Empresa. Todo o trabalho foi desenvolvido seguindo metodologias internacionais de referência para esses estudos, com as devidas licenças ambientais requeridas para as equipes realizarem o manejo de fauna durante o processo de identificação das espécies (INSTITUTO TERRA, 2013).

O estudo teve como objetivo realizar o monitoramento da composição e estrutura da fauna e cobertura florestal para fins de diagnóstico da qualidade ambiental. Para esse levantamento de informações, foram realizadas seis campanhas de levantamento de campo distribuídas em um período de 12 meses.

De forma a facilitar os trabalhos, a área do Cinturão Verde da Empresa foi dividida em três setores (Figura 3), com coleta de dados em campo para aves e mamíferos nos anos de 2012 e 2013.

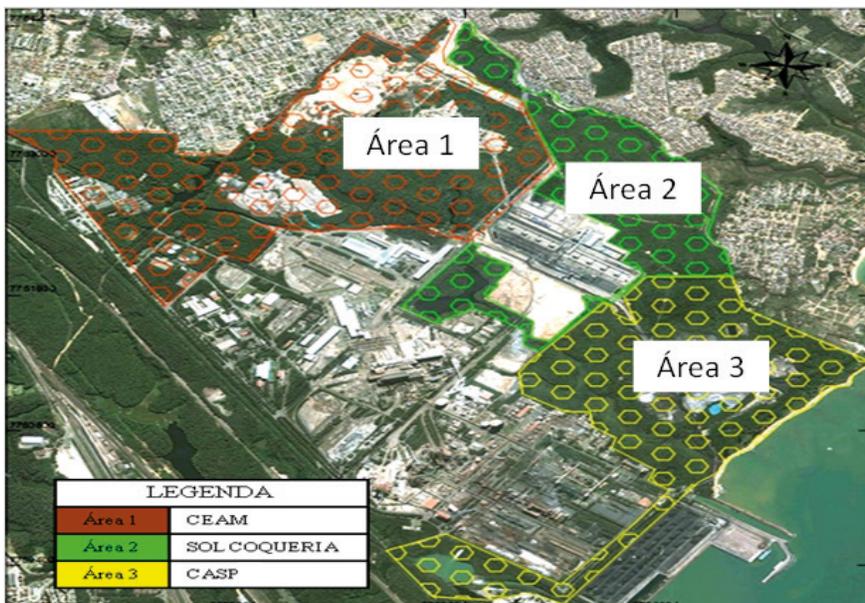


Figura 3 - Mapa da divisão das três áreas definidas para o monitoramento faunístico.

Fonte: O Autor.

Pelo Gráfico 2, pode-se observar também a distribuição do porte das espécies registradas nas áreas naturais da ArcelorMittal Tubarão durante as seis campanhas de campo realizadas.

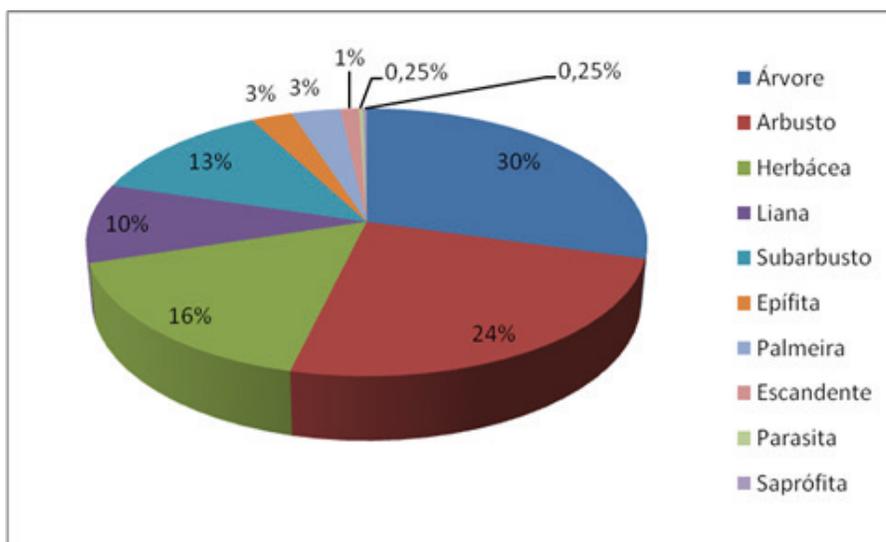


Gráfico 2 – Distribuição do porte das espécies registradas nas áreas naturais da ArcelorMittal Tubarão durante as seis campanhas de campo realizadas.

Fonte: O Autor.

Os grandes destaques desse trabalho foram a constatação da riqueza e composição das espécies de aves, sendo identificadas 161 espécies pertencentes a 49 famílias (Gráfico 3), como também a riqueza e composição das espécies de mamíferos, sendo identificadas 11 espécies pertencentes a 4 famílias (Gráfico 4).



Gráfico 3 - Avifauna com total de indivíduos amostrados e quantidade de espécie registradas.

Fonte: O Autor.

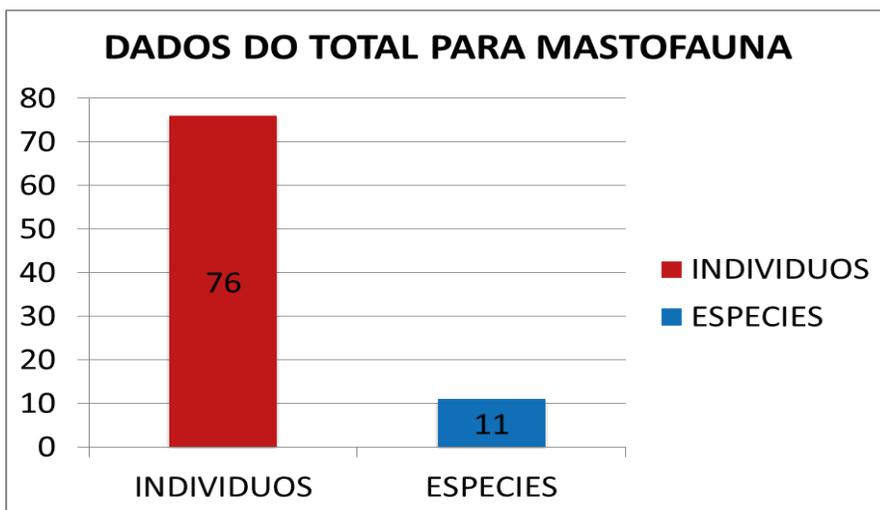


Gráfico 4 - Mastofauna com total de indivíduos amostrados e quantidade de espécie registradas.

Fonte: O Autor.

Dentre as espécies listadas, 14 espécies de aves e 5 espécies de mamíferos são consideradas endêmicas para o Brasil e/ou Mata Atlântica (Tabela 1).

NÍVEL	ESPÉCIES AVIFAUNA
BRASIL (EN)	(06) Barbudo-rajado (<i>Malacoptila striata</i>), Choca-de-sooretama (<i>Thamnophilus ambiguus</i>), Casaca-de-couro-da-lama (<i>Furnarius figulus</i>), Teque-teque (<i>Todirostrum poliocephalum</i>), Saira-douradinha (<i>Tangara cyanoventris</i>), Sanhaçu-de-encontro-azul (<i>Tangara cyanoptera</i>).
MATA ATLÂNTICA (ATL)	(08) Murucututu-de-barriga-amarela (<i>Pulsatrix koeniswaldiana</i>), Barbudo-rajado (<i>Malacoptila striata</i>), Choca-de-sooretama (<i>Thamnophilus ambiguus</i>), Teque-teque (<i>Todirostrum poliocephalum</i>), Tiê-sangue (<i>Ramphocelus bresilius</i>), Sanhaçu-de-encontro-azul (<i>Tangara cyanoptera</i>), Saira-douradinha (<i>Tangara cyanoventris</i>), Corrupião (<i>Icterus jamaicensis</i>).
NÍVEL	ESPÉCIES MASTOFAUNA
BRASIL (EN)	(1) Sagüi-de-cara-branca (<i>Callithrix geoffroyi</i>).
MATA ATLÂNTICA (ATL)	(4) Esquilo (<i>Guerlinguerus mangum</i>), Cuica (<i>Marmosops campestris</i>), Gamba (<i>Didelphis aurita</i>), Ouriço-preto (<i>Chaetonyx subspinosus</i>).

EN – Espécie endêmica do Brasil (EISENBERG; REDFORD, 1999)

ATL – Espécies endêmicas para Mata Atlântica (FONSECA et al., 1996)

Tabela 1 – Espécies endêmicas para o Brasil e Mata Atlântica.

Fonte: O Autor.

As áreas naturais da ArcelorMittal Tubarão representam um importante remanescente vegetal dos ecossistemas floresta de tabuleiro e de restinga na região metropolitana do Estado do Espírito Santo, tendo em vista a urbanização do local que levou a fragmentação da cobertura florestal original (Figura 8).



Figura 4 - Mapa de uso e ocupação do solo das áreas da ArcelorMittal Tubarão.

Fonte: O Autor.

As tipologias vegetais encontradas na área da empresa, incluindo alguns fragmentos bem preservados, abrigam um grande número de espécies nativas da mata atlântica (398), pertencentes a 97 famílias, comumente encontradas nesse bioma.

Em praticamente todas as áreas analisadas, predominam espécies com dispersão do tipo biótica, ou seja, realizada por animais que têm, nesses ambientes naturais, fonte de recursos alimentícios. Mesmo as áreas de reflorestamentos onde predominam táxons exóticos, são registradas espécies de plantas autóctones resultantes de processos de regeneração natural, revelando interação com a fauna local nos processos de dispersão de sementes.

Esses estudos de levantamento de fauna e flora permitiram a empresa identificar novos campos de ação na pesquisa e conservação. Um exemplo foi a observação de população de Jacarés do Papo Amarelo (*Caiman latirostris*) habitando as lagoas da Empresa.

Em 2015, foi iniciada uma parceria com o Instituto Marcos Daniel, prevendo estudos da espécie, com identificação da população através de levantamento de campo, com aplicação de métodos estatísticos e avaliação da taxa de reprodução, biometria, hábitos alimentares e saúde.

Esse levantamento, além de bioindicador da qualidade do ambiente, serve como base para a proposição de um plano de manejo e conservação de Jacaré do Papo Amarelo, desdobrando-se em ações de educação ambiental e subsídios para ampliação da área de abrangência do estudo para todo o Espírito Santo, tendo em vista a importância dessa espécie na Mata Atlântica e sua relação na cadeia trófica.

6 | MANEJO DO CINTURÃO VERDE

Em razão da sua importância ambiental, a Empresa desdobra uma série de ações de manejo das áreas verdes de forma a garantir a perpetuação e o desenvolvimento das espécies encontradas no Cinturão Verde.

As ações partem da premissa de engajamento dos empregados, colaboradores, e comunidades através da conscientização. Durante as atividades, são abordados temas relativos à importância na preservação da biodiversidade, cuidados com o meio ambiente e uso consciente dos recursos naturais. Parte dessas atividades são desenvolvidas no Centro de Educação Ambiental (CEA), em um ambiente com infraestrutura apropriada para o desenvolvimento das atividades educacionais.

Conforme destacado, além do seu papel na propagação da fauna e flora, o Cinturão Verde atua adicionalmente como um importante sistema de controle ambiental, no que tange à redução da emissão de material particulado proveniente da ação eólica em pilhas ou durante o processo de manuseio de matérias-primas.

Em relação ao controle de emissões, estudos técnicos com instituição de renome internacional foram realizados ao longo dos anos de forma a mensurar sua eficiência na retenção do material particulado, evidenciando sua função de quebra-vento e atuação da mitigação de impactos ambientais.

O histórico de estudos, metodologias e resultados obtidos será apresentado no Capítulo 3.

A concepção do Cinturão Verde com função de equipamento de controle ambiental exige um rígido acompanhamento e manutenção das áreas como quebra-vento em torno dos pátios de estocagem. Tal qual um equipamento de processo recebe inspeções, manutenções preventivas e melhorias ao longo do tempo, o Cinturão Verde parte da mesma tratativa.

Nesta função de quebra-vento, destacam-se o Cinturão dos Pátios de Carvão e Minérios (Figura 5), ambos utilizados na estocagem de matérias primas, e Pátios de Escória e do Centro de Armazenamento de Coprodutos (CASP), área responsável pelo beneficiamento e armazenagem temporária de coprodutos.





Figura 5 - Imagem do Cinturão Verde do Pátio de Carvão.

Fonte: O Autor.

De forma a garantir seu pleno desenvolvimento, as ações de manejo nestes pátios são executadas por uma equipe dedicada e especializada em manutenção de áreas verdes.

Essa equipe conta com efetivo que atua em ações de plantio de novas mudas, manutenção mecânica, controle de pragas, adubação e aplicação de corretivos de solo e umectação (Figura 6).





Figura 6 - Imagem dos novos taludes implantados, em desenvolvimento.

Fonte: O Autor.

A avaliação prévia e o monitoramento das condições do solo da região do Cinturão Verde são as bases para as prescrições de adubos e corretivos de solo de forma a criar ambiente com características que permitam o pleno desenvolvimento das espécies. Amostras são coletadas com uso de uma sonda manual, obtendo-se amostras compostas representativas nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm do solo.

As mudas selecionadas para plantio são em grande parte desenvolvidas em viveiro próprio, localizada no Centro de Educação Ambiental. Este viveiro possui capacidade de desenvolvimento de 15.000 mudas.

Em caso de necessidade de compra externa de mudas, os viveiros externos passam por uma avaliação prévia quanto à qualidade das espécies.

As amostras são coletadas nas áreas de projeção das copas das plantas, objetivando coletar o solo próximo à região de absorção dos nutrientes pelo sistema radicular das espécies.

As amostras coletadas são analisadas, em laboratórios credenciados, quanto às características físicas e químicas do solo. A partir dessa análise, caso haja necessidade, é recomendada a correção e adubação das áreas e posterior técnicas de manejo.

Referente à umectação, a Empresa iniciou melhorias, em 2015, com a implantação de um sistema de fertirrigação no Pátio de Carvão. Esse sistema permite uma distribuição mais homogênea da água na umectação, combinando elementos corretivos de solo e

adubos durante a aspersão de forma automatizada.

Este projeto de irrigação foi expandido, em 2016, para áreas do Pátio de Carvão e Pátio de Minérios, conforme apresentam as Figuras 7 e 8.



Figura 7 – Sistema de fertirrigação.

Fonte: O Autor.



Figura 8 – Pontos atualmente atendidos pelo sistema de fertirrigação.

Fonte: O Autor.

A umectação do Cinturão Verde nos principais pontos dos pátios de estocagem é realizada por meio de sistemas de fertirrigação. Esses sistemas permitem a umectação controlada.

7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a estratégia de implementação de Cinturão Verde nas áreas da ArcelorMittal Tubarão como premissa adotada desde o início de operação da empresa na década de 80, a biodiversidade de fauna e flora encontrada atualmente retrata o sucesso da iniciativa, demonstrando não só a importância da área verde no aspecto ecológico, mas também como indicador da qualidade do ambiente no qual está inserido. Novos estudos no campo da biodiversidade permitirão a continuidade das ações de educação ambiental, fornecimento de dados para o meio acadêmico e desdobramento de ações que garantam a preservação do ambiente.

Para as áreas industriais, as ações diferenciadas de manejo nas áreas verdes no entorno de pátios de estocagem, visto seu controle das emissões atmosféricas pela função de quebra-vento, é uma estratégia que alia a biodiversidade com a sustentabilidade do negócio.

REFERÊNCIAS

ARCELORMITTAL TUBARÃO. **Quem somos:** missão, visão e valores. Disponível em: <https://www.arcelormittal.com>. Acesso em: 7 maio 2018a.

ARCELORMITTAL TUBARÃO. **Sustentabilidade.** Disponível em: <https://www.arcelormittal.com>. Acesso em: 7 maio 2018b.

EISENBERG, J. F.; REDFORD, K. H. **Mammals of the neotropics - the central neotropics:** Ecuador, Peru, Bolívia, Brazil. v. 3. Chicago, USA: The University of Chicago Press. 1999. 610 p.

FONSECA, G. A. B. da; HERRMANN, G.; LEITE, Y. L. R.; MITTERMEIER, R. A.; RYLANDS, A. B.; PATTON, J. L. **Lista anotada dos mamíferos do Brasil.** Occasional papers in conservation biology. Belo Horizonte: Conservation International / Fundação Biodiversitas, 1996. 38 p. (Conservation International. Occasional Paper, 4).

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.

RHEA - Estudos e Projetos Ltda. **Caracterização da vegetação em áreas do projeto de expansão da CST.** Vitória: CST. Nov. 2003. 31 p. (Relatório Técnico: Rhea 28/3).

ESTUDO INSTITUTO TERRA. Monitoramento da fauna e flora na área do cinturão verde da ArcelorMittal Tubarão. Aimorés – MG. Set. 2013. 151 p.

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.

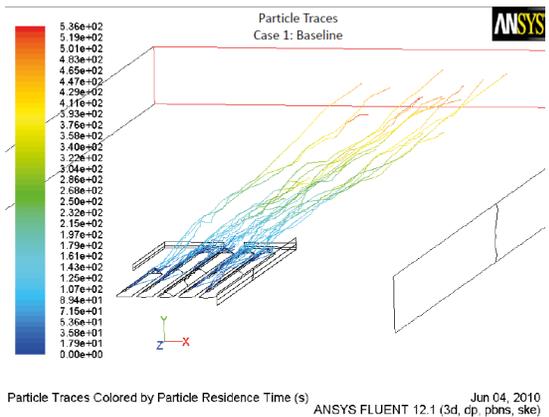


Figura 1 - Exemplo de Imagem de Simulação CFD no Pátio de Carvão.

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.

ESPÉCIES ARBÓREAS PARA INSTALAÇÃO DE QUEBRA-VENTOS

Data de aceite: 08/02/2022

Aureliano Nogueira da Costa

Reynaldo Campos Santana

Cesar Junio de Oliveira Santana

Israel Marinho Pereira

Pedro Luís Pereira Teixeira de Carvalho

Charles Falk

1 | INTRODUÇÃO

Sistemas agroflorestais podem ser traduzidos como formas de uso e manejo da terra, em que árvores ou arbustos são utilizados em conjunto com cultivos agrícolas e/ou criação de animais numa mesma área, de maneira simultânea ou numa sequência de tempo. Neste sentido, cinturão verde, quebra-ventos ou *windbreaks* são sistemas agroflorestais lineares de árvores e arbustos dispostos em direção perpendicular aos ventos dominantes (FRANÇA; OLIVEIRA, 2010), projetados para alterar o fluxo do vento e conseqüentemente do microclima, de modo a proteger áreas específicas dos efeitos do vento.

No meio rural, os quebra-ventos são habitualmente instalados em bordaduras de campos agrícolas ou pastagens para melhorar as condições ambientais, o desenvolvimento

das culturas e da pecuária (DURIGAN; SIMÕES, 1987), além de proteger instalações físicas e ambientes naturais da ação danosa dos ventos, o que resulta na melhoria na produção agrícola, na precocidade das culturas, numa disponibilidade mais extensa de forragem e em melhores sistemas de produção animal, assim como uma menor incidência de doenças (KOWALCHUK; DE JONG, 1995; WIGHT; STRAIGHT, 2015).

Os quebra-ventos são considerados também zonas de proteção da vida selvagem, o que favorece a presença de insetos e aves e contribui para o equilíbrio dos sistemas biológicos com repercussões positivas na produção agrícola e na pecuária. Os produtos madeireiros e não-madeireiros presentes no quebra-vento melhoram a paisagem e aumentam o valor patrimonial da propriedade. Em regiões com baixo índice pluviométrico, onde o vento é a principal causa para a erosão e perda de umidade do solo, os quebra-ventos podem contribuir para a redução da erosão com maior sustentabilidade do meio ambiente. Quando implantados no entorno de zonas residenciais ou urbanas, beneficiam as condições de vida da população.

No Brasil, a instalação de cinturões verdes é de grande interesse tanto em planícies, como em planaltos e áreas de montanha, sendo também utilizados pelo setor industrial com o propósito de minimizar o impacto dos ventos no arraste de partículas em pátios de estocagem de

insumos.

A disposição horizontal de distribuição das árvores e arbustos e a composição vertical dos mesmos irão influenciar as zonas de redução da velocidade do vento antes e após a barreira de árvores. Neste sentido, antes da definição de sua composição e a implantação das espécies, é necessário um planejamento adequado com foco nos objetivos a serem alcançados e nas condições da área em questão, de modo a garantir sua eficácia, sem desprezar sua integração à paisagem.

Os quebra-ventos mais efetivos fornecem uma barreira semipermeável ao vento em toda a sua altura, do solo até as copas das árvores mais altas. Uma vez que a forma do quebra-vento muda com o crescimento das árvores, torna-se necessário misturar várias espécies com diferentes taxas de crescimento, formas e tamanhos em três ou mais linhas de plantio (ROCHELEAU et al., 1988). Além disso, estruturas flexíveis têm proporcionado um resultado positivo na redução do impacto dos ventos e as mais rígidas podem favorecer o turbilhonamento.

As espécies arbóreas tropicais de rápido crescimento apresentam características desejáveis para a instalação de quebra-ventos devido à facilidade de implantação, maior ciclo de vida e grande produção de biomassa, o que permite minimizar os custos de cultivo. Quanto maior a produção de biomassa maior será o potencial de sequestro de carbono, o que contribui com a diminuição do efeito estufa (CAIRES et al., 2011), acumulando maior quantidade de carbono e de metais pesados, fator interessante em projetos de recuperação ambiental.

Na composição dos quebra-ventos, as espécies devem apresentar boa adaptação e desenvolvimento nas condições edafoclimáticas locais. De preferência, devem apresentar porte ereto e rápido crescimento. É adequado que sejam flexíveis e de folhas perenes, com raízes profundas.

O êxito na implantação dos quebra-ventos depende, em grande parte, da correta seleção das espécies, independentemente se o plantio for misto ou homogêneo, pois as espécies vegetais têm comportamentos distintos em diferentes ecossistemas devido a inter-relações e interações com o meio. A escolha será mais acertada quanto maior for o conhecimento sobre o desempenho silvicultural, aspectos anatômicos e ecofisiológicos das espécies potenciais por meio de experimentações, levantamentos de informações ou observações em sua área de ocorrência e na área objeto de plantio.

Inúmeras espécies têm sido utilizadas para quebra-ventos em todo o mundo, destacando-se os seguintes gêneros: *Pinus* (solos arenosos), *Corymbia* (regiões tropicais), *Cupressus* (para proteger áreas pequenas, pois são muito densos), *Grevillea* (especialmente no Brasil, para café), *Ulmus* (solos secos) e *Casuarina* (regiões costeiras). A *Grevillea robusta* (espécie australiana), por características anatômicas ideais e possuir

alta plasticidade, por adaptar-se bem a diferentes condições de clima, relevo e fertilidade do solo, é amplamente plantada como quebra-vento em zonas rurais em diferentes regiões brasileiras.

Os estudos sobre as espécies florestais nativas do Bioma Mata Atlântica para utilização em quebra-ventos, de uma maneira geral, são incipientes e se relacionam principalmente às características botânicas e dendrológicas. Pouco se sabe sobre as características silviculturais, padrões de crescimento e exigências nutricionais dessas espécies (GARRIDO, 1981).

2 | FATORES QUE INFLUENCIAM A DEFINIÇÃO DE ESPÉCIES

A escolha da melhor espécie é passo inicial para que a implantação de um quebra-vento seja bem sucedida. Muitos fatores devem ser considerados na composição das espécies de árvores para plantio em quebra-vento. É fundamental que se faça uma correta avaliação da espécie quanto a sua adaptabilidade para permitir uma perfeita aclimação desta às condições ecológicas do lugar onde será plantada, observando-se as características do solo e do clima do local a ser instalado o quebra-vento. Segundo Orman (1976), as condições climáticas de destaque são a pluviosidade e a ocorrência de geada. Dentre as características de solo, a drenagem é um fator de extrema importância.

Além disso, devem ser levadas em consideração na seleção das espécies para esta finalidade características quanto à altura atingida, extensão da copa, densidade, sua resistência mecânica à ação do vento, competição e compatibilidade com a cultura a ser protegida, além de problemas relacionados com pragas e doenças (ORMAN, 1976; VOLPE; SCHOFFEL, 2001). A flexibilidade e resistência à quebra das ramificações do tronco das árvores são também importantes.

Além desses fatores, espécies de porte alto, perenifólias, de rápido crescimento, pouco agressivas na competição radicular e de copa não muito densa são as mais recomendadas (GUYOT, 1963).

O ideal seria a identificação da espécie com todas as características desejadas. Por isso, os programas de melhoramento genético de espécies florestais e arbóreas a serem utilizadas para quebra-vento avaliam todas essas características (DAVIS, 1976; STURROCK, 1977; REDDY, 1979).

Portanto, a seleção das espécies arbóreas e o seu manejo são fatores determinantes para a otimização desta prática agroflorestal (LEAL, 1986). O manejo cultural ocorre em função dos diversos estágios de desenvolvimento da árvore, além das relacionadas ao germoplasma, tais como a propagação, o plantio, a fase juvenil, a fase de maturação e a fase de senescência e preparação para replantio (HUXLEY, 1981).

Como a forma da árvore, num determinado estágio, é a expressão do equilíbrio

entre os processos endógenos de crescimento e as restrições exógenas impostas pelo ambiente, as árvores desempenham um papel chave nos sistemas agroflorestais por serem as plantas dominantes no dossel vegetativo. O padrão de crescimento de uma espécie determina as fases arquitetônicas sucessivas, sendo inerente da espécie e determinado geneticamente. Assim, o primeiro critério a ser considerado na escolha das espécies arbóreas que irão compor os plantios para formação de cortinas quebra-ventos deve ser a sua adaptação às condições do clima e solo dos sítios. As espécies autóctones (nativas da região) têm melhores condições de se adaptarem em plantios destinados a esta finalidade (LEAL, 1986). Entretanto, o conhecimento científico já disponibilizado na literatura dá subsídio para uso de várias espécies exóticas com bastante sucesso.

3 | DEFINIÇÃO DAS ESPÉCIES

Inúmeras espécies arbóreas e arbustivas (perenes e temporárias) têm sido recomendadas e utilizadas nos plantios para formação de quebra-ventos por diversos autores, em várias regiões e condições climáticas do Brasil. Estas espécies têm sido utilizadas na formação de quebra-ventos visando tanto à proteção de plantios (agrícolas e florestais) e edificações, quanto ao fornecimento de microclima para o bem-estar de animais domésticos (Figura 1).

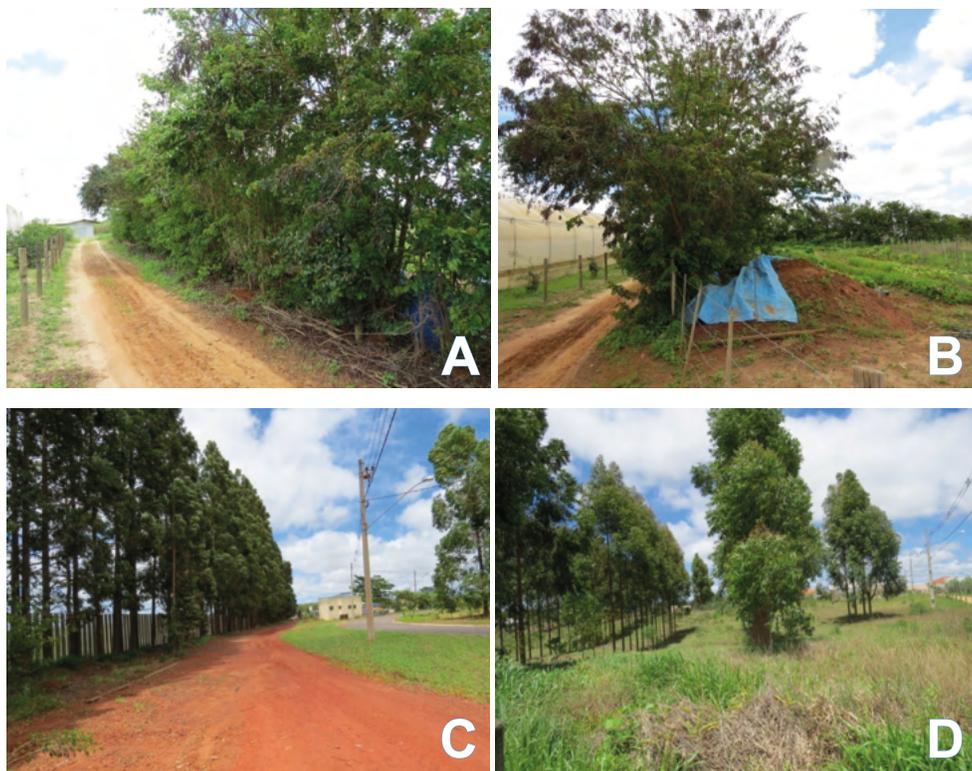


Figura 1 – Quebra-vento de Sansão do Campo visando à proteção de plantio de café (A), culturas olerícolas (B), edificações (C) e microclima para animais (D) no Campus JK da UFVJM em Diamantina/MG.

Fonte: Israel Marinho Pereira

As espécies arbóreas de maior expressão na formação de quebra-ventos para proteção de culturas agrícolas e infraestrutura físicas no Brasil (Tabela 1), são a Casuarina (*Casuarina equisetifolia* e *Casuarina cunninghamiana*), a Grevília (*Grevillea robusta*), Leucena (*Leucaena leucocephala*), o Pinus (*Pinus* spp.), o Eucalipto (*Eucalyptus* spp.), o Cipreste (*Cupressus lusitanica*), o Abacateiro (*Persea* sp.), Bracatinga (*Mimosa scabrella*), Sansão do Campo (*Mimosa caesalpiniaefolia*). Levando-se em consideração as espécies arbustivas perenes podem-se destacar a Aralea (*Polyscias paniculata*), a Dracena (*Dracena deremensis*), o Hibisco (*Hibiscus* spp.) - variedades eretas, a banana-prata ou outra de porte baixo (*Musa* spp.).

Nome científico	Nome popular	Habito	Porte
<i>Acacia spp.</i>	Acácia	Árvore	Médio
<i>Agave sisalana</i>	Sisal	Herbáceo	Baixo
<i>Anadenanthera colubrina</i>	Angico	Árvore	Alto
<i>Annacardium occidentale</i>	Cajueiro	Árvore	Alto
<i>Azadirachta indica</i>	Nim	Árvore	Alto
<i>Bambusa oldhami</i>	Bambu	Arbusto	Médio
<i>Bixa orellana</i>	Urucum	Árvore	Médio
<i>Caesalpinia ferrea</i>	Pau-ferro	Árvore	Alto
<i>Cajanus cajan</i>	Guandu	Arbusto	Baixo
<i>Calophyllum brasiliensis</i>	Olandi	Árvore	Alto
<i>Cariniana estrellensis</i>	Jequitibá	Árvore	Alto
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	Casuarina	Árvore	Alto
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarina	Árvore	Alto
<i>Cedrella fissilis</i>	Cedro	Árvore	Alto
<i>Colubrina glandulosa</i>	Sobrasil	Árvore	Alto
<i>Cordia trichotoma</i>	Louro	Árvore	Alto
<i>Cupressus lusitanica</i>	Cipreste	Árvore	Médio
<i>Dracena deremensis</i>	Dracena	Herbáceo	Baixo
<i>Erytrina sp.</i>	Mulungu	Árvore	Médio
<i>Eucalyptus cloezina</i>	Eucalipto	Árvore	Alto
<i>Eucalyptus pilularis</i>	Eucalipto	Árvore	Alto
<i>Eucalyptus botryoides</i>	Eucalipto	Árvore	Alto
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto	Árvore	Alto
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	Eucalipto	Árvore	Alto
<i>Euphorbia tirucalli</i>	Aveloz	Arbusto	Médio
<i>Genipa americana</i>	Genipapo	Árvore	Alto
<i>Gliricidia sepium</i>	Gliricidia	Árvore	Médio
<i>Grevillea robusta</i>	Grevilea	Árvore	Alto
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutamba	Árvore	Médio
<i>Hibiscus spp.</i>	Hibisco	Arbusto	Baixo
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucena	Árvore	Médio
<i>Mangifera indica</i>	Mangueira	Árvore	Alto
<i>Melia azedarach</i>	Cinamomo	Árvore	Alto
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	Sansão do Campo	Arbusto	Médio
<i>Mimosa scabrella</i>	Bracatinga	Árvore	Médio
<i>Musa spp.</i>	Bananeira	Harbóreo	Baixo
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	Aroeira do Sertão	Árvore	Alto
<i>Pennisetum purpureum</i>	Capim Elefante	Gramínea	Baixo
<i>Persea americana</i>	Abacateiro	Árvore	Alto
<i>Pinus spp.</i>	Pinus	Árvore	Alto

<i>Piptadenia gonoacraether</i>	Jacaré	Árvore	Alto
<i>Polyscias paniculata</i>	Arálea	Árvore	Médio
<i>Prosopis juliflora</i>	Algaroba	Árvore	Alto
<i>Saccharum officinarum</i>	Cana de Açúcar	Arbusto	Baixo
<i>Salix humboldtiana</i>	Salgueiro	Árvore	Médio
<i>Salix nigra</i>	Salgueira	Árvore	Médio
<i>Senna macranthera</i>	Fedegoso	Árvore	Alto
<i>Senna Spectabilis</i>	Canafistula	Árvore	Médio
<i>Sesbania grandiflora</i>	Agáti	Árvore	Baixo
<i>Zea mays</i>	Milho	Herbáceo	Baixo

Tabela 1 – Relação de espécies recomendadas para formação de quebra-ventos em várias regiões do Brasil.

Fonte: EMBRAPA, 1985; LEAL, 1986; LORENZI et al., 2003; NICODEMO, 2006; OLIVEIRA, 2009; SCHOFFEL, 2009; CAVALCANTE; OLIVEIRA, 2010.

As espécies arbustivas temporárias mais utilizadas são a guandu (*Cajanus cajan*), a cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.), o capim napier gigante (*Pennisetum* sp.), o milho (*Zea mays*) e a mamona (*Ricinus* sp.).

Como destacado anteriormente, as espécies apresentam comportamentos diferenciados em função das condições edafoclimáticas. O *Pinus* spp. tem tolerância a solos mais arenosos (entretanto, algumas espécies possuem alta capacidade invasora), o *Populus* spp. exige solos férteis, o *Eucalyptus* spp. se adapta melhor a regiões tropicais, por outro lado, espécies como a *Prosopis juliflora* (Algaroba), *Annacardium occidentale*, *Agave sisalana*, *Azadirachta indica*, *Euphorbia tirucalli*, *Gliricidia sepium* e *Senna spectabilis* são mais adaptadas a clima semiárido, sendo utilizadas em plantios puros ou em associação com outras espécies. Já a espécie *Caragana arborescens* tolera clima muito frio.

As espécies *Cupressus* spp. e *Thuja* spp. formam barreiras impermeáveis, sendo muito utilizadas em plantio puro ou associado com outra espécie quando se almeja formar cortinas de proteção mais densa. Já *Casuarina* spp. é muito utilizada em zonas costeiras. A espécie *Ulmus* spp. tolera solos com baixo teor de umidade, e a *Grevillea robusta* é utilizada, especialmente no Brasil, como quebra-vento em lavouras de café (DURIGAN, 1986). Várias espécies do gênero *Eucalyptus* têm sido utilizadas na formação de quebra-ventos para várias finalidades (proteção de culturas, bem-estar animal e proteção de edificações). No entanto, é importante salientar que pode haver diferença de comportamento em função do clone a ser utilizado. Rosado et al. (2013) observou diferenças estatísticas significativas entre clones de eucalipto, no que diz respeito à resistência ao vento.

Trabalhos desenvolvidos com a Acácia (*Acácia auriculiformis* e *Acacia mangium*), a Albizia (*Albizia falcataria*, *Albizia lebeck* e *Albizia procera*), a Leucena (*Leucaena leucocephala* e *Leucaena glauca*), a *Sesbania grandiflora* e a *Gmelina arborea*

e o Bambu (*Bambusa oldhami*) também têm dado resultados positivos para quebra-ventos em plantio de bananeira (VOLPE; SCHÖFFEL, 2001).

Algumas espécies nativas encontradas em várias formações e tipologias da mata atlântica no território brasileiro têm sido destacadas como possíveis potenciais para uso na implantação de cortinas verdes, entre as quais podem-se destacar: *Bixa orellana*, *Calophyllum brasiliensis*, *Cariniana estrellensis*, *Cedrella fissilis*, *Colubrina glandulosa*, *Cordia trichotoma*, *Erythrina* sp., *Genipa americana*, *Guazuma ulmifolia*, *Mimosa scabrella*, *Myracrodruon urundeuva*, *Salix humboldtiana*, *Piptadenia gonoacantha*, *Senna macranthera*, *Caesalpinia ferrea* e *Sesbania grandiflora*. Tais espécies podem compor vários modelos de reflorestamento de proteção e auxiliar na redução dos efeitos danosos dos ventos para a atividade agropecuária.

Atenção especial deve ser dada à possibilidade de contaminação biológica por espécie exótica considerada invasora. Estas podem ao longo dos anos levar à monodominância na área do quebra-vento, como também em áreas adjacentes, proporcionando danos ecológicos não desejáveis.

Na literatura internacional consta que *E. saligna*, *E. robusta* Smith, *Pinus caribaea* Morelet e *P. Patula* Shiede et Deppe, em plantios comerciais, são mais suscetíveis aos danos por furacão, do que as espécies nativas das florestas da Jamaica (THOMPSON 1983). Nikles et al. (1983) constataram variabilidade genética na resistência ao vento entre as procedências de *P. caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. em Queensland, Austrália. Entre as procedências testadas, aquelas provenientes da região litorânea foram as mais resistentes. Tal fato também foi constatado em Porto Rico, onde as procedências de *P. caribaea*, do litoral, sobreviveram a dois furacões com poucos danos, enquanto as procedências de *P. oocarpa* Shiede, do interior, onde furacões raramente ocorrem, foram severamente danificadas (LIEGEL, 1984). O mesmo autor levantou a possibilidade das procedências do litoral terem sido submetidas à seleção natural para resistência ao vento.

A diversificação de espécies em quebra-ventos pode fornecer uma variedade maior de produtos aos agricultores locais. Um quebra-vento bem desenvolvido pode produzir madeira, frutas, forragem, fibras e mel tanto para uso próprio como para comercialização, podendo tornar-se uma fonte alternativa de renda.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAS

Muitas espécies podem ser utilizadas para compor quebra-ventos. As espécies florestais para uso em quebra-ventos devem reunir as seguintes características: adaptação às condições locais, sistema radicular profundo, rápido crescimento, fuste ereto, copa bem definida e folhagem perene, madeira elástica e de boa qualidade, difícil disseminação natural, além de apresentarem outras utilidades, como: frutífera, nectarífera, forrageira,

produtora de adubo verde, gomífera, tanífera etc.

Existem muitas espécies botânicas potenciais que precisam ser pesquisadas com o objetivo de inseri-las no rol de espécies a serem empregadas em quebra-ventos. Avaliando-se o comportamento de espécies plantadas com sucesso na região de interesse, pode-se optar por essências florestais não tradicionais. Espécies indicadas para arborização, produção de madeira, frutíferas, forrageiras arbóreas e arbustivas, dentre outras, podem ser usadas isoladamente ou em conjunto com outras espécies para compor quebra-ventos de múltipla utilização.

No Espírito Santo, as espécies florestais do Bioma Mata Atlântica e as espécies exóticas, já adaptadas às condições edafoclimáticas do Estado, devem ser criteriosamente avaliadas quanto às suas potencialidades para compor esse rol.

REFERÊNCIAS

- CAIRES, S. M.; FONTES, M. P. F.; FERNANDES, R. B. A.; NEVES, J. C. L.; FONTES, R.L.F. Desenvolvimento de mudas de Cedro-Rosa em solo contaminado com cobre: tolerância e potencial para fins de fitoestabilização do solo. **Revista Árvore**, v. 35, n. 6, p. 1188, 2011.
- CAVALCANTE, F. M.; OLIVEIRA, J. B. **Quebra-ventos na propriedade agrícola**. Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010. 21 p. (Cartilhas temáticas tecnologias e práticas hidroambientais para convivência com o Semiárido - v. 8).
- DAVIS, R. M. Great Plains windbreak history: an overview. In: TINUS, R.W. (Ed.) **Shelterbelts on the Great Plains**. Proceedings of the Symposium. Denver, Great Plains Agricultural Council, p. 8 - 11. 1976.
- DURIGAN, G. **Efeito dos quebra-ventos de *Grevillea robusta* A. Cunn. sobre a velocidade do vento**. 1986. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- DURIGAN, G.; SIMÕES, J. W. Quebra-ventos de *Grevillea robusta* A. Cunn.: efeitos sobre a velocidade do vento, umidade do solo e produção do café. **IPEF**, Piracicaba, n. 36, p. 27 - 34, 1987.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Florestas. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná**. Curitiba, 1985. 154 p.
- GARRIDO, M. A. de O. **Caracteres silviculturais e conteúdo de nutrientes no folheto de alguns povoamentos puros e mistos de espécies nativas**. 1981. 105 f. Tese (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1981.
- HUXLEY, P. A. **Plant research and agroforestry**. Nairobi: ICRAF, 1983. 617p.
- KOWALCHUK, T.; DE JONG, E. Shelterbelts and their effect on crop yields. **Canadian of Journal Soil Science**, v. 75, n. 4, p. 543 - 550. 1995.
- LEAL, A. C. **Quebra-ventos arbóreos: aspectos fundamentais de uma técnica altamente promissora**. Curitiba: IAPAR, 1986. 28 p. (Informe da pesquisa, n. 7). Disponível em: <<http://www.iapar.br/arquivos/>>

File/zip_pdf/IP67. pdf>. Acesso em: 3 out. 2018.

LIEGEL, L. H. Assessment of hurricane rain/wind damage in *Pinus caribaea* and *Pinus oocarpa* provenance trials in Puerto Rico. **Commonwealth Forestry Review**, v. 68, n. 1, p. 47-53, 1984.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. Árvores Exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Platarum, 2003. 352 p.

NIKLES, D.G.; SPIDY, T.; RIDER, E.J.; EISEMANN, R.L.; NEWTON, R.S; MATTHEWS-FREDERICK, D. Genetic variation in windfirmness among provenances of *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. e Golf. in Queensland. In: SIMPÓSIO IUFRO EM MELHORAMENTO GENÉTICO E PRODUTIVIDADE DE ESPÉCIES FLORESTAIS DE RÁPIDO CRESCIMENTO, Águas de São Pedro, 1980. **Anais...** São Paulo, Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1983. p. 125 - 126.

NICODEMO, M. L. F. **As árvores nos sistemas de produção agropecuários**. São Carlos: EMBRAPA-Pecuária Sudeste, 2006. (palestra). Disponível em: <http://sementesdopantanal.dbi.ufms.br/arquivos/eventos2/10_apresentacao_-_maria_luiza_nicodemo.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2018.

OLIVEIRA, C. D. Quebra-vento em lavoura de café. **Revista Cafeicultura**, 23, mar. 2009. Disponível em: <<http://www.revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=20151>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

ORMAN, R., Design is the key to effective windbreaks. **Forest and Timber**, Canberra, v. 12, n. 3, p. 6 - 8. 1976.

REDDY, C. V. K. Shelter belts against storms and cyclones on the - coast. **Indian Forester**, v. 105, n.10, p. 720 - 725. 1979.

ROCHELEAU, D.; WEBER, F.; FIELD-JUMA, A. **Agroforestry in Dryland Africa**. Nairobi: ICRAF, 1988. 311 p.

ROSADO, A. M.; ATAÍDE, G. da M.; CASTRO, R. V. O.; CORREIA, A. C. G. Avaliação da tolerância à quebra por vento em árvores de eucalipto via teste de resistência. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 33, n. 75, p. 309 - 315, jul. - set. 2013.

SCHOFFEL, E. R. **Importância agroecológica dos ventos: quebra-ventos**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2009. Notas de Aula. Disponível em: <http://www.ufpel.tche.br/faem/fi_tecnica/graduacao/agromet/vento2.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2018.

STURROCK, J. W. Shelterbelts in New Zealand - Experience and innovation. **Span**, v. 20, n. 3, p. 118 - 120. 1977.

THOMPSON, D. A. Effects of hurricane Allen on some jamaican forests. **Commonwealth Forestry Review**, v. 62, n. 2, p. 107 - 115, 1983.

VOLPE, C. A.; SCHÖFFEL, E. R. Quebra-ventos. In: RUGGIERO, C. **Bananicultura**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. p. 196 - 211.

WIGHT, B.; STRAIGHT, R. Windbreaks. In: GOLD, M.; CERNUSCA, M.; HALL, M. **Training Manual for Applied Agroforestry Practices**. The Center for Agroforestry University of Missouri. p. 92 - 114. 2015.

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

Data de aceite: 08/02/2022

Aureliano Nogueira da Costa

Pedro Luís Pereira Teixeira de Carvalho

Adelaide de Fátima Santana da Costa

Diolina Moura Silva

Bernardo Enne Corrêa da Silva

1 | INTRODUÇÃO

Para avaliar a eficiência do Cinturão Verde com o objetivo de minimizar a velocidade dos ventos e conseqüentemente a redução de arraste de particulados é necessária a identificação de espécies vegetais que melhor se adaptam ao cultivo em Cinturão Verde, nas condições edafoclimáticas específicas da área a ser implantado.

Os trabalhos para identificação de espécies agronômicas e florestais para a composição de quebra-ventos, em ambiente industrial, na ArcelorMittal Tubarão, foram iniciados em 2012. Para maior eficácia dos trabalhos, foi realizado um estudo comparativo entre o desenvolvimento das plantas selecionadas no ambiente industrial, diretamente influenciado pela ação antrópica, e em ambiente livre de ação antrópica. Nas áreas em ambiente industrial, foram construídos taludes para o plantio das espécies.

A determinação da adaptação das espécies foi realizada por meio de sua implantação em Cinturão Verde com o acompanhamento do crescimento e desenvolvimento das plantas, recomendação de manejo e tratamentos culturais necessários, procedendo-se à coleta de dados para a avaliação das características química e física dos solos, análises foliares, análises dendrométricas e qualitativas, bem como análise do comportamento fisiológico das plantas, como a trocas gasosas e taxa fotossintética.

As metodologias utilizadas para a realização do estudo comparativo da adaptação das espécies no ambiente industrial e em condições naturais de Mata Atlântica são detalhadas neste capítulo.

2 | CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

As áreas experimentais foram selecionadas com base na abrangência e representatividade nos ambientes industriais e no ambiente Mata Atlântica. Foram selecionadas três áreas estratégicas para a implantação dos experimentos, sendo duas áreas localizadas nos pátios industriais da ArcelorMittal Tubarão, submetidas às condições industriais adversas, e a outra em área externa, no ambiente Mata Atlântica, condição de ambiente natural, sem interferência direta de fontes exógenas de particulados de minério e carvão oriundos do

setor de produção de aço.

A área representativa das condições naturais de Mata Atlântica está localizada na Fazenda Experimental Engenheiro Reginaldo Conde no município de Viana, no Estado do Espírito Santo. A fazenda pertence ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), afastada de centros urbanos e industriais, possuidora de maciço agroflorestal e fragmentos da Mata Atlântica, tornando este ambiente ausente da ação antrópica, conforme pode ser observado na Figura 1.



Figura 1 - Imagem aérea do local de implantação do experimento na Fazenda Experimental Engenheiro Reginaldo Conde.

Fonte: Google Earth, 2018.

O município de Viana apresenta temperatura média anual de 24,8°C e pluviosidade anual de 1.121 milímetros. O mês mais quente é o de janeiro com temperaturas médias em torno de 27,5°C e o mais frio, o de junho, com média de 22,4°C (INCAPER, 2013).

A área experimental do Pátio Carvão da ArcelorMittal Tubarão (Figura 2), localizada em Vitória, capital do estado do Espírito Santo, sofre influência direta da deposição de material particulado oriundo as pilhas de estocagem de carvão, além da incidência do spray marinho salino, devido a sua proximidade com o Oceano Atlântico.



Figura 2 - Imagem aérea do local de implantação do experimento no Pátio de Estocagem de Carvão da ArcelorMittal Tubarão.

Fonte: Google Earth, 2018.

A área experimental implantada no Pátio de Minério da ArcelorMittal Tubarão (Figura 3), também localizada em Vitória, tem influência direta da deposição de material particulado oriundo das pilhas de estocagem de minério e do alto grau de movimentação de máquinas e equipamentos.

O clima do município de Vitória é classificado como tropical, apresenta médias anuais de temperatura 24,8°C e pluviosidade 1.103 milímetros. O mês mais quente é o de fevereiro, com máxima de 32,5°C, e o mais frio, o de julho, com mínima de 18°C (INCAPER, 2013).



Figura 3 - Imagem aérea do local de implantação do experimento no Pátio de Estocagem de Minério da ArcelorMittal Tubarão.

Fonte: Google Earth, 2018.

As coordenadas geográficas centrais das áreas experimentais são apresentadas na Tabela 1.

Local	Município	Coordenadas
Área em Condições Naturais de Mata	Viana - ES	Lat: 20° 25' 20,04" S Long: 40° 28' 52,63" W
Pátio de Carvão	Vitória - ES	Lat: 20° 15' 23,68" S Long: 40° 13' 24,10" W
Pátio de Minério	Vitória - ES	Lat: 20° 15' 21,24" S Long: 40° 13' 59,72" W

Tabela 1 - Coordenadas geográficas (latitude e longitude) dos pontos centrais das áreas experimentais.

Fonte: O autor.

Na ArcelorMittal Tubarão, os pátios de estocagem de carvão e minério foram instalados em áreas de aterro marinho formadas com a movimentação de terra e compactação sobre pedras, sendo os solos classificados como rasos e lençol freático muito superficial, o que proporciona restrições quanto às características físicas e químicas do solo para o cultivo de espécies agrônômicas e florestais. Diante de tais restrições, para a instalação dos experimentos, optou-se pela construção de taludes utilizando-se solos de transposição.

3 | CONSTRUÇÃO DE TALUDES

Para a construção dos taludes de plantio, foi utilizado solo de transposição, denominado terra de barranco, com alto teor de argila, adicionando-se restos vegetais e esterco de boi, para enriquecimento do teor de matéria orgânica do mesmo. As proporções seguiram o seguinte padrão:

- 70% de terra de barranco;
- 15% restos vegetais;
- 15% esterco de boi.

Após a realização da mistura do material, o talude foi construído nas dimensões de 3,5 metros de altura, 11 metros de largura e aproximadamente 74 metros de extensão. A crista (parte superior) do talude ficou com uma dimensão de aproximadamente 5 metros de largura (Figura 4).

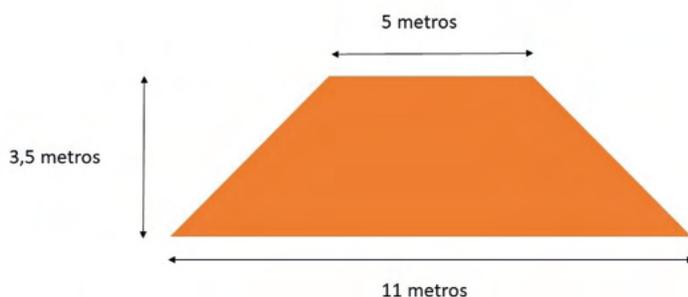


Figura 4 - Imagem do perfil do talude construído no interior da área industrial da ArcelorMittal Tubarão, no pátio de minério e carvão.

Fonte: O autor.

4 | SELEÇÃO DE ESPÉCIES

O princípio básico utilizado para a seleção de espécies foi a manutenção da porosidade uniforme dos quebra-ventos das áreas experimentais, sendo o porte das espécies de fundamental importância. De acordo com a altura, foi possível dividir o perfil do Cinturão Verde em três extratos: baixo, médio e alto.

Para a composição de cada extrato, foram selecionadas espécies com o desenvolvimento em altura compatível com o proposto. Assim, no extrato baixo, as árvores deveriam atingir entre 3 e 7 metros; para o extrato médio, a altura deveria variar entre 7

e 15 metros e para o extrato alto as árvores deveriam ultrapassar os 15 metros de altura.

Além da classificação em altura, foram levados em consideração diversos fatores relativos às espécies florestais, sendo eles:

- Adaptação edafoclimática;
- Rusticidade;
- Tipo de folhas;
- Porte;
- Velocidade de crescimento;
- Ciclo de vida;
- Queda das folhas;
- Bioma de origem.

Para a interação de todas as características desejadas, foi elaborado um sistema de classificação, com atribuição de notas para cada critério esperado. As espécies com a maior pontuação foram selecionadas dentre as espécies florestais mais adaptadas às condições climáticas do Estado do Espírito Santo.

A atribuição de notas para os parâmetros avaliados por meio da metodologia utilizada pode ser observada nas Tabelas 2 e 3.

Crescimento em Altura			Nota
Porte Alto	Porte Médio	Porte Baixo	
Superior a 25m	Entre 12 e 15m	Entre 5 e 7m	3
Entre 20 a 25m	Entre 10 e 12m	Entre 3 e 5m	2
Entre 15 e 20m	Entre 7 e 10m	Abaixo de 3m	1

Tabela 2 - Notas atribuídas para o crescimento, em altura, das espécies levantadas conforme o porte das mesmas.

Fonte: O autor.

Velocidade de Crescimento	Rápido	Moderado	Lento
Nota	6	4	2
Ciclo de Vida	Longo (Acima de 40 anos)	Médio (20 a 40 anos)	Curto (Abaixo de 20 anos)
Nota	3	2	1
Queda de Folhas	Perenifolia	Semicaducifolia	Caducifolia
Nota	3	2	1
Copa	Densa	Média	Rala
Nota	6	4	2
Bioma de Origem	Mata Atlântica	Outro Bioma Brasileiro	Exóticas
Nota	3	2	1

Tabela 3 - Notas atribuídas para os critérios de Velocidade do Crescimento, Ciclo de Vida, Queda de Folhas, Copa e Bioma de Origem para a seleção de plantas para a composição do experimento.

Fonte: O autor.

Dessa forma, para a composição dos estudos, chegou-se ao número de 8 espécies, sendo 4 do bioma Mata Atlântica e 4 exóticas, como observado na Tabela 4.

Sigla	Nome Científico	Nome Popular	Ocorrência Natural	Porte
AA	<i>Acacia auriculiformis</i>	Auriculifomis	Austrália	Médio
AM	<i>Acacia mangium</i>	Mangium	Austrália	Alto
AR	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Aroeira	Mata Atlântica	Baixo
EC	<i>Corymbia citriodora</i>	Citriodora	Austrália	Alto
ET	<i>Corymbia torelliana</i>	Toreliana	Austrália	Médio
FE	<i>Senna macranthera</i>	Fedegoso	Mata Atlântica	Médio
IR	<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Ipê Rosa	Mata Atlântica	Alto
PV	<i>Bauhinia forficata</i>	Pata de Vaca	Mata Atlântica	Baixo

Tabela 4 - Espécies selecionadas para a composição dos quebra-ventos nas diferentes condições experimentais.

Fonte: O autor.

5 | PLANTIO, ADUBAÇÃO, MANEJO E TRATOS CULTURAIS

Todas as espécies selecionadas para o ensaio foram plantadas nos 3 ambientes (área em condições naturais da Mata Atlântica, Pátio de Minério e Pátio de Carvão), seguindo o mesmo croqui de plantio, respeitando-se o princípio da repetição para a comparação do desenvolvimento.

O plantio foi realizado em novembro de 2012, com espaçamento de 1,5 x 1,5 m em forma de quincôncio (Figura 5), reduzindo espaços sem a presença de espécies arbóreas nas entrelinhas, e, assim, diminuindo a possibilidade da ocorrência de corredores de ventos no interior das áreas experimentais.

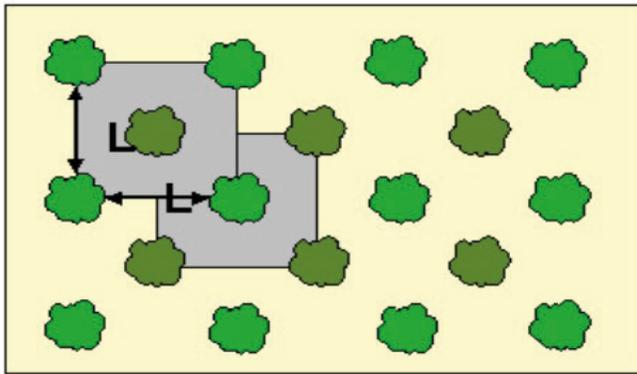


Figura 5 - Plantio em sistema de quincôncio.

Fonte: NACHTIGAL; FACHINELLO; KERSTEN, 2008.

Com o espaçamento de 1,5 x 1,5 metros a densidade de plantio foi de 4.444 indivíduos por hectare e o número de árvores plantadas por área experimental foi de 288 indivíduos.

Para o plantio das mudas, foram abertos os berços de plantio com dimensões de 0,40 x 0,40 x 0,40 metros com auxílio de cavadeira articulada.

As recomendações de adubação de plantio e manutenção foram realizadas de acordo com os resultados das análises de solo conforme a 5ª Aproximação do Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007).

A diagnose foliar foi realizada periodicamente, para identificação dos teores nutricionais das espécies e para subsidiar as recomendações de adubação de manutenção.

As laterais do talude foram cultivadas com a leguminosa Feijão de Porco com o intuito de proporcionar uma cobertura vegetal para reduzir o risco de erosão. Para melhor cobertura do solo, foi adicionado também material vegetal picado, o que contribui para a manutenção da umidade e redução da erosão.

6 | COLETA E ANÁLISE DE SOLOS

A primeira coleta para a análise de solo, nas três áreas experimentais, foi realizada no momento da conclusão da construção dos taludes da ArcelorMittal Tubarão, para avaliação das características físicas e químicas e, por consequência, elaborar as recomendações de adubação de plantio e em cobertura.

Durante a avaliação dos experimentos (6, 12 e 30 meses após o plantio), foram realizadas coletas e análises de solo para acompanhamento da fertilidade do substrato e também para dar continuidade à recomendação de adubações de cobertura e fertirrigação

necessárias.

Utilizaram-se amostras compostas, constituídas por 15 amostras simples, coletadas em pontos aleatórios de cada talude nas áreas experimentais. Foram realizadas coletas em duas profundidades diferentes, 0 a 20 cm e 20 a 40 cm (Figura 6), conforme metodologia determinada por Prezotti e Guarçoni (2013).

As amostras compostas coletadas foram destinadas a diferentes laboratórios certificados, seguindo a metodologia EMBRAPA (1979), para a análise de fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), boro (B), sódio (Na), cloretos, fluoretos, chumbo (Pb), níquel (Ni), cádmio (Cd) e cromo (Cr).



Figura 6 - Coleta de solos realizada nas áreas experimentais.

Fonte: O Autor.

7 | COLETA E ANÁLISE DE FOLHAS

As coletas de folhas foram realizadas aos 6, 18 e 30 meses após o plantio, seguindo o mesmo período que as análises de solos e os levantamentos dendrométricos.

Para composição das amostras compostas, de cada espécie, foram selecionadas

aleatoriamente 10 árvores ao longo do talude, garantindo a representatividade para todas as áreas.

Coletaram-se folhas maduras do terço superior das copas das árvores, evitando assim a coleta de folhas muito novas ou em processo de senescência (Figura 7).

Foram coletadas duas amostras compostas para cada espécie e enviadas ao laboratório para a realização das análises químicas. Antes de iniciar tal procedimento, uma amostra composta de cada espécie passou por um processo de lavagem com água destilada. Dessa forma, após as análises foram obtidos resultados para FOLHAS NÃO LAVADAS e FOLHAS LAVADAS.

Nas análises químicas foliares foram contemplados os seguintes elementos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), boro (B), sódio (Na), cloretos, fluoretos, chumbo (Pb), níquel (Ni), cádmio (Cd) e cromo (Cr).



Figura 7- Folhas coletadas para análise nutricional foliar.

Fonte: O Autor.

8 | LEVANTAMENTOS DENDROMÉTRICOS, QUALITATIVOS E DE SOBREVIVÊNCIA

Para as análises dendrométricas de desenvolvimento dos indivíduos, foram coletados os dados de altura total de plantas, diâmetro da base da planta aos 6 meses após o plantio e diâmetro do tronco à altura de 1,3 metros (Diâmetro à Altura do Peito – DAP) aos 12 e 30 meses após o plantio. As análises qualitativas foram realizadas nesse mesmo período

Para a mensuração da altura total das plantas foi utilizada régua telescópica com capacidade de medida de 11 metros, sendo seus resultados já expressos na unidade de metros (Figura 8).



Figura 8 - Mensuração da altura total de plantas por meio da régua telescópica.

Fonte: O autor.

Para a coleta dos dados de diâmetro da base da planta e do diâmetro a altura de 1,30 metros, foi utilizado paquímetro digital (Figura 9). Foram feitas duas mensurações para cada planta, a primeira no sentido das linhas e a segunda no sentido das entrelinhas. Com essas medidas determinou-se o diâmetro, sendo os dados submetidos à análise estatística.



Figura 9 - Paquímetro digital utilizado na coleta de dados de diâmetro da base e diâmetro a 1,30 metros.

Fonte: O autor.

Nas avaliações qualitativas, determinou-se a forma do tronco e a avaliação do fuste quanto a bifurcações e polifurcações. Para ambas as avaliações, foram atribuídas notas de 1 a 5, buscando-se observar as tendências de cada espécie implantada no experimento.

A forma do tronco se refere ao grau de tortuosidade dos fustes das plantas, sendo que a nota 5 foi atribuída para árvores com fuste retilíneo e a nota 1 atribuída a plantas com alto grau de tortuosidade (Figura 10).

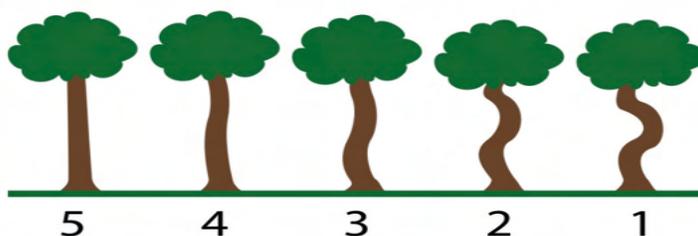


Figura 10 - Notas, de 1 a 5, atribuídas aos diferentes graus de tortuosidade do tronco.

Fonte: INCAPER, 2013.

Para o parâmetro qualitativo de avaliação do fuste quanto à bifurcação e polifurcação, também foram atribuídas notas de 1 a 5, em que a nota 5 foi atribuída a troncos com ausência de bifurcações ou polifurcações, 4 para troncos com bifurcações acima de 40

centímetros, 3 para troncos com bifurcações abaixo de 40 centímetros, 2 para troncos com polifurcações acima de 40 centímetros e 1 para troncos que apresentavam polifurcações abaixo de 40 centímetros, conforme apresentado na Figura 11.

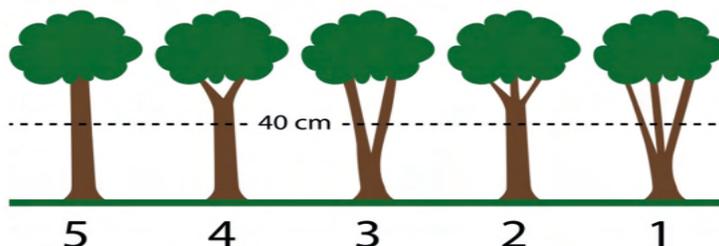


Figura 11 - Notas de 1 a 5 atribuídas aos diferentes tipos de bifurcações e polifurcações.

Fonte: INCAPER, 2013.

Para a quantificação da sobrevivência, foi realizado o levantamento do número de indivíduos que não sobreviveram nos períodos avaliados de 6, 12 e 30 meses.

Todos os dados coletados em campo foram registrados em ficha de campo e transcritos para meio digital, sendo ordenados e classificados utilizando o software Microsoft Excel® para a realização das análises procedentes.

9 | ANÁLISES FISIOLÓGICAS

Procedeu-se à realização das análises fisiológicas das espécies cultivadas na área 1, em condições naturais de Mata Atlântica, considerada controle, e nas áreas do Cinturão Verde, do Pátio de Carvão (área 2) e do Pátio de Minério (área 3), aos 4, 7, 16, e 19 meses após o plantio, em que avaliaram-se os teores de pigmentos fotossintéticos, a cinética de emissão da fluorescência da clorofila *a*, como também as trocas gasosas e assimilação líquida do CO₂.

9.1 Teores de Pigmentos Fotossintéticos

A quantificação do índice de clorofila foi determinada utilizando-se um clorofilômetro portátil (SPAD-502, Minolta Camera Co. Ltd.), conforme metodologia sugerida por Cassol et al. (2008).

9.2 Cinética da Emissão da Fluorescência da Clorofila *a*

A emissão da fluorescência da clorofila *a* foi estimada nas mesmas folhas onde foram analisados os teores de clorofila total, utilizando-se um fluorômetro portátil (HandyPEA, Hanstech, King's Lynn, Norfolk, UK). Todas as leituras foram realizadas após a aclimatização das amostras ao escuro por, no mínimo, 45 minutos. As medidas de fluorescência transiente foram obtidas até 1 s com taxa de aquisição de dados de 105 pontos por segundo para os primeiros 2 μ s, e de 1.000 pontos por segundo depois de 2 ms.

A emissão de fluorescência da clorofila foi induzida em uma área de 4 mm de diâmetro da folha, pela exposição da amostra a um pico de luz vermelha de 3.000 μ mol m⁻² s⁻¹. As intensidades de fluorescência a 20, 100, 300 μ s e 2 e 30 ms foram registradas como F1, F2, F3, F4 e F5 respectivamente (STRASSER; STRASSER, 1995).

A fluorescência inicial (F_0) foi considerada como sendo o nível de fluorescência no tempo de 20 μ s, sendo que F_0 é a intensidade de fluorescência em que todos os centros de reação do Fotossistema II (FS II) estão abertos. A intensidade de fluorescência máxima (F_M), que é obtida quando os centros de reação do FS II estão fechados, também foi determinada após o pulso saturante. Foi medido também o tempo para atingir a fluorescência máxima (t_{F_M}) e a área acima da curva de fluorescência entre F_0 e F_M , que é proporcional ao tamanho do *pool* de aceptores de elétrons, Quinona A (Q_A), do lado redutor do FS II. Obtidas as intensidades de fluorescência, foram calculados os parâmetros estabelecidos pelo teste JIP, baseados na Teoria de Fluxo de Energia em Biomembranas (STRASSER, 2004) e escolhidos para demonstrar o transporte de elétrons na etapa fotoquímica da fotossíntese, conforme Strasser et al. (2010).

9.3 Trocas Gasosas e Assimilação Líquida do CO₂

Parâmetros da fotossíntese foram determinados nas mesmas folhas onde foram estimados os teores de clorofila total e a cinética da emissão da fluorescência transiente OJIP, utilizando-se um analisador de gás no infravermelho, portátil, (IRGA, modelo LCi SD, ADC BioScientific Ltd., England) a saber: assimilação de CO₂ (A , μ mol m⁻² s⁻¹), transpiração (E , μ mol m⁻² s⁻¹), condutância estomática ao vapor d'água (g_s , mol m⁻² s⁻¹), concentração intercelular de CO₂ (C_p , μ mol mol⁻¹), temperatura foliar (T_p , °C) e a diferença de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$, KPa). A partir destas variáveis, foram calculadas a eficiência instantânea de carboxilação (A/C_p , μ mol m⁻² s⁻¹, Pa⁻¹) e as eficiências de uso da água: A/E (μ mol mmol⁻¹) e A/g_s (μ mol mol⁻¹), sendo esta última denominada eficiência intrínseca do uso da água por considerar o mecanismo estomático (MARTINS et al., 2014).

10 | ANÁLISES DE RETENÇÃO DE MATERIAIS PARTICULADOS

A análise de retenção de materiais particulados foi realizada em uma segunda etapa

(Fase 2) de avaliação do Cinturão Verde, em áreas do Pátio de Minério e Pátio de Carvão, da ArcelorMittal Tubarão, 5 anos após a Fase 1, quando as espécies já alcançaram um melhor desenvolvimento. As espécies utilizadas para a realização desse trabalho foram a Aroeira Vermelha (*Schinus terebinthifolius*) e o Jamelão (*Syzygium cumini*), devido à ocorrência e à frequência das mesmas em ambas as áreas industriais.

Foram realizadas análises foliares para o micronutriente Ferro (Fe), por ser considerado o principal particulado que atinge, de forma visível, as áreas urbanas no entorno da área industrial. Utilizaram-se 20 amostras para cada espécie selecionada, sendo 10 para folhas lavadas e 10 para folhas não lavadas. Maiores detalhamentos metodológicos encontram-se no Capítulo 10 desta edição.

11 | ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os parâmetros dendrométricos coletados em campo foram compilados e submetidos à análise estatística fatorial com dois fatores de interação (A x B) a 5% de probabilidade, utilizando o Teste Tukey para a comparação das médias. O Software utilizado para a realização da estatística foi o Genes da Universidade Federal de Viçosa.

REFERÊNCIAS

CASSOL, D., SILVA, F.S.P., FALQUETO, A.R., BACARIN, M.A. An evaluation of nondestructive methods to estimate total chlorophyll content. **Photosynthetica**, v. 46, n. 4, p. 634 - 636, 2008.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. In: **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p

FACHINELLO, J. C.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E. **Fruticultura**: fundamentos e práticas. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 2008. 176 p.

INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Relatório de avaliação de espécies florestais para formação do cinturão verde**. Vitória-ES. Nov. 2013. 51 p.

MARTINS, S. C. V., GALMÉS, J. G., CAVATTE, P. C., PEREIRA, L. F., VENTRELLA, M. C., DAMATTA, F. M. Understanding the low photosynthetic rates of sun and shade coffee leaves: bridging the gap on the relative roles of hydraulic, diffusiv and biochemical constraints to photosynthesis. **PloS ONE**, v. 9, e95571, 2014.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo** - 5ª aproximação. Vitória, ES, SEEA/ Incaper/Cedagro, 2007. 305 p.

PREZOTTI, L.C.; GUARÇONI, A. **Guia de Interpretação de análise de solo e foliar**; Vitória – ES: Incaper, 2013. 104 p.

STRASSER, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. Analysis of the fluorescence transient In: Papageorgiou, G. C.; Govindjee (eds.), **Chlorophyll fluorescence: A signature of photosynthesis**. Advances in Photosynthesis and Respiration Series. Springer: Dordrecht, p. 321 - 362, 2004.

STRASSER, B. J., STRASSER, R. J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP-test, in: P. Mathis (Ed.), Photosynthesis: from Light to Biosphere, **Kluwer Academic Publishers**, The Netherlands, pp. 977 - 980, 1995.

STRASSER, R.J., TSIMILLI-MICHAEL, M., QIANG, S., GOLTSEV, V. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, p. 1313 - 1326, 2010.

FERTILIDADE DE SOLOS DE CINTURÃO VERDE EM AMBIENTES INDUSTRIAIS

Data de aceite: 08/02/2022

Aureliano Nogueira da Costa

Bernardo Enne Corrêa da Silva

Rogério Carvalho Guarçoni

Adelaide de Fátima Santana da Costa

Marco Aurélio de Abreu Bortolini

1 | INTRODUÇÃO

A pesquisa aplicada na fertilidade de solos em ambientes industriais é fundamental para o diagnóstico da fertilidade do solo e da disponibilidade dos nutrientes às espécies agronômicas e florestais na composição de quebra-ventos.

No Estado do Espírito Santo, têm ocorrido expressivos avanços científicos e tecnológicos com as pesquisas aplicadas, realizadas em cinturões verdes, na ArcelorMittal Tubarão, que, de forma inédita, avaliam a fertilidade de solos e a nutrição de plantas em ambientes industriais comparativamente com o ambiente Mata Atlântica sem interferência antropogênica, apresentando resultados inovadores quanto à utilização de barreiras vegetais como quebra-ventos.

Assim, a avaliação comparativa do comportamento das espécies em sistemas

de cultivo, no ambiente Mata Atlântica, sem interferência da ação antrópica, quanto ao crescimento, desenvolvimento e adaptação e no ambiente Industrial da ArcelorMittal representa um diferencial metodológico nesse processo.

O uso do cinturão verde para fins de quebra-vento em ambientes industriais é uma alternativa para a proteção das áreas no entorno desses ambientes com importante contribuição na redução da velocidade do vento e do potencial impacto no arraste de particulados para as áreas urbanas, proporcionando, dessa forma, melhorias nas condições ambientais e microclimáticas das áreas protegidas.

A cobertura vegetal exerce um importante papel na sustentabilidade ambiental pela sua contribuição e melhoria da qualidade do ar, atendendo a três princípios básicos: separação, alteração e remoção.

A separação consiste no papel passivo das faixas verdes em aumentar a distância entre a fonte emissora e o receptor, formando uma zona tampão e possibilitando um maior tempo para a diluição da poluição.

O princípio básico da alteração consiste no uso de espaços vegetados para modificar o meio aéreo por onde a poluição se move em direção ao receptor, com interferência direta no microclima e no fluxo de vento.

A remoção consiste na atuação da vegetação para redução da poluição, por meio

da absorção de gases, sedimentação por efeito da gravidade e retenção por contato da partícula com as plantas, reduzindo a sua movimentação e proporcionando a deposição e arraste das partículas pela chuva.

As pesquisas aplicadas desenvolvidas na área de fertilidade de solos nos sistemas agroflorestais e cinturões verdes apresentam importantes contribuições na minimização dos riscos de degradação e perdas de nutrientes no sistema solo-planta, além de contribuir com a restauração da cobertura agroflorestal. Possibilita também o restabelecimento das relações entre solos, plantas e animais, com conservação da fauna e de outros valores ecológicos, atuando como atrativos e abrigo para animais silvestres de grande importância e contribuição para a diversificação e biodiversidade. Os componentes arbóreos são utilizados de forma estratégica para o controle de erosão e aporte de matéria orgânica.

2 I AVANÇOS NA FERTILIDADE DE SOLO

O solo é um sistema complexo, de natureza física, química e mineralógica variável que, além da função de sustentação das plantas, tem o importante papel na disponibilidade de água e nutrientes presentes na solução do solo. As relações de troca são fortemente influenciadas pela interação existente no sistema solo-planta-atmosfera.

Geralmente, o solo não é maciço, apresenta poros como uma esponja que podem ser ocupados por água ou ar, dependendo das condições de umidade. A água que ocupa os poros do solo, denominada solução do solo, contém diversas substâncias minerais e orgânicas nela dissolvidas. Assim, qualquer nutriente ou substância tóxica que estiver presente na solução do solo pode ser absorvida pela planta (TOMÉ JUNIOR, 1997).

Os avanços científicos e tecnológicos obtidos nos estudos da fertilidade de solos foram notáveis nos ambientes industriais comparados com os resultados em ambiente Mata Atlântica e permitiram uma análise da fertilidade e da disponibilidade dos nutrientes nos solos.

2.1 Fertilidade de Solo

O diagnóstico da fertilidade do solo é recomendado durante todo o ciclo das plantas, pela necessidade do monitoramento da disponibilidade e equilíbrio entre os nutrientes em todas as fases do cultivo, contribuindo ao mesmo tempo para a recomendação da adubação (COSTA, 1995).

As análises física e química dos solos são fundamentais para o eficiente manejo da fertilidade. O diagnóstico feito por meio dessas análises tem grande importância, tanto para a recomendação de nutrientes na implantação dos cultivos agrícolas e florestais, quanto para o manejo e tratamentos culturais durante o desenvolvimento das plantas.

Dessa forma, o monitoramento das características físicas e químicas dos solos e

nutrição das plantas são fundamentais para o entendimento da relação entre os nutrientes nas espécies utilizadas para quebra-ventos implantados em ambientes industriais na ArcelorMittal Tubarão, nos pátios de estocagem de carvão e de minérios e em condições naturais de Mata Atlântica.

O sucesso do manejo da fertilidade do solo passa, necessariamente, pelo diagnóstico da fertilidade do solo e da necessidade de calagem para fins de recomendação de adubação. Os diagnósticos da fertilidade do solo e da nutrição da planta, quando realizados de forma conjunta, utilizam os princípios da relação solo-planta e enfatizam a importância dos fatores químicos, físicos e biológicos que atuam simultaneamente na disponibilidade de nutrientes e na absorção pela planta.

2.2 Nutrientes no Solo

A disponibilidade dos nutrientes no solo em quantidades adequadas é de fundamental importância para o crescimento e desenvolvimento das espécies agrônomicas e florestais. Entretanto, a existência de nutrientes no solo, mesmo que supostamente em quantidades disponíveis suficientes, não garante o suprimento às plantas, em razão da influência de vários fatores no processo de absorção, podendo-se destacar sua forma e sua solubilidade; as características do ambiente do solo, como o pH; a umidade e a temperatura, além da capacidade assimilativa da planta, o que evidencia a necessidade da avaliação direta do estado nutricional de plantas por meio de análise foliar (COSTA, 1995).

Os nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas são denominados de macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes são: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) e os micronutrientes são: Ferro (Fe), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Cobre (Cu) e Boro (B).

2.3 Disponibilidade de Nutrientes

A disponibilidade de nutrientes é influenciada por diversos fatores, tais como, a presença de água no perfil do solo, a interação entre os nutrientes e as características físicas e químicas dos solos.

A quantidade total do nutriente compreende todas as formas químicas desse nutriente existentes no solo, estando disponível ou não. Somente a parte que se encontra disponível na solução do solo, ou que esteja em condições de ser deslocada para a solução do solo, durante o período correspondente ao ciclo da cultura, estará disponível para as plantas (TOMÉ JUNIOR, 1997).

A acidez do solo tem influência direta na disponibilidade do nutriente na solução do solo, conforme mostrado na Figura 1, sendo que a faixa de pH entre 6,0 a 6,5 é considerada a mais adequada para a maioria dos cultivos agrícolas e florestais.

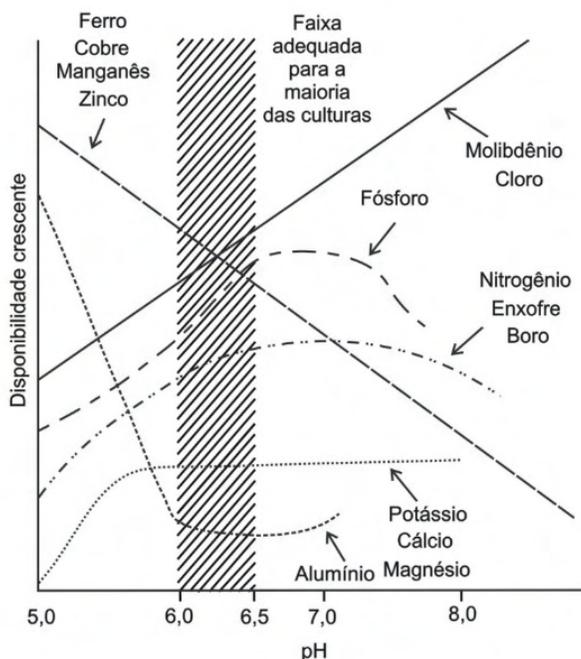


Figura 1 - Disponibilidade de nutrientes em função do pH do solo.

Fonte: PREZOTTI, L.C.; GUARÇONI (2013).

3 | ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA NO SOLO

3.1 Análises Físicas

As análises físicas dos solos nas áreas experimentais, nos ambientes industriais e de Mata Atlântica, foram realizadas no laboratório de análise química e física de solos do Incaper, sendo as amostras coletadas no momento da implantação do experimento para classificação textural do solo (Tabela 1).

As principais frações granulométricas que compõem o solo são partículas entre 2 e 0,02 mm (areia), a 0,02 a 0,002 mm (silte) e menores que 0,002mm (argila). As partículas com granulometrias maiores contribuem para o aumento da porosidade do solo e o melhor desenvolvimento das raízes (PREZOTTI et al., 2007).

Segundo Rajj e Quaggio (1983), a proporção relativa das frações argila, silte ou areias no solo é que define a textura. As diversas classes texturais são utilizadas principalmente para a classificação dos solos. De uma forma simplificada, uma amostra de solo é considerada arenosa se contiver mais de 85% de areias, argilosa se contiver mais de 35% de argila e barrenta ou franca se contiver menos de 35% de argila e menos de 85% de areias.

Na Tabela 1 são apresentadas as análises granulométricas dos solos das áreas avaliadas.

Área Experimental	Areia		Silte	Argila	Classificação Textural
	Fina	Grossa			
	g/kg				
Mata Atlântica	19	13.2	353.8	614	Muito argilosa
Pátio de Carvão	241	172.4	152.4	434	Argilosa
Pátio de Minério	349	224.8	121.4	304	Franco-argiloarenosa

Tabela 1 - Análise granulométrica dos solos das áreas experimentais.

Fonte: O Autor.

3.2 Análises Químicas de Nutrientes e Metais Pesados

As análises foram realizadas para fins de recomendação de adubação e monitoramento dos nutrientes e minerais utilizando-se o procedimento de amostragem conforme recomendação de Prezotti e Guarçoni (2013) para as profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm.

As análises químicas para a detecção de metais pesados foram realizadas para chumbo, cádmio, níquel e cromo, elementos químicos presentes nas atividades industriais da ArcelorMittal Tubarão. Entretanto, com o monitoramento e análises realizadas não foi identificada a presença de metais pesados nas áreas experimentais durante todo o período de condução dos experimentos.

4 | ADUBAÇÃO DE PLANTIO E MANUTENÇÃO

Os resultados obtidos por meio das análises de solo foram determinantes para a definição da recomendação de adubação a ser utilizada por ocasião do plantio das espécies avaliadas.

Em todas as áreas experimentais foram aplicados adubos químicos e orgânicos por ocasião do plantio, além da aplicação de calcário para a correção do pH dos solos transpostos. A adubação química de plantio seguiu a recomendação de Prezotti e Guarçoni (2013):

- 100 gramas de calcário dolomítico;
- 200 gramas de superfosfato simples;
- 3 litros de composto orgânico.

As análises foliares serviram de base para a realização da diagnose foliar, com a

identificação dos teores nutricionais das espécies, as quais serão discutidas no Capítulo 7 desta edição, que, juntamente com as análises de solo, subsidiaram a recomendação de adubação de manutenção.

As adubações de manutenção das áreas experimentais, também denominadas adubações de cobertura, foram realizadas em 2013, em três períodos distintos: abril, julho e outubro, utilizando-se o composto nitrato de magnésio, nas quantidades de 10, 15 e 20 gramas, respectivamente. A adubação fosfatada, com 80 gramas de superfosfato simples por metro quadrado, foi realizada em novembro de 2015, em resposta às análises de solos realizadas.

As adubações em cobertura foram realizadas via sistema de fertirrigação, utilizando-se o nitrato de amônia, cloreto de potássio e micronutrientes, segundo a recomendação apresentada na Tabela 2, para os três períodos distintos (jan. a jul., jul. a out., nov. a dez.).

Adubo	Kg/ha/aplicação				
Janeiro a Junho de 2016					
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Nitrato de Amônia	12	-	-	-	12
Cloreto de Potássio	8	-	-	-	8
Micronutrientes	-	-	3	-	-
Julho a Outubro de 2016					
Nitrato de Amônia	6	-	-	-	6
Cloreto de Potássio	3,5	-	-	-	3,5
Micronutrientes	-	-	2	-	-
Novembro de 2016 a Janeiro de 2017					
Nitrato de Amônia	8	-	-	-	8
Cloreto de Potássio	6	-	-	-	6
Micronutrientes	-	-	3	-	-

Tabela 2 - Dosagem de adubos aplicados em três períodos distintos via irrigação.

Fonte: O Autor.

Para o composto de micronutrientes aplicados pelo sistema de fertirrigação, buscou-se englobar todos os micronutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas, nas seguintes contrações:

- Boro (B) = 2 a 3%;
- Cobre (Cu) = 3 a 4%;
- Ferro (Fe) = 8 a 10%;
- Manganês (Mn) = 8 a 10%;
- Molibdênio (Mo) = 0,1%;

- Zinco (Zn) = 10%.

5 I ANÁLISE QUÍMICA DOS SOLOS DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

Os resultados das análises químicas dos solos são apresentados na Tabela 3 com destaque para a acidez (pH), Fósforo(P), Potássio (K), Sódio (Na), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Alumínio Trocável (Al), Matéria Orgânica (M.O), Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (t), Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 (T), Soma de Bases (SB), Saturação de Bases (V) e Saturação de alumínio (m) para as camadas 0 a 20 e 20 a 40 cm, na fase de plantio e 30 meses, após o plantio, nas áreas experimentais: Área 1 - condições naturais de Mata Atlântica, Área 2 - Pátio de Carvão e Área 3 - Pátio de Minério.

5.1 Acidez do Solo (pH)

A acidez do solo é considerada um indicador da fertilidade atual do solo não apenas por influenciar na solubilidade e disponibilidade dos nutrientes, mas também por determinar a forma química que os nutrientes e o alumínio se encontram no solo. Em solos ácidos, o alumínio predominante é Al^{3+} , que pode causar danos às raízes por reduzir o crescimento e impedir a formação dos pêlos radiculares, responsáveis pela absorção de água e nutrientes.

A faixa de acidez mais recomendada para a maioria dos cultivos agrícolas e florestais é de 6,0 a 6,5.

Na fase de implantação do experimento, nas condições naturais de Mata Atlântica, na Fazenda Experimental Eng. Reginaldo Conde, o pH foi de 4,8, mostrando uma acidez classificada como média, predominante em solos intemperizados e ácidos, característicos dos solos da região do Bioma Mata Atlântica. Entretanto, após os 30 meses de cultivo, o valor do pH apresentou uma alteração, promovido pela correção da acidez, com a aplicação de calcário, na fase de implantação do experimento, passando de 4,8 para 5,1.

As áreas experimentais do Pátio de Carvão apresentaram valores de pH variando de 7,5 a 7,4, respectivamente, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm por ocasião do plantio e de 7,2 e 7,9 nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40, respectivamente, aos 30 meses após o plantio. No Pátio de Minério, foram verificados valores de pH igual a 8,0 nas duas profundidades avaliadas por ocasião do plantio e também aos 30 meses após o plantio.

Assim, como o pH ficou acima de 7 nas duas áreas experimentais localizadas nos pátios da ArcelorMittal Tubarão, os solos foram classificados como básicos.

Nessas condições de pH básico, não foi observada a presença do Al^{3+} nas Áreas 2 e 3, ao contrário da Área 1 (pH ácido), onde foi verificada a presença do Al^{3+} , o qual pode interferir de forma negativa no crescimento do sistema radicular das espécies cultivadas (Figura 1), como comentado anteriormente.

É importante destacar as diferenças na dinâmica e disponibilidade de nutrientes

em função da acidez do solo. Pela Tabela 3, pode-se verificar que há grande diferença nas características químicas dos solos das Áreas Experimentais 2 e 3 em relação à Área 1, onde predominam solos com características ácidas, ou seja, pH inferior a 7,0 e com presença do Al^{3+} .

5.2 Saturação de Bases (V%)

A saturação de bases (V%) indica a quantidade total de cargas negativas no sistema de trocas do solo ocupadas pelas bases K^+ , Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} e está diretamente relacionada com a acidez do solo. Solos ácidos estão associados, normalmente, às baixas saturações de bases, enquanto para os solos classificados como básicos, os valores de saturação de bases aumentam consideravelmente.

A recomendação da calagem para o solo da Área 1, classificado como solo ácido, foi realizada com o objetivo de corrigir a acidez para elevar o pH para a faixa considerada adequada para a maioria dos cultivos agrícolas e florestais (entre 6,0 e 6,5).

É importante destacar que a correção da acidez do solo com a aplicação de calcário foi suficiente para promover a elevação no valor da saturação de base (V%) da Área 1, passando de 19 para 48,1%, com aumento superior a 100%, tanto na profundidade de 0 a 20 quanto a de 20 a 40 cm (Tabela 2). Esses resultados corroboram a importância da correção da acidez do solo e sua influência na disponibilidade dos nutrientes, conforme mostrado na Figura 1.

É importante destacar que a saturação de bases após 30 meses de cultivo ficou próximo do valor recomendado para os cultivos agrícolas e florestais (em torno de 60%).

Os valores de V (%) na Área 1 para as duas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, no plantio e aos 30 meses após o plantio, ficaram abaixo do valor recomendado para a maioria das culturas agrícolas e florestais, que é de 60%, para o Espírito Santo. Embora tenha sido observado baixo valor de V (%) no plantio com 19 e 15%, respectivamente, para as profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, com o uso da calagem, esses valores passaram, respectivamente, para 48,1 e 33,6% após 30 meses de cultivo.

Nas áreas industriais, os valores observados ficaram acima de 60%, ou seja, 92 e 88,3% nas profundidades de 0 a 20 cm, no plantio e 30 meses após o plantio, respectivamente, para o Pátio de Carvão e de 94 para 93,3% nas profundidades de 0 a 20 cm, no plantio e após o período de cultivo (30 meses), respectivamente, para o Pátio de Minério. A elevada saturação de bases é um dos fatores que pode contribuir para a disponibilidade dos nutrientes para as plantas, e dentro desse contexto, as Áreas 2 e 3 (ambientes industriais) apresentam condições mais favoráveis quando comparadas com a Área 1, no ambiente Mata Atlântica, na Fazenda Experimental Eng. Reginaldo Conde.

5.3 CTC

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) é uma das características mais importantes para a avaliação do potencial de troca de cargas e disponibilidade de nutrientes no solo, por indicar a quantidade total de cargas negativas para o processo de troca catiônica.

Com maior quantidade total de cargas negativas, haverá maior retenção de cátions, como cálcio, magnésio, potássio, além de outros nutrientes em menores quantidades, evitando que os mesmos percolem com as águas de drenagem e, ao mesmo tempo, mantendo-os em condições de disponibilidade para as plantas (RAIJ, 1981).

A Capacidade de Troca Catiônica Efetiva – CTC efetiva (t) é o valor de cargas negativas que o solo apresenta nas condições naturais, sem a correção do pH (acidez). Dessa forma, a relação entre a CTC efetiva e a CTC a pH 7,0 é influenciada pela faixa de pH do solo.

A Capacidade de Troca Catiônica - CTC a pH 7,0 (T), no plantio, na área 1 foi de 10,4 e 10,9 cmolc.dm^{-3} , nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, respectivamente, valores esses considerados altos para CTC. De forma semelhante, foi observado na Área 3, no plantio, o valor para a CTC a pH 7,0 (T), nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de 10,6 e 10, o que é considerado alto.

Áreas Experimentais	Período	Profundidade (cm)	pH		Al ³⁺ t (CTC efetiva)		T (CTC a pH 7,0)	SB	M.O.	V	m
							(cmolc dm^{-3})	(dag/dm^3)	%		
Área 1: Em Condições Naturais de Mata Atlântica	Plantio	0 - 20	4.8	2.1	4.1	10.4	2.0	2.6	19.0	51	
		20 - 40	4.9	2.2	3.8	10.9	1.7	2.2	15.0	58	
	30 meses após plantio	0 - 20	5.1	0.4	5.2	10.0	4.8	2.8	48.1	8	
		20 - 40	5.1	0.4	3.6	9.6	3.2	2.1	33.6	11	
Área 2: Pátio de Carvão	Plantio	0 - 20	7.5	0	7.4	8.0	7.4	1.4	92.0	0	
		20 - 40	7.4	0	8.5	9.1	8.5	1.7	93.0	0	
	30 meses após plantio	0 - 20	7.2	0	8.3	9.4	8.3	2.1	88.3	0	
		20 - 40	7.9	0	7.8	8.8	7.8	3.1	88.6	0	
Área 3: Pátio de Minério	Plantio	0 - 20	8.0	0	10.0	10.6	10.0	1.7	94.0	0	
		20 - 40	8.0	0	9.4	10.0	9.4	1.4	95.0	0	
	30 meses após plantio	0 - 20	8.4	0	8.3	8.9	8.3	2.6	93.3	0	
		20 - 40	8.4	0	7.9	8.6	7.9	2.4	91.8	0	

TABELA 3 - Análises químicas dos solos para acidez (pH), Alumínio Trocável (Al), Matéria Orgânica (M.O), Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (t), Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 (T), Soma de Bases (SB), Saturação de Bases (V) e saturação de alumínio (m) nas camadas 0 a 20 e 20 a 40 centímetros, na fase de plantio e 30 meses após o plantio, das áreas experimentais.

Fonte: O Autor.

5.4 Matéria Orgânica (M.O.)

O teor de Matéria Orgânica é um excelente indicador da qualidade do solo, uma vez que a sua interação com o solo influencia diretamente na retenção e infiltração de água, porosidade, formação dos agregados, densidade do solo, pH, capacidade tampão, CTC efetiva e a pH 7,0, atividade microbiana, entre outros (CUNHA; MENDES; GIONGO, 2015).

Outra importante função da matéria orgânica destacada por Raji (1981) é a incorporação de dois elementos químicos essenciais existentes no material de origem ao solo: o carbono e o nitrogênio. O nitrogênio é o nutriente mais importante do ponto de vista quantitativo, o que corrobora com a recomendação do uso da matéria orgânica como fonte desse nutriente. O fósforo e o enxofre são nutrientes também encontrados em importantes proporções na matéria orgânica do solo.

No Gráfico 1, pode-se verificar o teor de matéria orgânica presente nos solos das áreas experimentais por ocasião da implantação do cinturão verde e aos 30 meses após o plantio.

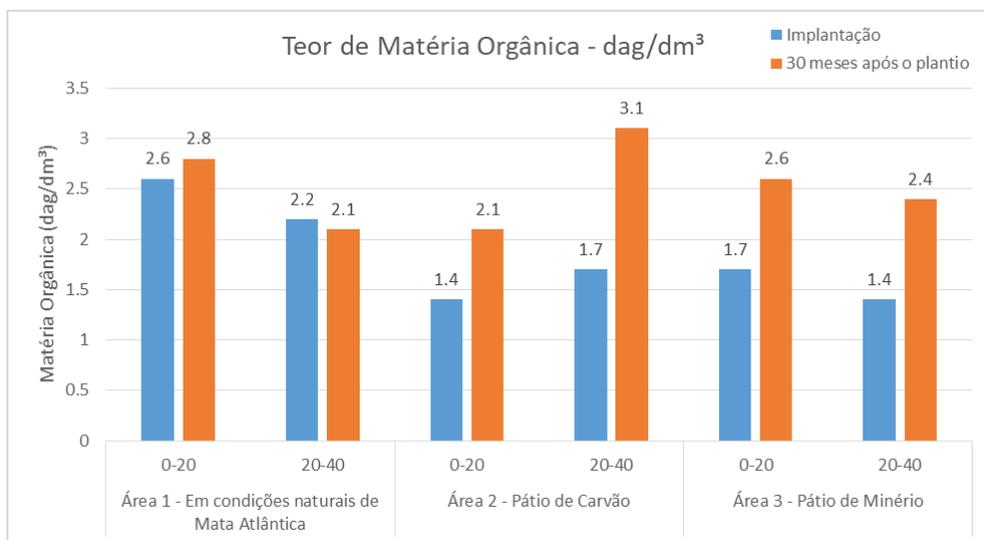


Gráfico 1 - Teor de matéria orgânica das áreas experimentais.

Fonte: O Autor.

A matéria orgânica na Área 1 não sofreu alterações expressivas durante o período avaliado nas duas profundidades de coleta do solo, apresentando valores de 2,6 dag.dm⁻³ para 2,8 dag.dm⁻³, na profundidade de 0 a 20 cm, no plantio, e aos 30 meses após o plantio, respectivamente.

Nas áreas experimentais 2 e 3, localizadas em ambientes industriais, observou-se

uma elevação nos teores de MO considerados baixos, por ocasião da implantação dos experimentos, com valores de 1,4 e 1,7 dag.dm⁻³, na camada de 0 a 20 cm, no Pátio de Carvão (Área 2) e Pátio de Minério (Área 3) para 2,1 e 2,6 dag.dm⁻³ respectivamente, após o período de 30 meses de cultivo. Essa mesma tendência foi observada também para a profundidade de 20 a 40 cm, com os valores de 1,7 e 1,4 dag.dm⁻³ na implantação, para 3,1 e 2,4 dag.dm⁻³, respectivamente, aos 30 meses de cultivo, para os Pátios de Carvão (Área 2) e Pátio de Minério (Área 3).

6 I ANÁLISE DOS MACRONUTRIENTES NO SOLO

Os resultados das análises químicas para os macronutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) para as profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, nos três ambientes, são apresentados na Tabela 4.

Área Experimental	Período	Profundidade (cm)	P	K	Ca ²	Mg ²
			mg/dm ³		cmolc/dm ³	
Área 1- Em condições naturais de Mata Atlântica	Plantio	0 - 20	25	67	1,4	0,4
		20 - 40	26	60	1,1	0,3
	30 meses após o Plantio	0 - 20	30	390	3,0	0,7
		20 - 40	16	35	2,5	0,5
Área 2- Pátio de Carvão	Plantio	0 - 20	22	133	5,5	1,3
		20 - 40	28	219	6,0	1,7
	30 meses após o Plantio	0 - 20	23	63	6,5	1,2
		20 - 40	5	110	6,1	1,0
Área 3- Pátio de Minério	Plantio	0 - 20	5	133	9,0	0,6
		20 - 40	13	121	8,3	0,7
	30 meses após o Plantio	0 - 20	23	40	6,3	1,6
		20 - 40	2	56	6,5	1,0

Tabela 4 - Teores de macronutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) para as profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm nas áreas experimentais.

Fonte: O Autor.

6.1 Fósforo (P)

Os compostos de fósforo (P), além de numerosos, são cruciais para o metabolismo das plantas. O P participa, direta ou indiretamente, dos processos metabólicos das plantas durante todo o seu ciclo de vida. Os ésteres de carboidratos, por exemplo, são produtos intermediários no desdobramento respiratório e na produção fotossintética dos açúcares, elemento fundamental para o desdobramento dos açúcares na respiração (MALAVOLTA, 1976).

Plantas com níveis adequados de P são mais vigorosas e menos suscetíveis às doenças. As membranas celulares de plantas deficientes em P deixam extravasar metabólicos (PREZOTTI et al., 2007), sendo uma porta de entrada para fungos, o que

aumenta a sensibilidade das plantas às doenças fúngicas.

O P no ambiente Mata Atlântica (Área 1) apresentou resultados próximos aos observados no Pátio de Carvão, entretanto os resultados obtidos no ambiente do Pátio de Minério foram considerados inferiores aos demais ambientes.

Esses resultados mostram a importância dos estudos aplicados em diferentes ambientes com condições distintas, explicado, provavelmente, em função da construção dos taludes com solos transpostos de locais externos ao ambiente industrial com baixo teor de fósforo, como foi o caso do solo usado no Pátio de Minério.

O resultado obtido para o P mostrou um aumento aos 30 meses após o plantio, na camada de 0 a 20 cm e apresentou uma redução na camada de 20 a 40 cm, para os três ambientes estudados.

Os teores de P foram considerados altos, maior que 20 mg/dm³, de acordo com o a 5ª aproximação do Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007).

6.2 Potássio (K)

A importância desse macronutriente para as plantas cultivadas é inquestionável. No caso de gramíneas, por exemplo, estimula o desenvolvimento vegetativo e o seu perfilhamento; aumenta o teor de carboidratos, óleos, gorduras e proteínas; promove o armazenamento de açúcar e amido; ajuda a fixação simbiótica de nitrogênio; aumenta a utilização de água, além de aumentar a resistência a secas, geadas, pragas e doenças (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Os resultados da análise química do solo para o Potássio (K) foram maiores nos ambientes industriais quando comparados com os solos do ambiente da Mata Atlântica.

Os resultados foram classificados como altos no ambiente da Mata Atlântica, maior que 150 mg/dm³ e médios nos ambientes industriais, entre 60 e 150 mg/dm³.

O maior teor observado no ambiente Mata Atlântica está em função das características naturais deste solo, enquanto nos ambientes do Pátio de Carvão e Pátio de Minério, os solos transpostos para a construção dos taludes possuíam teores de K mais baixos.

6.3 Cálcio (Ca)

O cálcio (Ca) é um nutriente importante para estimular o desenvolvimento das raízes e está diretamente envolvido na severidade de diversas doenças fúngicas, sendo considerado um elemento essencial para a constituição e estabilidade das paredes celulares e membranas plasmáticas. Muitos fungos penetram no tecido através da produção extracelular de enzimas pectolíticas, cuja atividade é inibida por esse nutriente (PREZOTTI et al., 2007).

Os resultados da análise química do solo para o Ca foram maiores nos ambientes

industriais em função da correção da acidez, quando comparado com o ambiente da Mata Atlântica, que apresentam solos com características ácidas.

Os teores de Ca foram classificados como médio no ambiente Mata Atlântica (1,5 a 4,0 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) e alto ($> 4,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) nos ambientes industriais do Pátio de Carvão e Pátio de Minério, na profundidade de 0 a 20 cm, aos 30 meses após o plantio na profundidade 0 a 20 cm (PREZOTTI et al., 2007).

6.4 Magnésio (Mg)

A interferência de um nutriente na absorção de outro foi destacada por Malavolta (1976). A absorção do Mg sofre interferência direta da presença de K na solução do solo ou no substrato. Assim, a absorção do Mg, entre outros fatores, depende do nível do K. Se a proporção K/Mg no meio for alta, diminui a absorção do Mg de tal modo que a planta poderá apresentar sintomas de deficiência desse elemento.

Os resultados da análise química do solo para o Mg mostraram valores superiores nos ambientes industriais, enquanto no ambiente da Mata Atlântica os valores foram classificados como baixo a médio (0,5 a 1,0 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$). Os valores para os ambientes industriais foram classificados como médio a alto ($> 1,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$).

A análise conjunta para os macronutrientes P, K, Ca e Mg permite classificá-los de acordo com Prezotti et al. (2007) em médio a alto nos ambientes industriais e baixo no ambiente Mata Atlântica. Embora o valor observado no ambiente Mata Atlântica tenha sido considerado baixo apenas para o Mg e médio a alto para o P, K e Ca, esses valores não foram limitantes quer seja por deficiência, quer seja por excesso de macronutrientes.

7 | ANÁLISE DOS MICRONUTRIENTES NO SOLO

Os resultados das análises químicas para os micronutrientes boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn), para as profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, nos solos dos três ambientes, são apresentados na Tabela 5.

Área Experimental	Período	Profundidade (cm)	B	Zn	Cu	Fe	Mn
			mg/dm ³				
Área 1 - Em condições de Mata Atlântica	Plantio	0 - 20	0,11	1,6	3,4	147	15
		20 - 40	0,20	1,4	3,2	122	8,8
	30 meses após o	0 - 20	0,63	1,8	2,8	158	52
		20 - 40	0,60	1,1	2,2	149	21
Área 2 - Pátio de Carvão	Plantio	0 - 20	0,22	7,3	1,2	464	142
		20 - 40	0,41	10,0	1,3	454	168
	30 meses após o	0 - 20	0,63	8,3	1,2	413	308
		20 - 40	0,31	8,9	0,9	243	205
Área 3 - Pátio de Minério	Plantio	0 - 20	0,47	11,0	0,7	263	227
		20 - 40	0,31	10,0	1,1	356	189
	30 meses após o	0 - 20	0,93	5,7	0,2	38	216
		20 - 40	0,35	3,9	0,2	22	77

Tabela 5 - Teores de micronutrientes, boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn), para as profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm no ambiente Mata Atlântica e nos ambientes industriais (Pátio de Carvão e Pátio de Minério).

Fonte: O Autor.

7.1 Boro (B)

A disponibilidade B está diretamente ligada ao teor de matéria orgânica, considerada a principal fonte desse elemento, o qual é liberado para a planta durante o processo de mineralização. A matéria orgânica, ao se mineralizar sob a ação dos micro-organismos do solo, libera Nitrogênio (N), Enxofre (S) e Boro (B), que podem ser absorvidos pela planta. Se o pH for muito baixo (alta acidez), a atividade microbiana é diminuída, o que reduz o fornecimento desses elementos. Se o pH estiver muito alto, consequência de calagem excessiva, por exemplo, o boro entra em combinação com as argilas e com a própria matéria orgânica, reduzindo a disponibilidade (MALAVOLTA, 1986).

A deficiência hídrica também pode acentuar os sintomas de carência de B, pois a falta de água reduz a atividade e a presença dos micro-organismos responsáveis pela mineralização da matéria orgânica e, conseqüentemente, sua disponibilidade na solução do solo. Assim, a absorção desse micronutriente pela raiz também é reduzida. O excesso de chuva ou de irrigação pode também provocar a lavagem do B, com seu deslocamento para fora de alcance das raízes.

Os resultados da análise química do solo para o B foram classificados como médio, variando entre 0,35 e 0,90 mg/dm³ para os três ambientes: Mata Atlântica (Área 1), Pátio de Carvão (Área 2) e Pátio de Minério (Área 3).

7.2 Zinco (Zn)

O zinco (Zn) exerce ação protetora contra o ataque de radicais livres do oxigênio e tem importante papel na permeabilidade e manutenção da integridade das membranas

plasmáticas, evitando o vazamento de solutos orgânicos das células (PREZOTTI et al., 2007).

O Zn é também necessário para a formação de auxina (Ácido Indolacético - AIA), que tem papel fundamental para o crescimento das plantas. Plantas deficientes em Zn, como por exemplo o Eucalipto, apresentam encurtamento dos internódios, folhas amareladas entre as nervuras e lanceoladas, secamento dos ponteiros e roseta na ponta dos ramos (MALAVOLTA, 1986).

Pelos resultados da análise química do solo, os substratos apresentaram altos teores de Zn ($> 2,2 \text{ mg/dm}^3$) para os ambientes industriais de carvão e de minério e foram classificados como médio (variando entre $1,0$ a $2,2 \text{ mg/dm}^3$) no ambiente da Mata Atlântica.

7.3 Cobre (Cu)

O Cobre (Cu) participa de diversos processos fisiológicos, tais como: fotossíntese, respiração, distribuição de carboidratos, redução e fixação de nitrogênio, além do metabolismo de proteínas e formação da parede celular. Esse micronutriente também é importante para os mecanismos de resistência a doenças, sendo necessário um suprimento adequado de cobre (FERREIRA; CRUZ, 1991) para minimizar a incidência de doenças fúngicas.

Os resultados da análise química do solo para o Cu, foram classificados como alto ($> 1,8 \text{ mg/dm}^3$) para o ambiente Mata Atlântica e médio (variando entre $0,8$ a $1,8 \text{ mg/dm}^3$) para os ambientes industriais do Pátio de Carvão e Pátio de Minério.

7.4 Ferro (Fe)

O Ferro (Fe) funciona especificamente na ativação de vários sistemas de enzimas, tais como a catálise (responsável pela decomposição do peróxido de hidrogênio em oxigênio e água) e as oxidases (catalisa uma reação de oxidação/redução envolvendo oxigênio molecular, reduzindo-o à água ou a peróxido de hidrogênio) e também entra na composição das ferredoxinas: proteínas ferro-enxofre que intermedeiam a transferência de elétrons num grande número de reações metabólicas (CAMARGO, 1975).

A deficiência deste micronutriente perturba o mecanismo da formação da clorofila. Há correlação entre o conteúdo clorofílico das folhas e o seu teor de Fe. Por isso, o sintoma típico de deficiência do micronutriente é a falta de produção de clorofila nas folhas novas, resultando em identificação de sintomas visuais de deficiência, primeiramente nas folhas mais novas, podendo se estender às folhas maduras quando a deficiência é muito intensa.

Os resultados da análise química do solo para o Fe foram classificados como alto ($>45 \text{ mg/dm}^3$) para os três ambientes: Mata Atlântica, Pátio de Carvão e Pátio de Minério, por ocasião do plantio.

Esse resultado se manteve aos 30 meses após o plantio, para o ambiente Mata

Atlântica e Pátio de Carvão. Somente para o Pátio de Minério, o Fe foi classificado como médio (variando entre 20 e 45 mg/dm³).

Assim, de forma geral, pode-se considerar que o teor de Fe não apresentou diferenças entre os ambientes, destacando que os ambientes industriais apresentaram valores semelhantes aos ambientes da Mata Atlântica.

7.5 Manganês (Mn)

O Mn, um dos micronutrientes mais abundantes na litosfera, atua principalmente nos processos bioquímicos de oxidação-redução nos vegetais. No solo encontra-se na estrutura dos minerais, na forma trocável, na solução e complexado pelos compostos orgânicos. O equilíbrio dinâmico entre os compostos presentes em uma dessas quatro formas é principalmente influenciado pelo pH e pelas condições de oxidação-redução no solo. Esse equilíbrio no solo também pode ser afetado pela atividade microbiana e pelo teor de matéria orgânica. Assim qualquer mudança no ambiente que afete sensivelmente um desses fatores influenciará na disponibilidade do micronutriente (FERREIRA; CRUZ, 1991).

Como o Mn ativa diversas e numerosas enzimas, a sua deficiência provoca muitos desarranjos metabólicos. A fotossíntese é diminuída, uma vez que o Mn participa da formação da clorofila e da formação, multiplicação e funcionamento dos cloroplastos (MALAVOLTA, 1976).

Os resultados da análise química do solo para o Mn foram classificados como altos (>12 mg/dm³) para os três ambientes: Mata Atlântica, Pátio de Carvão e Pátio de Minério.

A análise conjunta para os micronutrientes Boro, Zinco, Cobre, Ferro e Manganês destaca que eles não foram limitantes, quer seja por deficiência, quer seja por excesso nos ambientes da Mata Atlântica, Pátio de Carvão e Pátio de Minério estudados, sendo classificados como teores médios a altos, com base na classificação da 5ª aproximação do Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007).

8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O valor observado para o ferro no talude do Pátio de Minério foi superior na implantação, atingindo valor de 356 mg/dm³ na profundidade 20 a 40 cm, e na avaliação aos 30 meses após o plantio, esses valores decresceram para 22 mg/dm³, indicando a influência do Cinturão Verde na redução do arraste e deposição de particulados ricos em ferro no ambiente industrial.

O pH das áreas experimentais em ambientes industriais na ArcelorMittal Tubarão tem a tendência a ser básico, tornando-se mais básico ao longo do tempo, sendo interessante a aplicação de adubos ácidos para contribuir com a redução do pH.

A saturação de bases extremamente alta nas áreas experimentais em ambiente industrial na ArcelorMittal Tubarão ocorreu provavelmente devido ao pH mais básico. Esse fato pode prejudicar a disponibilidade de alguns nutrientes e auxiliar a disponibilidade de outros.

Mesmo o Ferro no solo sendo classificado como alto nos ambientes industriais, não causou prejuízo ao crescimento e desenvolvimento das plantas, provavelmente em função da baixa acidez do solo nesses ambientes. Com pH básico, o Ferro torna-se pouco disponível para as plantas.

O pH do solo, de maneira geral, ficou na faixa adequada para a maioria dos nutrientes, entre 6,0 e 6,5, faixa essa que reduz a disponibilidade do alumínio trocável (tóxico) e mantém a maioria dos nutrientes em disponibilidade satisfatória, o que favorece o crescimento e desenvolvimento das diferentes espécies agrônômicas e florestais.

A evolução da matéria orgânica no solo das áreas industriais ao longo dos estudos foi superior aos valores observados na área em condições de Mata Atlântica.

Pela análise conjunta para os macronutrientes P, K, Ca e Mg, observou-se que os mesmos não foram limitantes, quer seja por deficiência, quer seja por excesso, nas condições experimentais, para os três ambientes estudados.

Pela análise conjunta para os micronutrientes B, Zn, Cu, Fe e Mn, observou-se também que os mesmos não foram limitantes, quer seja por deficiência, quer seja por excesso, nas condições experimentais para os três ambientes estudados, sendo os teores classificados como médio a alto.

REFERÊNCIAS

CAMARGO, P. N.; SILVA, O. **Manual de Adubação Foliar**. São Paulo – SP: Herba, 1975. 258 p.

COSTA, A. N. da. **Uso do Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS), na avaliação do estado nutricional do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no Estado do Espírito Santo**. 1995. 94 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. In: NUNES, R.; REZENDE, M. O. O. (org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Editora Cubo, 2015. p. 273 - 290.

FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba – SP: KP Potafos, 1991, 734 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola**. São Paulo – SP: Ceres, 1976. 100 p.

MALAVOLTA, E. **Micronutrientes na adubação**. Paulínia – SP: Nutriplant indústria e Comércio Ltda, 1986. 70 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed., rev. e atual., Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação.** Vitória, ES, SEEA/ INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305 p.

PREZOTTI, L.C.; GUARÇONI, A. **Guia de Interpretação de análise de solo e foliar.** Vitória – ES: Incaper, 2013. 104 p.

RAIJ, B. V. **Avaliação da Fertilidade do solo.** Piracicaba – SP: Instituto da Potassa e Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1981, 142 p.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solos para fins de fertilidade.** Campinas: IAC, 1983. 31p. (IAC. Boletim Técnico, 81).

TOMÉ JUNIOR, J. B. **Manual para interpretação de Análise de solo.** Guaíba – RS: Agropecuária, 1997, 247 p.

DIAGNOSE FOLIAR E NUTRIÇÃO DE ESPÉCIES AGROFLORESTAIS CONDUZIDAS EM CINTURÃO VERDE

Data de aceite: 08/02/2022

Aureliano Nogueira da Costa

Bernardo Enne Corrêa da Silva

Rogério Carvalho Guarçoni

Fabio Favarato Nogueira

Roberta Cristina Cotta Duarte Conde

1 | INTRODUÇÃO

A diagnose foliar e nutrição mineral de plantas vem sendo utilizada com sucesso nos estudos de monitoramento e diagnóstico do estado nutricional de plantas, com grandes avanços na avaliação e monitoramento do equilíbrio entre os nutrientes, evitando os danos causados tanto por excesso quanto por deficiência nutricional.

A avaliação da fertilidade de solos e da nutrição de plantas quando realizada por meio da análise química dos nutrientes no solo, em conjunto com a análise foliar, proporciona uma interação dos fatores solo-plantas com maior capacidade e qualidade do diagnóstico do estado nutricional e a recomendação de adubação (COSTA, 1996). Nesse contexto, Munson e Nelson (1973) destacam que o teor do nutriente na planta é resultante da ação e interação entre os fatores que afetam a disponibilidade do

nutriente no solo e a sua absorção pela planta.

O estado nutricional de plantas e suas interações entre os nutrientes e a fertilidade do solo podem ser avaliados utilizando-se o diagnóstico nutricional por meio da análise foliar, que considera a existência de uma relação direta entre os nutrientes e o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Diversos fatores interferem na disponibilidade dos nutrientes no solo e sua absorção pelas plantas, uma vez que estas apresentam diferenças entre si quanto ao teor de nutrientes foliares, mesmo em ambientes edáficos semelhantes (HARIDASAN, 1998). Mesmo assim, podem refletir a disponibilidade de nutrientes e, de forma indireta, a fertilidade dos solos sobre os quais se encontram (HARIDASAN; ARAÚJO, 1988).

A avaliação da nutrição mineral das plantas cultivadas em ambientes da Mata Atlântica e Industrial é fundamental para identificar, de forma comparativa, o efeito do ambiente e a interação nutricional no crescimento e desenvolvimento dessas espécies para subsidiar o manejo adequado das espécies agrônômicas e florestais e sua recomendação como quebra-ventos. A implantação e o cultivo de espécies de interesse econômico e florestal em sistemas agroflorestais é uma importante ação para a cobertura verde, que, além de contribuir para a redução da concentração de CO₂ na atmosfera, exerce

importante papel como barreira verde para a redução da velocidade do vento.

Nesse sentido, as pesquisas científicas com a utilização de espécies agrônômicas e florestais na formação de quebra-vento desenvolvidas no Estado do Espírito buscam avaliar a utilização de cultivos em sistemas agroflorestais em ambientes da Mata Atlântica e em pátios industriais para formar uma barreira vegetal e reduzir a velocidade do vento e o seu potencial de arraste de particulados.

2 I NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS

A nutrição mineral de plantas é um importante fator no sistema de produção, considerado fundamental para o crescimento e desenvolvimento, produtividade, qualidade e longevidade das plantas. A importância da nutrição mineral no aumento da produtividade é citada como o principal fator de produção (LIEBIG, 1873 apud MARSCHNER, 1995).

Os nutrientes exercem funções específicas e essenciais no metabolismo vegetal. Dentre os mais de 100 elementos químicos existentes na natureza, 11 são considerados essenciais para as plantas, denominados de macronutrientes e micronutrientes.

Outra classificação também é admitida com base nas propriedades físico-químicas, subdividindo esses elementos químicos em metais (potássio, cálcio, magnésio, ferro, manganês, zinco, cobre, molibdênio e níquel) e não metais (nitrogênio, enxofre, fósforo, boro e cloro). Porém, neste capítulo, será utilizada preferencialmente a classificação de macronutrientes e micronutrientes.

A determinação da disponibilidade do nutriente no solo é realizada por meio da análise química do solo, de forma rotineira, em laboratórios de análise de solo, para dar suporte à recomendação de adubação e satisfazer às necessidades de nutrientes para as plantas. A existência de nutrientes no solo, mesmo que supostamente em quantidades disponíveis suficientes, não garante o suprimento às plantas, em razão da influência de vários fatores no processo de absorção. Assim, a avaliação e o monitoramento do estado nutricional de plantas, com o auxílio dos resultados de análises foliares, é uma prioridade na agricultura sustentável (COSTA, 1995).

Os estudos de diagnose foliar utilizam amostragens foliares, com procedimentos para coleta e análises que seguem metodologias padronizadas, com a lavagem das folhas para retirar os particulados presentes na superfície foliar. Para as pesquisas realizadas no cinturão verde, foram utilizados dois procedimentos para análises foliares, sendo um com lavagem padrão das folhas para evitar a contaminação ou interferência de minerais presentes na superfície e outro sem a lavagem das folhas para verificar a interferência dos particulados presentes na superfície foliar.

Assim, esse estudo realizado por meio da diagnose foliar apresenta como diferencial

o uso de folhas lavadas e não lavadas, com amostragens foliares para cada espécie, nos três ambientes, para a determinação dos teores de macro e micronutrientes, seguindo a metodologia detalhada no Capítulo 5 desta publicação.

3 | ELEMENTOS ESSENCIAIS

A análise química da planta identifica os minerais presentes nos tecidos vegetais e não necessariamente são considerados elementos essenciais.

As plantas podem absorver os elementos essenciais, os benéficos e os tóxicos presentes no solo, sem seletividade, podendo estes últimos, inclusive, comprometer o equilíbrio nutricional, levando à morte da planta. Dessa forma, todos os elementos essenciais podem estar presentes nos tecidos das plantas, mas nem todos os elementos presentes são essenciais.

Segundo Arnon e Stout (1939) e Ingen-Housz (século XIX), citado por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), um elemento é considerado essencial quando satisfaz a dois critérios de essencialidade:

- a. Direto: O elemento participa de algum composto ou de alguma reação, sem o qual ou sem a qual a planta não sobrevive.
- b. Indireto: Trata-se basicamente de um guia metodológico – na ausência do elemento a planta não completa seu ciclo de vida; o elemento não pode ser substituído por nenhum outro; o elemento, com sua presença no meio, deve ter um efeito direto na planta e não exercer apenas o papel de neutralizar efeitos físicos, químicos ou biológicos desfavoráveis.

4 | AMOSTRAGEM FOLIAR

Os métodos padronizados de amostragem foliar tornam-se mais eficazes na avaliação do estado nutricional da planta com a grande vantagem de considerar a própria planta como o extrator dos nutrientes do solo, o que permite a avaliação direta do estado nutricional, constituindo-se em uma forma indireta de avaliação da fertilidade do solo, utilizando-se os princípios da relação solo-planta (COSTA, 1996; COSTA, 2003).

A amostragem foliar é o primeiro passo da diagnose foliar, a qual identifica o estado nutricional das plantas.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas as funções de cada macro e micronutrientes e as respectivas sintomatologias provocadas pelas deficiências dos mesmos, de forma geral.

O monitoramento do estado nutricional por meio da diagnose foliar, nos três ambientes

analisados, mostrou-se importante, e sua eficiência foi constatada pela inexistência de sintomas visuais de deficiência ou excesso de nutrientes. Esses resultados corroboram a importância da diagnose foliar na correção dos desequilíbrios nutricionais de forma precoce, evitando a evolução da deficiência ou excesso e consequente dano à planta.

MACRONUTRIENTES		
Nutrientes	Função	Sintomas
Nitrogênio (N)	O nitrogênio é constituinte de aminoácidos, amidas, aminas, bases nitrogenadas, alcalóides, clorofila e muitas coenzimas. Muitos aminoácidos são precursores das cadeias polipeptídicas das proteínas, desse modo o nitrogênio influencia muitas reações enzimáticas. O nitrogênio é também componente estrutural das paredes celulares.	A deficiência de nitrogênio se manifesta nas folhas mais velhas na forma de clorose foliar devido à redução da formação da clorofila. Quando as folhas mais velhas senescem, a proteína é degradada e formas solúveis de N são retranslocadas no floema para os pontos de crescimento da planta, ou seja, para as partes mais novas, razão pela qual os sintomas de deficiência de N se manifestam primeiramente nas folhas mais velhas.
Fósforo (P)	O fósforo é essencial para o crescimento da planta e está envolvido na maioria dos processos metabólicos. É constituinte dos ácidos nucleicos, fosfolípidios, proteínas, éster fosfato, dinucleotídeos e adenosina trifosfato (ATP). Portanto, o P é requerido para o armazenamento e transferência de energia, fotossíntese, processo de transporte de elétrons, regulação de atividade enzimática na síntese de açúcar e no transporte de carboidrato.	O P é móvel no floema e o sintoma se manifesta, inicialmente, por meio da cor arroxeada nas folhas mais velhas e depois se redistribui nas folhas mais novas.
Potássio (K)	O potássio é responsável pela manutenção da turgescência celular, controle da abertura e fechamento dos estômatos e osmorregulação celular. É requerido para a síntese de proteínas, para o metabolismo dos carboidratos e lipídios, sendo ativador de um grande número de enzimas.	Em plantas deficientes em K, a síntese proteica, fotossíntese e expansão celular são impedidas, culminando com a morte das células. O potássio se move livremente no floema e é exportado das folhas mais velhas para as mais novas, razão pela qual o sintoma de deficiência se manifesta primeiramente nas folhas mais velhas. Normalmente o sintoma de deficiência inicia sua manifestação nas bordas das folhas mais velhas. Assim, o sintoma de deficiência de K é caracterizado pela necrose ou pelo escurecimento das folhas mais velhas, entretanto, com o aumento da severidade, os sintomas evoluem das folhas mais velhas para as folhas mais novas. Deficiências severas afetam os pontos de crescimento da planta.
Cálcio (Ca)	O cálcio (Ca) é um dos constituintes da parede celular e está associado à pectina e a lamela média. Nos vacúolos o Ca está presente como oxalato de cálcio e também é requerido para a integridade e o funcionamento da membrana. É essencial para a divisão e o crescimento celular atuando nos pontos de crescimento de raízes e caules que são particularmente vulneráveis à deficiência deste elemento.	O Ca não é exportado das folhas mais velhas para as mais novas, por essa razão sua deficiência promove a morte da célula e o sintoma de deficiência manifesta-se, primeiramente, nas folhas mais novas. Como se manifestam, inicialmente, nas folhas novas em expansão, as margens dessas folhas novas são danificadas pela sua deficiência, prejudicando a expansão foliar, levando ao curvamento das margens das folhas com sintomas.
Magnésio (Mg)	A maior contribuição do magnésio na planta é como constituinte da molécula da clorofila. Atua na síntese de proteína e na ativação de muitas enzimas, além do importante papel na regulação do pH celular e no balanço cátion-ânion.	O sintoma de deficiência manifesta-se inicialmente nas folhas maduras (folhas mais velhas), completamente expandidas, e quando a deficiência é severa, manifestam-se também nas folhas mais novas, uma vez que o magnésio é exportado pelo floema das folhas mais velhas para as mais novas. O primeiro sinal característico de sua deficiência é o aparecimento de manchas amareladas entre as nervuras da folha.
Enxofre (S)	É essencial para a formação de proteínas contendo os aminoácidos cisteína e metionina. É também requerido para a síntese de tiamina, co-enzima A e sulfolípídios.	Os sintomas de deficiência manifestam-se inicialmente nas folhas novas em expansão com o aparecimento da tonalidade verde-clara. Com o tempo, as folhas tornam-se uniformemente amareladas e os sintomas passam a se manifestar nas folhas completamente expandidas. Normalmente o crescimento é prejudicado antes da manifestação visual do sintoma. Diferentemente do Magnésio, o enxofre tem baixa mobilidade no floema.

Tabela 1 - Função e sintomatologia de desordens nutricionais dos macronutrientes.

Fonte: COSTA, 2012.

MICRONUTRIENTES		
Nutrientes	Função	Sintomas
Ferro (Fe)	O ferro é essencial para a síntese da clorofila. E por apresentar dois estádios reversíveis de oxidação (Fe ²⁺ e Fe ³⁺), está envolvido em muitas reações de oxidação-redução da fotossíntese e da respiração. O Fe é componente indispensável de hemoproteínas como citocromo e peroxidase. É componente de muitas proteínas Fe-S, por exemplo, a ferredoxina.	O sintoma de deficiência de ferro manifesta-se inicialmente nas folhas mais novas, com o aparecimento de manchas de cor verde-clara. O sintoma avança, e as folhas mais novas apresentam a coloração amarelada. A coloração normal do tecido vegetal fica restrita às nervuras principais. Quando o sintoma de deficiência é muito intenso, há clorose também nas folhas maduras.
Zinco (Zn)	O zinco é constituinte de várias enzimas e é requerido para a fotossíntese. A deficiência de Zn compromete a síntese de auxina, substância de crescimento que comanda a expansão celular.	O zinco não apresenta redistribuição das folhas maduras para as folhas novas, razão pela qual o sintoma de deficiência aparece primeiramente nas folhas mais novas. O primeiro sinal de deficiência de Zn é o aparecimento de clorose entre as nervuras das folhas em expansão, que evolui para manchas púrpuras. Com a evolução da severidade da deficiência, há uma redução do tamanho das folhas mais novas, podendo manifestar também a necrose nas bordas e no limbo entre as nervuras principais, juntamente com o encurtamento dos internódios, devido a redução da síntese de auxina e comprometimento da expansão foliar.
Manganês (Mn)	O manganês é requerido para a evolução do oxigênio no processo fotossintético. É também envolvido na reação de redução e transporte de elétron nos cloroplastos. O Mn é essencial para a metal-proteína superóxido dismutase.	Em plantas deficientes, ocorre o aparecimento de necrose em folhas recentemente expandidas e em expansão, e a lignificação é prejudicada, assim os sintomas de deficiência se manifestam inicialmente nas folhas mais novas, com o aparecimento de manchas verde-claras entre as nervuras laterais, uma vez que o movimento do Mn no floema é limitado e não ocorre o seu retranslocamento das folhas maduras para as mais novas. As folhas são normais em tamanho e, com o tempo, os tecidos cloróticos se tornam amarelados.
Boro (B)	É constituinte da parede celular, sendo requerido para a divisão celular e o crescimento.	A deficiência severa de boro manifesta-se nas folhas mais novas e nos pontos de crescimento da parte aérea e da raiz, portanto o crescimento da parte aérea e das raízes é bastante limitado pela sua deficiência, uma vez que não é retranslocado no floema, de forma semelhante ao Ca.
Cobre (Cu)	A maior parte do cobre na planta encontra-se como constituinte da plastocianina na folha. É essencial para a fotossíntese, considerando que a plastocianina é o maior componente da cadeia de transporte de elétrons. O cobre é constituinte de metalenzimas, como a citocromo oxidase e a fenolase.	A deficiência de cobre se manifesta inicialmente nos pontos de crescimento e nas folhas mais novas. Diferentemente do N, a deficiência de Cu não se manifesta em folhas maduras, ocorrendo o encurvamento das margens das folhas em expansão, podendo também desenvolver a coloração amarelada nas margens da folha.

Tabela 2 - Função e sintomatologia de desordens nutricionais dos micronutrientes.

Fonte: COSTA, 2012.

5 | NUTRIÇÃO MINERAL DAS ESPÉCIES AGRONÔMICAS E FLORESTAIS

A análise foliar e o monitoramento dos teores de nutrientes nas espécies agronômicas e florestais cultivadas no Cinturão Verde para fins de quebra-ventos nos pátios industriais na ArcelorMittal Tubarão foram comparados com os resultados para as mesmas espécies no ambiente natural da Mata Atlântica considerado referência, com o diferencial metodológico quanto à análise foliar utilizando folhas lavadas e não lavadas, para diagnosticar o potencial de retenção de particulados na superfície das folhas.

É relevante ressaltar que os resultados obtidos correspondem à coleta de folhas após 30 meses do plantio, conforme detalhado no Capítulo 5. As coletas realizadas no 6º e 18º mês após o plantio também foram importantes e fundamentais para o auxílio do monitoramento e da recomendação de possíveis correções dos elementos por meio da

adubação de manutenção.

As comparações dos teores foliares nas espécies agrônômicas e florestais, nos três ambientes, foram realizadas com base nos teores de macro e micronutrientes, nas Tabelas 3 e 4, considerados adequados (RAIJ et al., 1996; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), conforme apresentado no Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007), tanto para as culturas de interesse agrônômicas, quanto para espécies de interesse florestal.

Sendo assim, para as espécies *Corymbia citriodora* e *Corymbia torelliana* usou-se como parâmetro os teores do eucalipto, e para as demais, os teores das essências florestais.

Cultura	MACRONUTRIENTES (dag.kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Eucalipto	1.4 - 1.6	0.10 - 0.12	1.0 - 1.2	0.8 - 1.2	0.4 - 0.5	0.15 - 0.20
Essências florestais	1.2 - 3.5	0.10 - 0.25	1.0 - 1.7	0.3 - 1.2	0.15 - 0.5	0.14 - 0.26

Tabela 3 - Teores foliares de macronutrientes considerados adequados.

Cultura	MICRONUTRIENTES (mg.kg ⁻¹)				
	Fe	Zn	Cu	Mn	B
Eucalipto	150 - 200	40 - 60	08 - 10	100 - 600	40 - 50
Essências florestais	50 - 200	20 - 60	05 - 15	40 - 600	20 - 70

Tabela 4 - Teores foliares de micronutrientes considerados adequados.

5.1 Nutrição Mineral de Espécies Agrônômicas e Florestais no Ambiente Mata Atlântica

Nas Tabela 5 e 6 são apresentados os resultados dos teores foliares de macro e micronutrientes, respectivamente, para as espécies avaliadas na Fazenda Experimental Engenheiro Reginaldo Conde, em condições naturais de Mata Atlântica.

Espécie	Condição da folha	N	P	(dag.kg ⁻¹)			
				K+	Ca ²⁺	S	Mg ²⁺
<i>Acacia auriculiformis</i>	Lavada	3,81	0,82	1,75	2,61	0,38	1,08
	Não lavada	4,38	0,86	1,88	2,76	0,63	1,14
<i>Acacia mangium</i>	Lavada	2,41	0,15	0,63	1,36	0,32	0,27
	Não lavada	3,66	0,22	1,25	2,43	0,39	0,33
<i>Bauhinia forficata</i>	Lavada	2,28	0,26	0,63	1,17	0,2	0,41
	Não lavada	2,79	0,41	0,94	2,98	0,25	0,49
<i>Corymbia citriodora</i>	Lavada	1,79	0,21	0,81	0,87	0,13	0,23
	Não lavada	2,03	0,22	0,94	1,12	0,13	0,24
<i>Corymbia torelliana</i>	Lavada	1,72	0,15	1,32	0,83	0,15	0,29
	Não lavada	2,56	0,2	1,69	1,92	0,16	0,56
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Lavada	1,56	0,19	1,31	1,99	0,29	0,39
	Não lavada	3,26	0,24	1,44	2,56	0,34	0,53
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Lavada	2,33	0,16	1,25	1,95	0,3	0,56
	Não lavada	3,09	0,27	1,56	3,31	0,45	0,69
<i>Senna macranthera*</i>	Lavada	-	-	-	-	-	-
	Não lavada	-	-	-	-	-	-

*A espécie não apresentou número de folhas suficientes para a realização da análise química foliar.

Tabela 5 - Resultado de análises químicas dos macronutrientes foliares para oito espécies florestais conduzidas em ambiente Mata Atlântica.

Fonte: O Autor.

De forma geral, os teores foliares nas espécies agrônômicas e florestais estudadas no ambiente de referência Mata Atlântica apresentaram comportamentos semelhantes, com valores levemente superiores para os teores dos nutrientes nas folhas não lavadas em relação aos teores nas folhas lavadas (Tabelas 5 e 6). Isto é um indicativo da presença de particulados oriundos de outras fontes que não exclusivamente do ambiente industrial. O valor apresentado na amostra de folhas lavadas é o que, de fato, se encontra na constituição, indicando que a planta não necessariamente absorve o que está na superfície da folha.

As espécies apresentaram teores satisfatórios quanto ao Nitrogênio (N). É importante destacar que as espécies que apresentaram teores levemente superiores (*Acacia auriculiformis*, *Corymbia Citriodora* e *Corymbia Torelliana*) tiveram seus resultados obtidos para as folhas não lavadas. Nas folhas lavadas, os teores estão muito próximos aos considerados adequados às plantas, não configurando toxidez.

Espécie	Condição da folha	Fe	Mn	Zn	B	Cu
		mg.kg ⁻¹				
<i>Acacia auriculiformis</i>	Lavada	257	97	32	39	10
	Não lavada	310	225	47	55	13
<i>Acacia mangium</i>	Lavada	220	397	15	33	11
	Não lavada	345	528	17	37	14
<i>Bauhinia forficata</i>	Lavada	135	124	15	19	6
	Não lavada	299	131	23	39	6
<i>Corymbia citriodora</i>	Lavada	144	248	20	34	6
	Não lavada	162	457	24	34	7
<i>Corymbia torelliana</i>	Lavada	143	495	36	27	8
	Não lavada	279	560	38	28	11
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Lavada	188	57	9	27	6
	Não lavada	278	101	15	28	9
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Lavada	301	95	19	39	7
	Não lavada	310	151	20	49	10
<i>Senna macranthera*</i>	Lavada	-	-	-	-	-
	Não lavada	-	-	-	-	-

*A espécie não apresentou número de folhas suficientes para a realização da análise química foliar.

Tabela 6 - Resultado de análises químicas dos micronutrientes foliares para oito espécies florestais conduzidas em ambiente Mata Atlântica.

Fonte: O Autor.

Os teores de Enxofre (S) e Potássio (K) ficaram dentro dos valores aceitáveis para as espécies, sendo que para as espécies com teores superiores aos considerados adequados não foram verificados sintomas visuais de toxidez, e aquelas que apresentaram teores inferiores aos recomendados também não apresentaram sintomas de deficiência.

Quanto ao Potássio (K), os teores adequados, além de suas funções já destacadas, possuem importante função no controle de pragas e doenças. Em plantas com deficiência de K se observa um elevado teor de glutamina, que retarda a cicatrização de feridas e facilita a penetração de pragas e doenças (PREZOTTI et al., 2007).

A maioria das espécies apresentaram teores elevados de Cálcio (Ca), conforme o Gráfico 1.

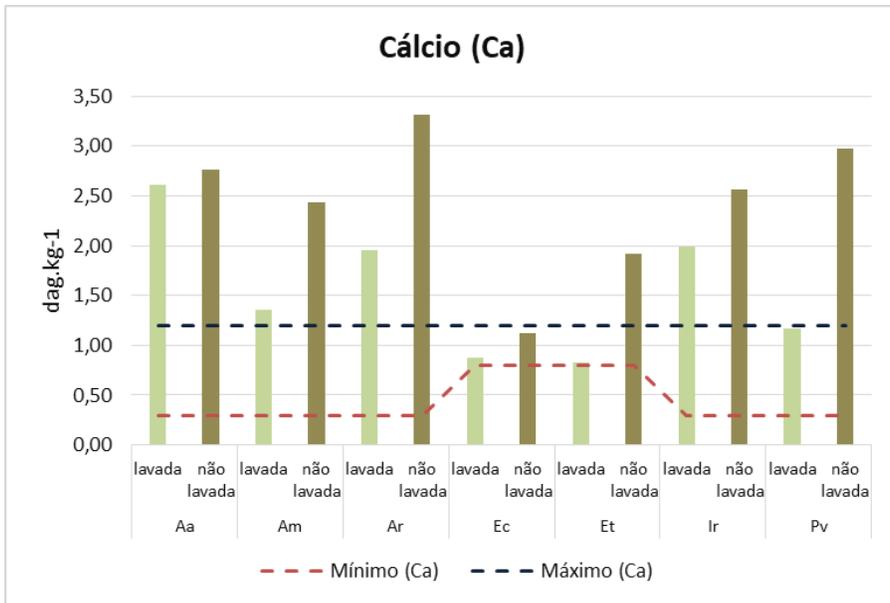


Gráfico 1 - Teores de cálcio para as espécies em ambiente Mata Atlântica

Fonte: O Autor.

É possível observar que apenas a *Corymbia citriodora* (Ec) apresentou valores dentro da faixa considerada adequada para folhas lavadas e não lavadas. Apesar de elevadas, as quantidades de Ca não se configuraram tóxicas para as plantas de acordo com a diagnose visual. A ausência de toxidez pelo Cálcio é reforçada pela comparação deste nutriente com os níveis de Potássio (K), anteriormente apresentados. Segundo Camargo e Silva (1975), o excesso de Ca no solo provoca a diminuição da concentração de Potássio nas folhas, porém essa hipótese foi descartada, devido aos níveis satisfatórios de K encontrados nas amostras avaliadas.

Pelo Gráfico 2, é possível visualizar os teores para o Magnésio (Mg) nas espécies estudadas. Embora não tenha sido observada deficiência nutricional, os teores deste macronutriente para a espécie *Corymbia torelliana* (Et) encontraram-se abaixo dos valores satisfatórios nas folhas lavadas. Para a *Corymbia citriodora* (Cc) os valores foram inferiores tanto para as folhas lavadas quanto para não lavadas. Vale destacar que essas espécies apresentam uma exigência quanto ao teor mínimo recomendado, moderadamente superior, se comparados aos demais. O teor de Mg considerado adequado para as espécies é fundamental para o equilíbrio nutricional, uma vez que sua deficiência pode promover o desequilíbrio, estabelecendo condições de estresse que favorecem a propagação de fungos. Segundo Prezotti et al. (2007), a deficiência de Mg induz ao acúmulo de açúcares, que funcionam como substrato para os fungos.

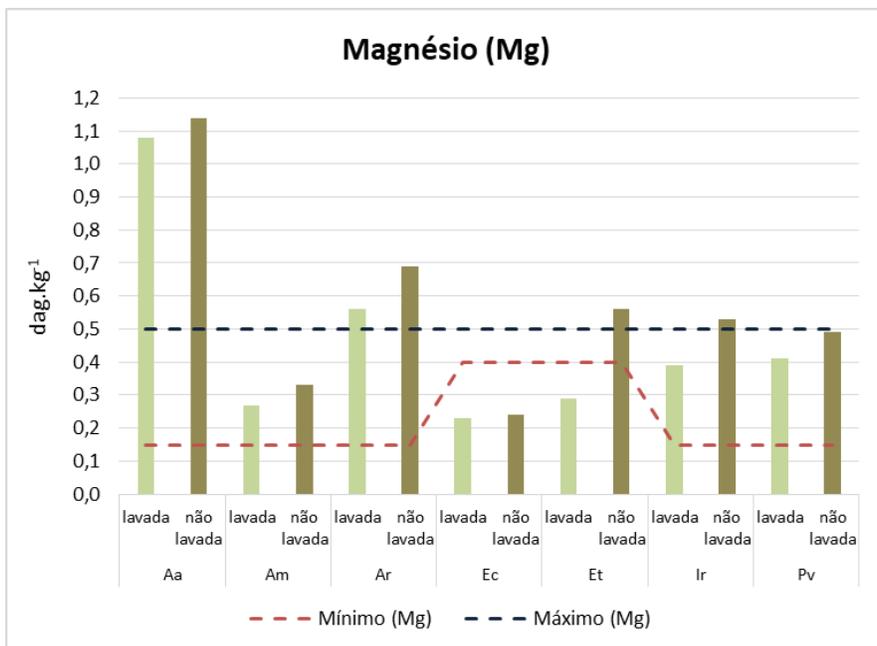


Gráfico 2 - Teores de magnésio para as espécies em ambiente Mata Atlântica

Fonte: O Autor.

Nesse contexto, é possível perceber que na espécie *Acacia auriculiformis* (Aa), o teor de Magnésio foi considerado em excesso, apesar de não tóxico. A disponibilidade de Mg no solo pode interferir, por exemplo, na absorção do Fósforo (P). Em trabalho com raízes na cultura de cevada, citado por Malavolta (1976), em determinada concentração, a elevação da concentração de Mg, até o mesmo valor do teor do Fósforo, provocava um aumento na absorção do P. Observando os níveis de Fósforo no Gráfico 3, é possível perceber esse comportamento para a espécie *Acacia auriculiformis*.

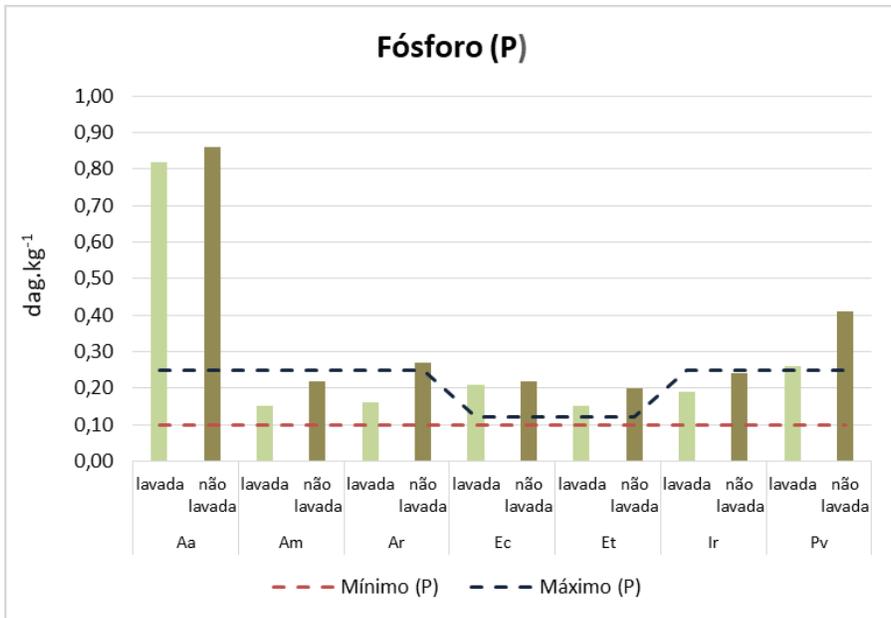


Gráfico 3 - Teores de fósforo para as espécies em ambiente Mata Atlântica.

Fonte: O Autor.

Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), o teor elevado de fósforo na planta pode culminar em deficiência do micronutriente Manganês (Mn). É oportuno observar que, apesar de não haver deficiência de Mn na espécie, os teores encontraram-se próximos à faixa da quantidade mínima considerada adequada para as folhas lavadas, conforme Gráfico 4.

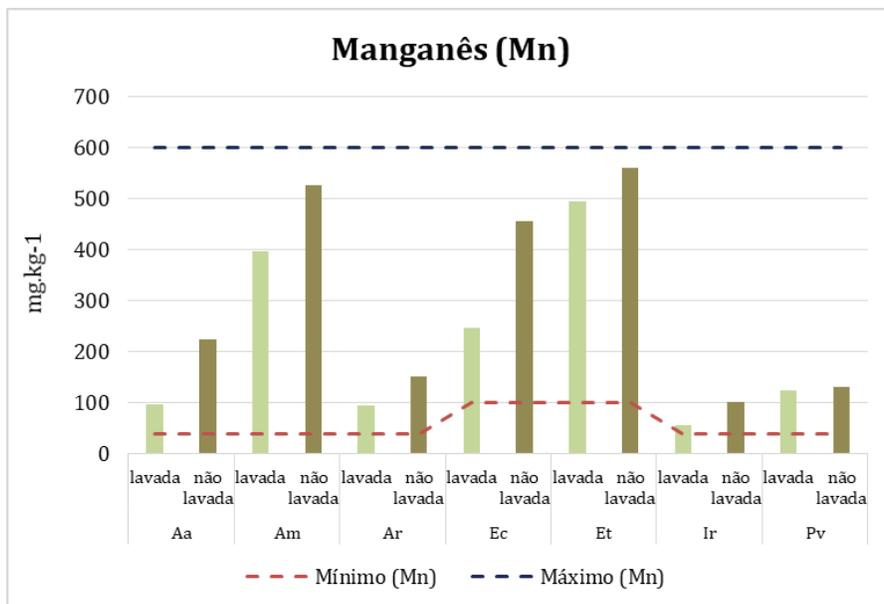


Gráfico 4 - Teores de manganês para as espécies em ambiente Mata Atlântica.

Fonte: O Autor.

Pelo Gráfico 4, também é possível observar que, mesmo em folhas não lavadas, as quantidades de Mn ficaram dentro da faixa considerada adequada, resultado semelhante para os teores observados nas folhas lavadas.

Os teores dos micronutrientes Boro (B) e Cobre (Cu) também apresentaram valores satisfatórios para as espécies, estando a grande maioria dentro da faixa dos valores estabelecidos por Prezotti et al. (2007) como adequados. Aqueles que porventura apresentaram valores fora da faixa os apresentaram bem próximos dos valores adequados. Possíveis toxidez ou deficiência para esses elementos também foram descartados na diagnose visual.

Para folhas não lavadas, no Gráfico 5, observa-se que as espécies avaliadas, com exceção da *Corymbia citriodora* (Ec), apresentaram teores de ferro superiores à faixa adequada. Para as folhas lavadas, algumas espécies ainda apresentaram teores elevados. Essas informações são relevantes, pois é possível observar que, mesmo em ambiente natural de Mata Atlântica, ocorre a presença de particulados rico em ferro. Dessa forma, não pode ser considerado um comportamento exclusivo de ambientes industriais.

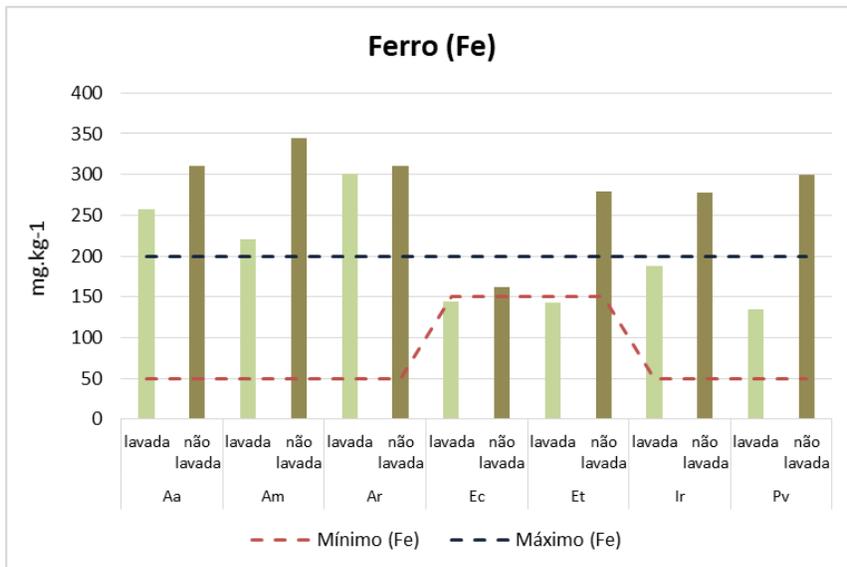


Gráfico 5 - Teores de ferro para as espécies em ambiente Mata Atlântica.

Fonte: O Autor.

Para o micronutriente Zinco (Zn), a maioria das espécies apresentaram teores inferiores ao recomendado, estando abaixo da quantidade mínima considerada adequada, conforme mostrado no Gráfico 6. Segundo Malavolta (1976), o excesso de Fe diminui a absorção do Zn. Além disso, a disponibilidade do nutriente também pode ser influenciada pelo pH do solo. Quando o pH sobe uma unidade, ou seja, diminui a acidez do solo, o teor de zinco na solução do solo cai 100 vezes devido à formação de compostos de menor solubilidade.

A análise do ambiente natural da Mata Atlântica possibilitou identificar que mesmo em ambientes sem intervenções antrópicas e industriais há maior disponibilidade e absorção de alguns elementos, como por exemplo o Ferro e o Cálcio, e menor disponibilidade e absorção de outros, como o Zinco.

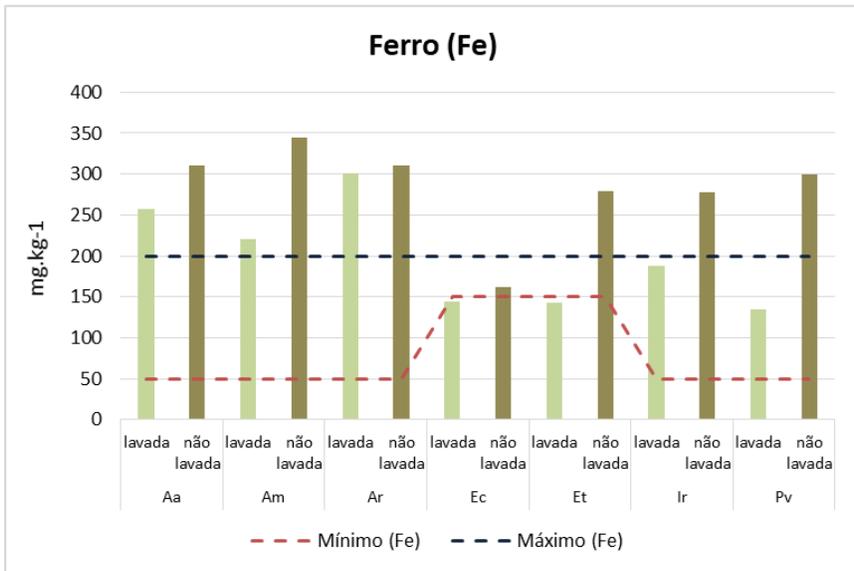


Gráfico 6 - Teores de zinco para as espécies em ambiente Mata Atlântica.

Fonte: O Autor.

5.2 Nutrição Mineral de Espécies Agrônômicas e Florestais no Ambiente Pátio de Carvão

Nas Tabelas 7 e 8 são apresentados os resultados dos teores foliares de macro e micronutrientes, respectivamente, para as espécies conduzidas no ambiente industrial no Pátio de Carvão.

Espécie	Condição da folha	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	S	Mg ²⁺
		dag.kg-1					
Acacia auriculiformis	Lavada	2,04	0,26	2,24	1,93	0,28	0,58
	Não Lavada	2,38	0,29	2,50	1,95	0,38	0,60
Acacia mangium	Lavada	2,94	0,12	1,17	1,26	0,22	0,24
	Não Lavada	3,44	0,14	1,31	1,27	0,29	0,25
Bauhinia forficata	Lavada	3,02	0,24	1,17	1,38	0,17	0,35
	Não Lavada	3,54	0,26	1,31	1,39	0,22	0,36
Corymbia citriodora	Lavada	1,55	0,11	0,78	0,81	0,09	0,22
	Não Lavada	1,81	0,12	0,88	0,80	0,12	0,23
Corymbia torelliana	Lavada	2,10	0,15	1,34	1,17	0,16	0,24
	Não Lavada	2,45	0,17	1,50	1,18	0,21	0,24
Handroanthus heptaphyllus	Lavada	2,72	0,17	1,12	3,48	0,23	0,58
	Não Lavada	3,18	0,19	1,25	3,51	0,30	0,60
Schinus terebinthifolius	Lavada	2,75	0,21	1,68	2,78	0,28	0,56
	Não Lavada	3,22	0,23	1,88	2,80	0,36	0,58
Senna macranthera	Lavada	2,72	0,34	1,85	3,68	0,37	0,27
	Não Lavada	3,19	0,38	2,06	3,70	0,49	0,28

Tabela 7 - Resultado de análises químicas foliares de macronutrientes para as 8 espécies florestais conduzidas no Cinturão Verde no Pátio de Carvão.

Fonte: O Autor.

Espécie	Condição da folha	Fe	Mn	Zn	B	Cu
		mg.kg ⁻¹				
<i>Acacia auriculiformis</i>	Lavada	557	61	10	29	6
	Não Lavada	1308	125	16	39	10
<i>Acacia mangium</i>	Lavada	395	35	22	48	4
	Não Lavada	929	71	34	65	6
<i>Bauhinia forficata</i>	Lavada	578	39	18	31	5
	Não Lavada	1359	81	28	42	8
<i>Corymbia citriodora</i>	Lavada	172	66	25	27	2
	Não Lavada	404	135	39	36	3
<i>Corymbia torelliana</i>	Lavada	129	150	22	25	5
	Não Lavada	304	309	35	33	8
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Lavada	299	44	17	33	4
	Não Lavada	702	91	27	44	7
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Lavada	498	59	14	36	5
	Não Lavada	1171	122	22	48	9
<i>Senna macranthera</i>	Lavada	526	61	20	27	8
	Não Lavada	1237	125	32	36	14

Tabela 8 - Resultado de análises químicas foliares de micronutrientes para as 8 espécies florestais conduzidas no Cinturão Verde no Pátio de Carvão.

Fonte: O Autor.

Os teores de macro e micronutrientes para as espécies avaliadas no ambiente do Pátio de Carvão foram semelhantes aos observados no ambiente Mata Atlântica tanto para os valores obtidos nas folhas lavadas quanto nas folhas não lavadas. Apenas para o micronutriente Ferro (Fe), os valores observados foram consideravelmente superiores nas folhas não lavadas, quando comparadas com as folhas lavadas (Tabela 8). Para este ambiente, a espécie *Senna macranthera* apresentou bom desenvolvimento; já no ambiente de Mata Atlântica, essa espécie não apresentou folhas suficientes para a análise. Isto demonstra que as mesmas espécies apresentaram comportamentos distintos em função do ambiente de cultivo.

Mesmo inseridas em um ambiente industrial, o comportamento das espécies para os macronutrientes Nitrogênio (N) e Potássio (K) foram semelhantes aos observados em ambiente de Mata Atlântica.

Para o Magnésio (Mg), a espécie *Acacia Auriculiformes* (Aa), diferentemente do ambiente Mata Atlântica, não apresentou o mesmo comportamento de alto teor do nutriente. Apesar de superior ao teor máximo considerado adequado, a quantidade está próxima à faixa de valor máximo no ambiente industrial. As espécies *Corymbia citriodora* (Ec) e *Corymbia torelliana* (Et) manifestaram o mesmo comportamento ocorrido em ambiente natural, com teores inferiores aos considerados adequados para esse nutriente.

Comparando-se os teores de Fósforo (P) em condições naturais de Mata Atlântica com o Pátio de Estocagem de Carvão, é importante destacar que os níveis de nutriente

na espécie *Acacia auriculiformis* foram consideravelmente mais próximos aos valores considerados adequados neste ambiente. A espécie *Senna macranthera* (Fe) apresentou valores moderadamente superiores ao nível máximo adequado, não configurando toxidez. As demais espécies apresentaram teores semelhantes aos verificados no ambiente natural.

Apesar de inseridas em uma área industrial, as plantas apresentaram quantidades satisfatórias do Enxofre (S), conforme demonstrado no Gráfico 7.

É interessante destacar que a espécie *Senna macranthera* apresentou os maiores valores acima da faixa adequada e a *Corymbia citriodora* apresentou os menores teores inferiores à faixa mínima adequada. Inclusive esta espécie apresentou teores muito próximo dos teores encontrados na Mata Atlântica.

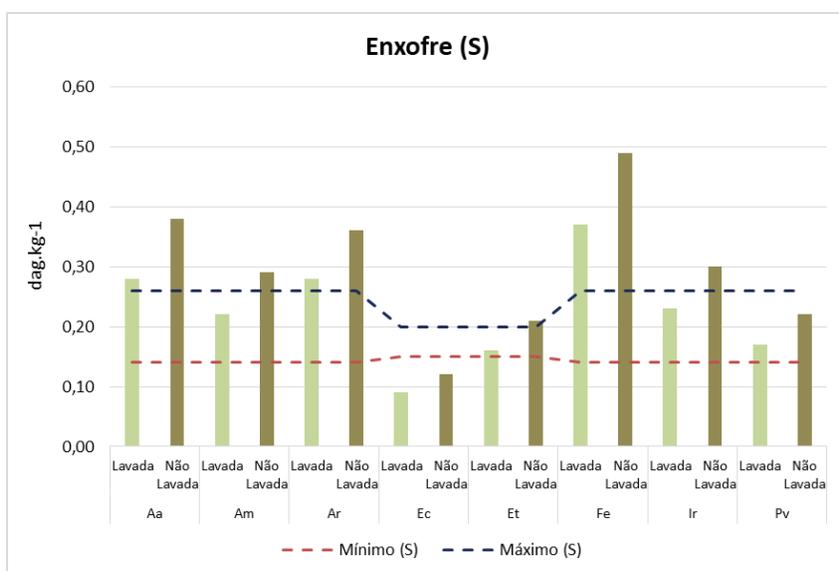


Gráfico 7 - Teores de enxofre para as espécies no ambiente Pátio de Carvão.

Fonte: O Autor.

Quanto ao Cálcio (Ca), foi observado que quatro espécies se destacaram por conter teores superiores aos adequados (*Acacia auriculiformis*, *Schinus terebinthifolius* (Ar), *Senna macranthera* e *Handroanthus heptaphyllus* (Ir), conforme Gráfico 8.

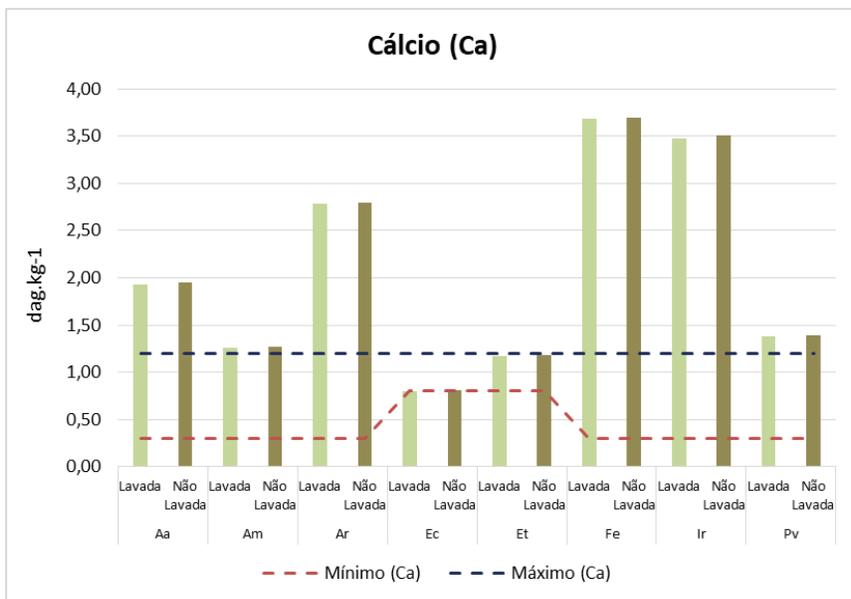


Gráfico 8 - Teores de Cálcio para as espécies no ambiente Pátio de Carvão.

Fonte: O Autor.

De forma semelhante ao ambiente natural de Mata Atlântica, não foi observado desequilíbrio nutricional, quer seja por toxidez quer seja deficiência nas espécies monitoradas por meio da diagnose visual. Esses resultados corroboram a importância dos níveis de Ca que influencia nos níveis de K nas plantas, ressaltando que o excesso de Ca no solo provoca a diminuição da concentração de Potássio nas folhas, conforme afirmação de Camargo e Silva (1975). O comportamento dos valores de Ca, apesar dos teores elevados, mostrou-se mais próximos às faixas adequadas do que os encontrados nas espécies cultivadas em ambiente de Mata Atlântica.

Os teores foliares do Ferro (Fe) em folhas não lavadas foram consideravelmente superiores para as 8 espécies em relação às folhas lavadas (Gráfico 9), resultados estes já esperados, devido à presença de particulados, em função da movimentação do minério de ferro utilizado como matéria-prima na área industrial da ArcelorMittal Tubarão.

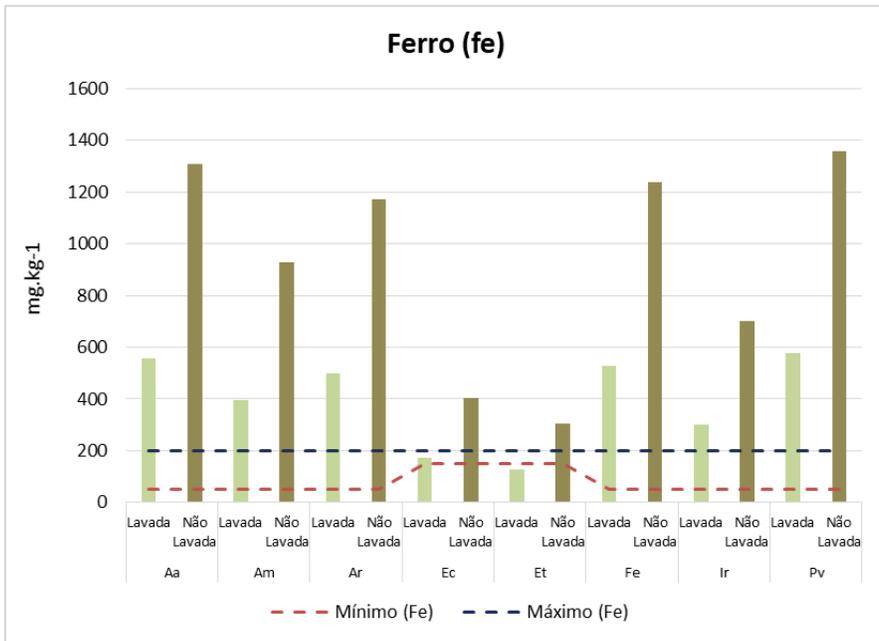


Gráfico 9 - Teores de ferro para as espécies no ambiente Pátio de Carvão

Fonte: O Autor.

Os teores de Fe para as folhas lavadas apresentaram variações entre as 8 espécies analisadas nas diferentes condições, sendo que 6 delas estão acima dos considerados adequados.

O teor de ferro nas duas espécies do gênero *Corymbia* (Ec e Et) se encontrou próximo do observado nas espécies conduzidas em ambiente natural de mata atlântica. A espécie *Corymbia torelliana* apresentou teor foliar levemente abaixo do adequado para esse nutriente.

Apesar do alto teor de Fe no Pátio de Carvão, não foram observados sintomas de fitotoxicidade durante os três anos de condução do experimento, indicando que a presença do ferro na superfície das folhas não influenciou na sua disponibilidade e absorção foliar.

Uma das possíveis consequências do elevado teor foliar de ferro é a diminuição da absorção do Zinco (Zn), o que se confirma, pois este micronutriente apresentou teores inferiores aos adequados para 7 das 8 espécies, conforme apresentado no Gráfico 10. Entretanto, os teores foliares para o Zn, embora baixos, foram próximos aos encontrados nas condições naturais.

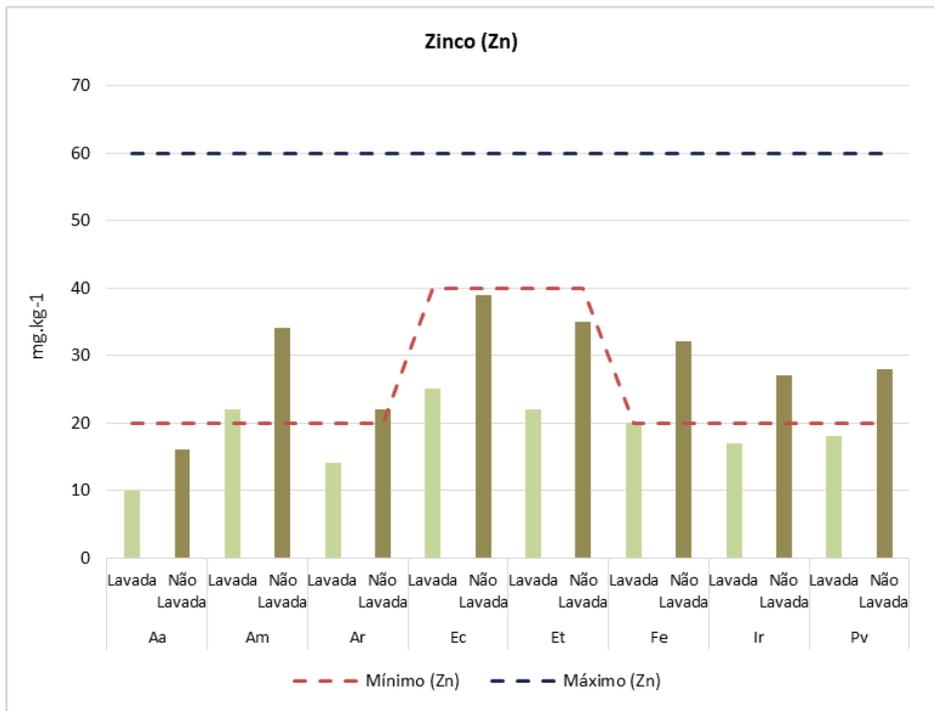


Gráfico 10 - Teores de zinco para as espécies no ambiente Pátio de Carvão.

Fonte: O Autor.

A disponibilidade do Zn, como já relatado anteriormente, é influenciada pelas alterações do pH do solo, ou seja, quando diminui a acidez em uma unidade, o teor de Zinco diminui em 100 vezes. Por isso é relevante o acompanhamento e monitoramento por meio de diagnose foliar dos teores e possíveis correções antes de manifestação dos sintomas de desequilíbrio.

A acidez do solo pode interferir também na disponibilidade de outros micronutrientes, a exemplo do Manganês (Mn) e do Cobre (Cu). Estes micronutrientes apresentaram comportamentos semelhantes entre si no ambiente de Pátio de Carvão e diferentes dos teores encontrados na Mata Atlântica.

Para o Cobre, 50% das espécies estudadas apresentaram teores satisfatórios, porém, para folhas lavadas, estiveram próximos da quantidade mínima recomendada para espécies agrônômicas e florestais. Em folhas não lavadas, apenas a *Corymbia citriodora* (Ec) apresentou teores inferiores aos adequados. Esta espécie também apresentou o menor teor de Cobre em folhas não lavadas.

Os valores observados para o Mn foram adequados para 5 das 8 espécies nas folhas lavadas, entretanto próximos do valor mínimo recomendado, conforme mostrado no Gráfico 11, seguindo o mesmo comportamento do Cobre.

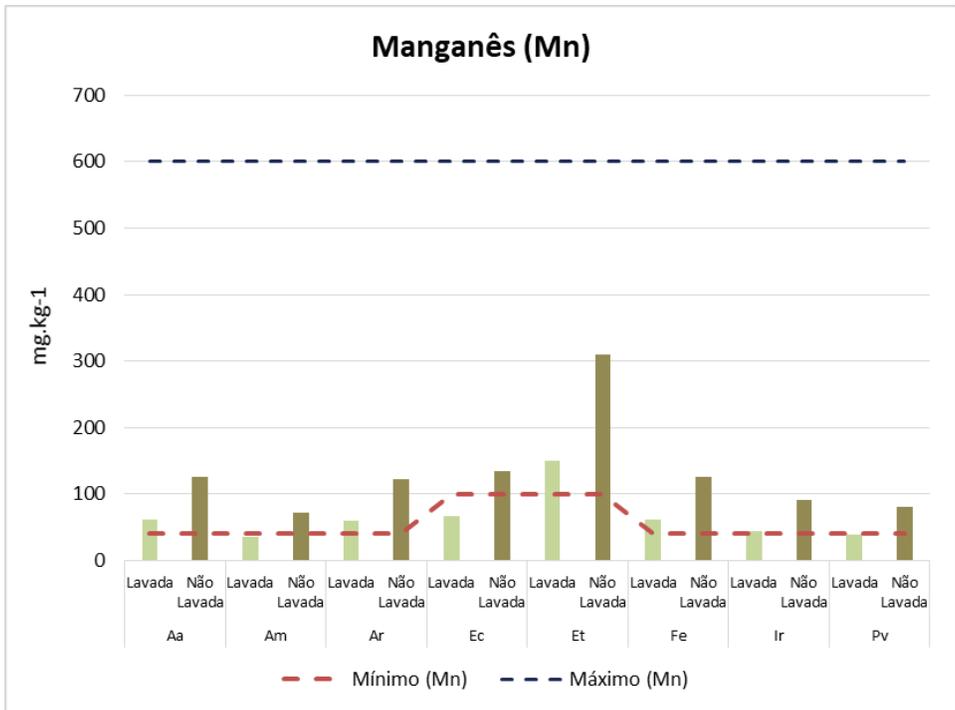


Gráfico 11 - Teores de manganês para as espécies no ambiente Pátio de Carvão.

Fonte: O Autor.

Os resultados obtidos para o Cu e Mn foram influenciados pela acidez do solo, destacando o fato de que, por ocasião da coleta das amostras foliares para análise, o pH do solo à profundidade de 0 a 20 cm foi de 7,5, e na profundidade 20 a 40 cm foi de 7,9. Segundo Malavolta (1986), o aumento no pH conduz a uma queda na disponibilidade do Cu devido à formação de compostos hidróxidos e carbonatos, insolúveis em água. Para o Mn, a acidez (pH abaixo de 5,5) promove a formação de manganês bivalente que é disponível para a planta. Aumentando o pH, o Mn sofre transformações, convertendo-se na forma trivalente e depois na tetravalente, considerada insolúvel.

O pH do solo em ambiente natural de Mata Atlântica, ao retirar as amostras foliares, foi de 5,1 à profundidade de 0 a 20 cm, resultado semelhante na profundidade de 0 a 40 cm. Ainda que as plantas não tenham apresentado deficiência de Cu e Mn no Pátio de Carvão, o acompanhamento se mostrou eficiente para evitar prováveis desequilíbrios.

Os resultados obtidos para o Boro (B) foram abaixo do limite mínimo para as duas espécies *Corymbia citriodora* e *torelliana*, tanto para folhas não lavadas como para folhas lavadas sem, contudo, ter manifestado sintomas visuais de deficiência. A manutenção do teor desse macronutriente abaixo da linha máxima considerada adequada é um diferencial, pois, segundo Ferreira et al. (1991), a faixa recomendada é muito sensível, ou seja, tóxico

para muitas espécies a em níveis ligeiramente superiores àqueles requeridos para as condições normais de desenvolvimento.

5.3 Nutrição Mineral de Espécies Agrônômicas e Florestais no Ambiente Pátio de Minério

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentados os resultados das análises foliares para macro e micronutrientes, respectivamente, realizadas na área experimental em ambiente industrial no pátio de estocagem de minério. No Pátio de Minério, assim como em ambiente de Mata Atlântica, a espécie *Senna macrathera* não apresentou folhas suficientes para análises foliares em função da sua não adaptação para estes ambientes. Além da espécie *Senna macrathera*, a espécie *Bauhinia forficata* também não apresentou folhas suficientes para o estudo.

De maneira geral, os teores dos macronutrientes Nitrogênio (N), Potássio (K) e Cálcio (Ca) para as espécies avaliadas no ambiente Pátio de Minério foram adequados para o pleno desenvolvimento das plantas e apresentaram comportamentos semelhantes aos observados nos ambientes Mata Atlântica e Pátio de Carvão. Os teores de Ca foram inferiores aos verificados nos demais ambientes de estudo, com valores mais próximos à faixa de valores máximos recomendados na Tabela 3. Nenhuma espécie apresentou valor inferior ao teor mínimo recomendado para o Ca e N, e aquelas que apresentaram baixo teor de K ficaram próximos ao teor adequado, não manifestando sintomas visuais de deficiência nutricional.

Espécie	Condição da folha	N P K ⁺ Ca ²⁺ S Mg ²⁺					
		dag kg ⁻¹					
<i>Acacia auriculiformis</i>	Lavada	3,74	0,74	1,57	2,59	0,28	1,04
	Não Lavada	4,51	0,99	1,67	2,74	1,23	0,36
<i>Acacia mangium</i>	Lavada	2,19	0,17	1,51	1,91	0,12	0,54
	Não Lavada	3,12	0,34	1,67	2,79	0,22	0,76
<i>Bauhinia forficata*</i>	Lavada	-	-	-	-	-	-
	Não Lavada	-	-	-	-	-	-
<i>Corymbia citriodora</i>	Lavada	2,64	0,24	1,4	1,92	0,23	0,54
	Não Lavada	3,12	0,32	1,78	1,93	0,31	0,57
<i>Corymbia torelliana</i>	Lavada	1,74	0,19	0,73	0,86	0,09	0,23
	Não Lavada	2,26	0,27	0,93	1,01	0,14	0,26
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Lavada	2,39	0,23	0,84	1,16	0,15	0,4
	Não Lavada	3,18	0,26	1,23	1,25	0,31	0,49
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Lavada	3,13	0,19	1,12	1,35	0,24	0,23
	Não Lavada	4,17	0,35	1,56	1,78	0,25	0,26
<i>Senna macranthera*</i>	Lavada	-	-	-	-	-	-
	Não Lavada	-	-	-	-	-	-

Tabela 9 - Resultado de análises químicas foliares de macronutrientes para as espécies florestais conduzidas em Cinturão Verde no Pátio de Minério.

Fonte: O Autor.

Espécie	Condição da folha	Fe	Mn	Zn	B	Cu
		mg kg ⁻¹				
<i>Acacia auriculiformis</i>	Lavada	109	109	20	41	8
	Não Lavada	888	134	32	59	10
<i>Acacia mangium</i>	Lavada	611	272	24	21	7
	Não Lavada	1420	356	30	39	10
<i>Bauhinia forficata*</i>	Lavada	-	-	-	-	-
	Não Lavada	-	-	-	-	-
<i>Corymbia citriodora</i>	Lavada	132	73	13	29	6
	Não Lavada	724	123	19	37.1	7
<i>Corymbia torelliana</i>	Lavada	61	222	13	25	4
	Não Lavada	832	331	23	33	6
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Lavada	57	64	9	29	4
	Não Lavada	578	128	19	39	7
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Lavada	94	257	9	25	7
	Não Lavada	498	391	21	37	13
<i>Senna macranthera*</i>	Lavada	-	-	-	-	-
	Não Lavada	-	-	-	-	-

Tabela 10 - Resultado de análises químicas foliares de micronutrientes para as espécies florestais conduzidas em Cinturão Verde no Pátio de Minério.

Fonte: O Autor.

A espécie *Acacia auriculiformes* (Aa) apresentou um comportamento diferente das demais no Pátio de Minério quanto ao Enxofre (S). O teor de S verificado nas folhas não lavadas superou os valores para as mesmas espécies nos dois outros ambientes. Entretanto, quando se utilizou o procedimento padrão de análise com a folha lavada, o teor foi classificado significativamente menor, demonstrando que, apesar da elevada quantidade na superfície da folha, não houve absorção expressiva pela planta, como pode ser constatado no Gráfico 12.

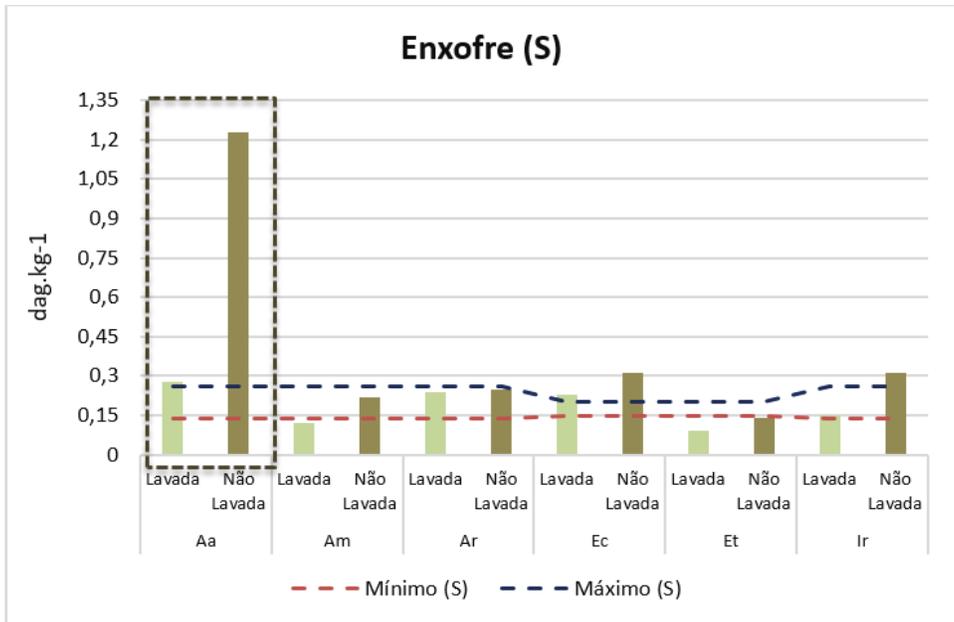


Gráfico 12 - Teores de Enxofre para as espécies no ambiente Pátio de Minério.

Fonte: O Autor.

Apenas as espécies *Acacia mangium* (Am) e *Corymbia torelliana* (Et) apresentaram quantidades inferiores ao mínimo adequado para as folhas lavadas. Ainda assim, não foram verificados sintomas visuais de deficiência.

A espécie *Acacia auriculiformes* (Aa) apresenta destaque neste ambiente de estudo quando comparado com o ambiente de Mata Atlântica para resultados de Magnésio (Mg). O teor de Mg para a folha lavada foi consideravelmente maior que o das demais espécies (Gráfico 13), destacando o comportamento diferenciado dessa espécie para a absorção do Mg no ambiente industrial Pátio de Minério.

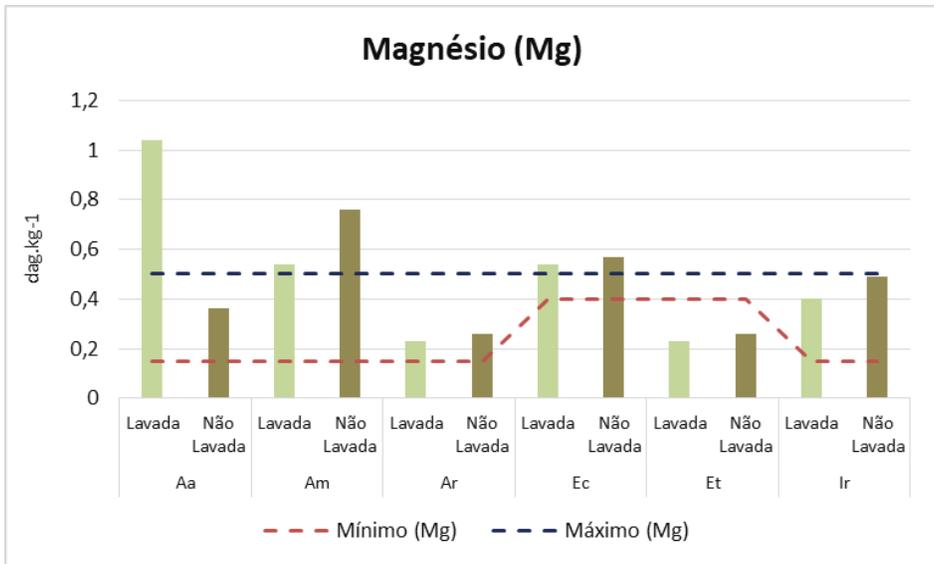


Gráfico 13 - Teores de magnésio para as espécies no ambiente Pátio de Minério.

Fonte: O Autor.

Verificou-se que a absorção do Fósforo (P) foi influenciada pela concentração de Mg, apresentando uma relação direta com a absorção do P. Foi mencionado anteriormente que elevados teores de P podem induzir deficiência de Manganês (Mn), conforme mostrado nos Gráficos 14 e 15, os quais ilustram o comportamento desta espécie que apresenta altos teores de Mg e P e baixos teores de Mn, mesmo dentro da faixa considerada adequada.

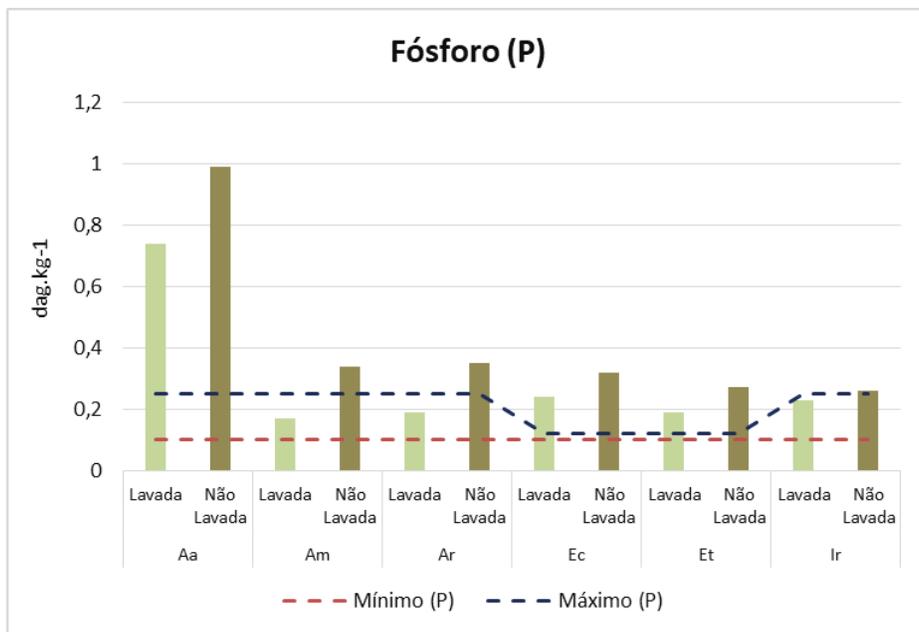


Gráfico 14 - Teores de fósforo para as espécies no ambiente Pátio de Minério.

Fonte: O Autor.

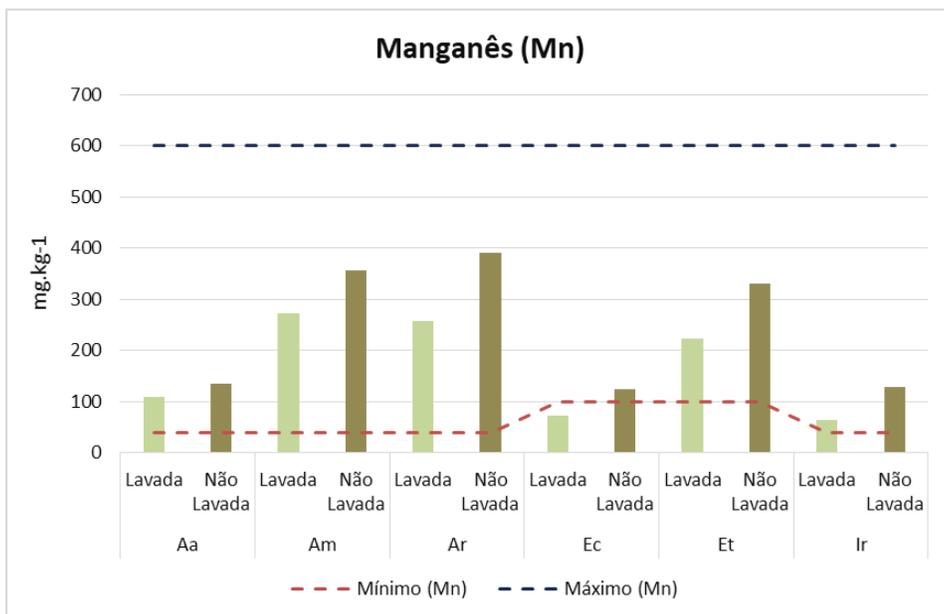


Gráfico 15 - Teores de manganês para as espécies no ambiente Pátio de Minério.

Fonte: O Autor.

À exceção da *Acacia auriculiformes*, todas as outras espécies apresentaram teores satisfatórios de Mg, P e Mn, independentemente do valor estar ligeiramente acima do indicado como máximo adequado ou abaixo do mínimo, não configurando sintomas visuais de deficiência ou toxidez.

O micronutriente Boro (B) neste ambiente estudado, quando comparado com o ambiente Pátio de Carvão e com ambiente de Mata Atlântica, apresentou teores abaixo do mínimo considerado adequado para as mesmas espécies (*Corymbia citriodora* e *torelliana*). As demais espécies apresentaram valores dentro do intervalo tido como adequado.

O B é um bom exemplo de como o monitoramento da quantidade dos nutrientes é importante para o crescimento e desenvolvimento da planta. Este micronutriente tem efeito sinérgico em relação ao Cálcio (Ca), uma vez que a absorção de um nutriente interfere na absorção de outro. O Ca, que é considerado relativamente imóvel na planta, quando em presença de B, eleva sua mobilidade. (CAMARGO; SILVA, 1975).

Levando-se em consideração apenas as folhas lavadas, 50% das espécies apresentaram teores inferiores ao valor mínimo adequado para o Cobre (Cu), como o caso da *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e *Handronanthus heptaphyllus*. O mesmo aconteceu no ambiente Pátio de Carvão, onde 50% das espécies florestais apresentam teores inferiores ao limite mínimo esperado. Entretanto, em ambiente de Mata Atlântica, não foi observado o mesmo comportamento. Como já destacado, a disponibilidade de Cu pode ser afetada pelo pH do solo, e no ambiente industrial Pátio de Minério, o pH do solo se mostrou mais elevado que os encontrados no Pátio de Carvão, influenciando na disponibilidade de Cu.

Para o micronutriente Ferro (Fe), apesar do comportamento semelhante aos outros dois ambientes estudados, em que a quantidade de Fe em folhas não lavadas são todas superiores aos encontrados em folhas lavadas, para esse ambiente, os teores das folhas não lavadas se mostraram consideravelmente superiores quando comparados aos demais ambientes. Entretanto, ao efetuar a lavagem da folha, a quantidade do micronutriente Fe se mostrou substancialmente. Isso confirma o que Camargo e Silva (1975) afirmaram ao dizer que a absorção do Fe pelas folhas é relativamente baixa. Apenas a espécie *Acacia Mangium* apresentou resultados superiores ao considerado apropriado, inclusive duas espécies (*Corymbia citriodora* e *torelliana*) apresentaram teores inferiores ao valor mínimo tido como satisfatório (Gráfico 16).

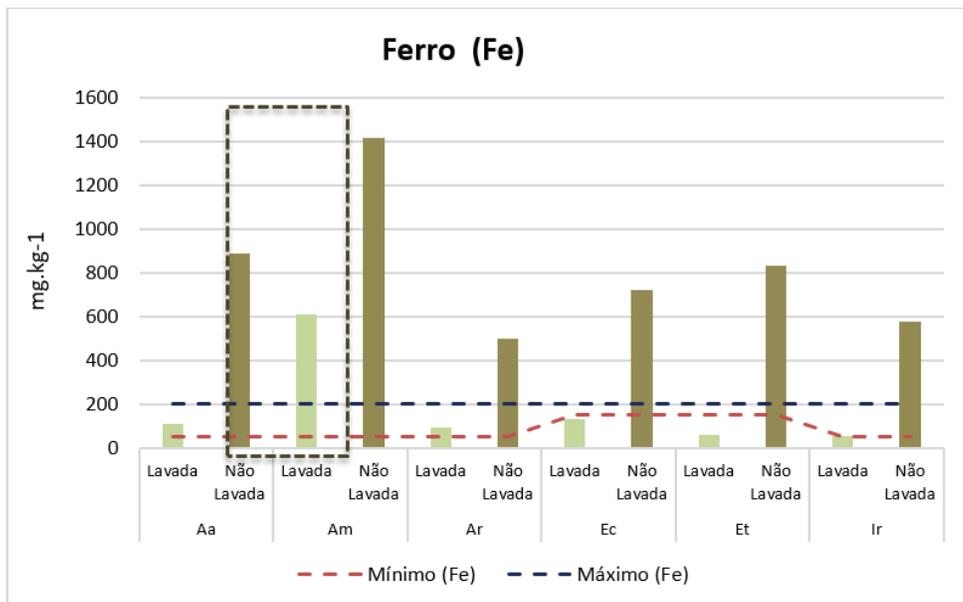


Gráfico 16 - Teores de Ferro para as espécies no ambiente Pátio de Minério.

Fonte: O Autor.

O Zinco (Zn) apresentou um comportamento semelhante aos verificados nos outros ambientes. Nos três ambientes estudados, o Zn apresentou teores baixos, mas não em quantidades que levassem à sua deficiência.

Da mesma forma, foi verificado que altos teores de Ferro e as alterações do pH do solo influenciam na disponibilidade do Zn. Ferreira e Cruz (1991) afirmam que é possível controlar a disponibilidade do Zn pela utilização de algumas práticas agrícolas, como por exemplo, o uso de adubos orgânicos naturais, que tende a diminuir a disponibilidade do Zn devido à formação de quelatos. Mas é possível também aumentar o aproveitamento dos micronutrientes com o emprego de adubos nitrogenados, demonstrando assim a importância do acompanhamento pela diagnose visual em conjunto com a foliar para identificar, por exemplo, a necessidade de adubação de manutenção, antes da manifestação visual de deficiência ou toxidez de nutrientes.

O monitoramento, as análises e as comparações entre os ambientes estudados foram de suma importância para verificar a influência do comportamento e adaptação das espécies. Malavolta (2006) destaca que nem sempre a análise de um único elemento isoladamente é suficiente para a avaliação do estado nutricional, ou seja, os elementos devem estar em níveis adequados para o crescimento, desenvolvimento e produção. Para tanto, a relação entre vários nutrientes tem que estar em equilíbrio.

6 I DIAGNOSE FOLIAR E NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS EM AMBIENTES DA MATA ATLÂNTICA E INDUSTRIAL

O estudo da diagnose foliar das espécies agroflorestais cultivadas no ambiente Mata Atlântica em condições naturais e nos ambientes industriais no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério mostra a importância do ambiente de cultivo no comportamento das espécies em relação à disponibilidade dos nutrientes. As discussões foram feitas com base nos resultados obtidos na análise foliar utilizando o procedimento padrão de lavagem das folhas no laboratório. Para isso, foi utilizada a comparação das amplitudes dos nutrientes dentro de cada ambiente, conforme os Gráficos 17 e 18. É relevante ressaltar que nos gráficos são destacadas as diferenças nas amplitudes máxima e mínima dos teores verificados nas Tabelas 3 e 4, 5 a 10.

A amplitude demonstra que, em um mesmo ambiente, os teores de macro e micronutrientes são variáveis, e sua absorção sofre interferência em função da espécie. O processo de absorção é influenciado pela espécie e por suas características genéticas. Há diferenças na capacidade e na velocidade de absorção entre espécies e variedades (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). A comparação das mesmas espécies em diferentes ambientes é importante para avaliar o comportamento das mesmas quanto à disponibilidade de nutrientes, além de outros aspectos, como a influência antropogênica e demais fatores edafoclimáticos.

Assim, a amplitude é um indicativo da importância do ambiente no processo de disponibilidade dos nutrientes e absorção pelas plantas. Outro fator que merece destaque é a influência das espécies quanto à absorção.

6.1 Macronutrientes

Os resultados para os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S são apresentados no Gráfico 17 e discutidos a seguir:

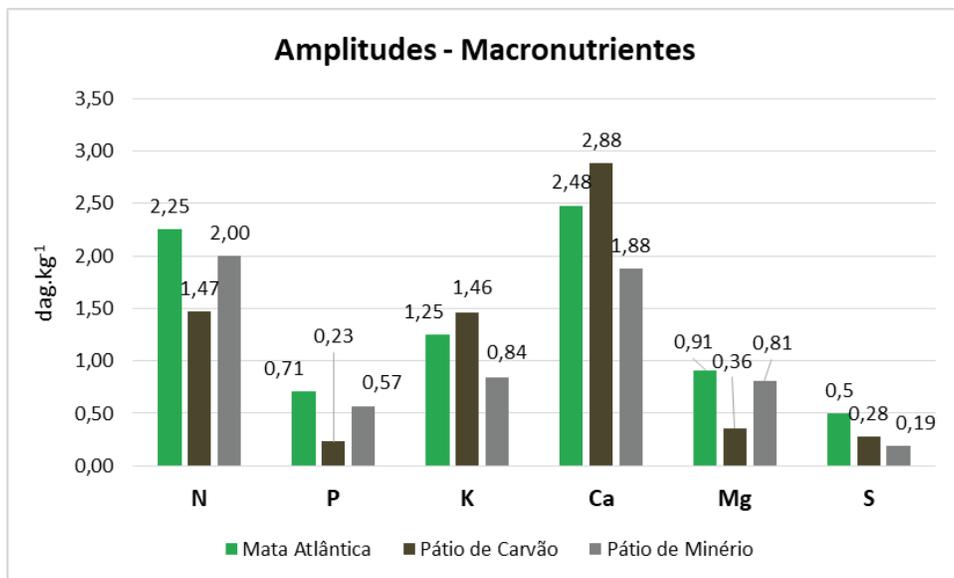


Gráfico 17 - Amplitudes dos Macronutrientes.

Fonte: O Autor.

6.1.1 Nitrogênio (N)

Os teores foliares de N nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica, considerado como padrão de referência, apresentaram uma amplitude de 1,56 a 3,81 dag.kg⁻¹, observados nas espécies *Handroanthus heptaphyllus* e *Acacia auriculiformis* respectivamente, com uma diferença de 2,25 dag.kg⁻¹

No Pátio de Carvão, a amplitude foi de 1,55 a 3,02 dag.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Corymbia citriodora* e *Bauhinia forficata*, com uma diferença de 1,47 dag.kg⁻¹. No Pátio de Minério, a amplitude foi de 1,74 a 3,74 dag.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Corymbia torelliana* e *Acacia auriculiformis*, com diferença de 2,0 dag.kg⁻¹.

As espécies agrônômicas e florestais apresentaram diferenças nas faixas dos teores nutricionais. No entanto, esses resultados ficaram próximos uns dos outros. A maior amplitude ocorreu no ambiente Mata Atlântica 2,25 dag.kg⁻¹, seguido do Pátio de Minério, 2,0 dag.kg⁻¹, e por último o Pátio de Carvão, com 1,47 dag.kg⁻¹.

Esses resultados corroboram a importância das espécies no processo de absorção nutricional.

6.1.2 Fósforo (P)

No ambiente Mata Atlântica, a amplitude foi de 0,15 a 0,86 dag.kg⁻¹, observados, respectivamente, nas espécies *Acacia mangium* e *Corymbia torelliana*, que apresentaram

o mesmo valor de 0,15 dag.kg⁻¹, e a *Acacia auriculiformis* com valor superior de 0,86 dag.kg⁻¹ com uma amplitude de 0,71 dag.kg⁻¹

No ambiente industrial Pátio de Carvão, a amplitude foi de 0,11 a 0,34 dag.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Corymbia citriodora* e *Senna macranthera*, com uma diferença de 0,23 dag.kg⁻¹. No Pátio de Minério, a amplitude foi de 0,17 a 0,74 dag.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis*, com uma diferença de 0,57 dag.kg⁻¹.

A maior diferença foi observada no ambiente Mata Atlântica (0,71 dag.kg⁻¹), seguido do Pátio de Minério (0,57 dag.kg⁻¹) e por último o Pátio de Carvão, com 0,23 dag.kg⁻¹. Apesar das diferenças quanto aos ambientes, é possível inferir que as amplitudes entre os teores de P nas espécies no ambiente Mata Atlântica e no ambiente industrial no Pátio de Minério ficaram próximos, demonstrando que as plantas podem apresentar comportamentos semelhantes quanto ao P em diferentes ambientes.

É importante destacar que, embora o menor valor observado para o P tenha ocorrido no ambiente industrial do Pátio de Carvão, não foram observados sintomas visuais de deficiência para esse macronutriente.

6.1.3 Potássio (K)

Os teores foliares de K nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentaram uma amplitude de 0,63 a 1,88 dag.kg⁻¹, observados respectivamente nas espécies *Bauhinia forficata* e *Acacia auriculiformis*, com uma diferença de 1,25 dag.kg⁻¹. Os maiores valores para as amplitudes foram observados no ambiente Pátio de Carvão, variando de 0,78 a 2,24 dag.kg⁻¹ para as espécies *Corymbia citriodora* e *Acacia auriculiformis* respectivamente, com amplitude de 1,46 dag.kg⁻¹. Os resultados obtidos para o ambiente industrial Pátio de Minério variaram de 0,73 a 1,57 dag.kg⁻¹ para as espécies *Corymbia torelliana* e *Acacia auriculiformis*, sendo considerada a menor amplitude verificada entre os três ambientes para o macronutriente K.

O maior valor para a amplitude de K foi verificado no ambiente industrial no Pátio de Carvão, quando comparado aos demais ambientes, comportamento esse que apresentou maior semelhança com o ambiente natural de Mata Atlântica e maior diferença se comparado ao ambiente industrial Pátio de Minério.

6.1.4 Cálcio (Ca)

Os teores foliares de Ca nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentaram uma amplitude de 2,48 dag.kg⁻¹, variando de 0,83 a 3,31 dag.kg⁻¹ nas espécies *Corymbia torelliana* e *Schinus terebinthifolius*, respectivamente.

No Pátio de Carvão, a amplitude para o Ca foi de 0,8 a 3,68 dag.kg⁻¹ respectivamente

para as espécies *Corymbia citriodora* e *Senna macranthera*, com a amplitude de 2,88 dag.kg⁻¹. No ambiente Pátio de Minério, a amplitude foi de 1,88 dag.kg⁻¹, com variações de 0,86 a 2,74 dag.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Corymbia torelliana* e *Acacia auriculiformis*.

O comportamento do Ca se mostrou semelhante ao que ocorreu com o K. No ambiente Pátio de Carvão, observou-se a maior amplitude, assemelhando-se mais ao comportamento verificado no ambiente Mata Atlântica e menos semelhança com o ambiente industrial do Pátio de Minério.

6.1.5 Magnésio (Mg)

Os teores foliares de Mg nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentaram uma amplitude de 0,23 a 1,14 dag.kg⁻¹ observados respectivamente nas espécies *Corymbia torelliana* e *Acacia auriculiformis*, e foram considerados os mais altos valores quando comparados com os verificados nos ambientes do Pátio de Carvão, que variaram de 0,22 a 0,58 dag.kg⁻¹, e no ambiente do Pátio de Minério, que variaram de 0,23 a 1,04 dag.kg⁻¹. O Pátio de Carvão apresentou amplitude consideravelmente menor, se comparado aos outros dois ambientes. Isto demonstra que para este macronutriente a absorção pelas plantas das diferentes espécies se mostrou mais homogênea.

6.1.6 Enxofre (S)

Os teores foliares de S nas oito espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentou uma amplitude de 0,13 a 0,63 dag.kg⁻¹ respectivamente nas espécies *Corymbia citriodora* e *Acacia auriculiformis*, com uma diferença de 0,5 dag.kg⁻¹.

No ambiente Pátio de Carvão, a amplitude foi de 0,09 a 0,37 dag.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Corymbia citriodora* e *Senna macranthera*, com uma diferença de 0,28 dag.kg⁻¹. No ambiente Pátio de Minério, a amplitude foi de 0,09 a 0,28 dag.kg⁻¹ para as espécies *Corymbia torelliana* e *Acacia auriculiformis* respectivamente com uma diferença de 0,19 dag.kg⁻¹.

Os teores nutricionais de S ocorreram com mais similaridades entre as espécies nos ambientes industriais, visto que neles a amplitude se mostrou menor quando comparado às espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica.

6.2 Micronutrientes

Os resultados para os micronutrientes Fe, Zn, Cu, Mn e B são apresentados no Gráfico 18 e discutidos a seguir:

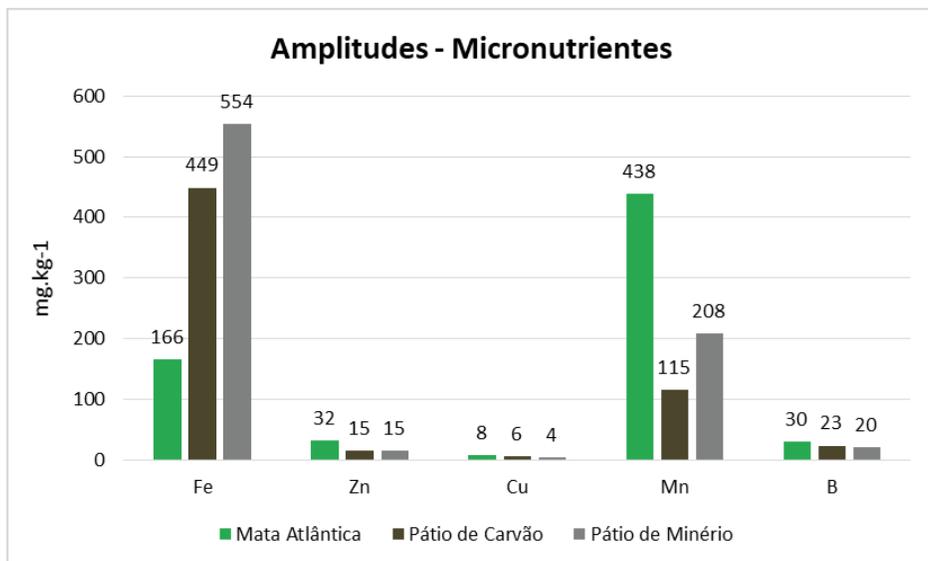


Gráfico 18 - Amplitudes dos micronutrientes.

Fonte: O Autor.

6.2.1 Ferro (Fe)

Os teores foliares de Fe verificados nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentaram uma amplitude de 135 a 301 mg.kg⁻¹, observados respectivamente nas espécies *Bauhinia forficata* e *Acacia auriculiformis*. Esses teores foram considerados os menores valores, quando comparados com os obtidos no ambiente industrial do Pátio de Carvão, que variaram de 129 a 578 mg.kg⁻¹, e no Pátio de Minério, que variaram de 57 a 611 mg.kg⁻¹.

Os maiores valores foram obtidos no ambiente industrial do Pátio de Minério, provavelmente em função da movimentação de matéria-prima industrial rica em Fe, o que resultou em amplitudes substancialmente maiores nos ambientes industriais.

O micronutriente Fe se mostrou mais uniforme nas espécies cultivadas no ambiente natural. É interessante destacar que as plantas com os menores teores observados no cálculo da amplitude se encontraram nos ambientes industriais, demonstrando que, mesmo com a presença de particulado, não houve influência na absorção, o que pode ser comprovado nas plantas que apresentaram menores teores deste micronutriente quando comparado com o ambiente Mata Atlântica sem interferências antropogênicas.

6.2.2 Zinco (Zn)

Os teores foliares de Zn nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentaram uma amplitude de 15 a 47 mg.kg⁻¹ e foram considerados os maiores valores

de amplitude quando comparados com os verificados nos ambientes industriais Pátio de Carvão, que variaram de 10 a 25 mg.kg⁻¹, e no ambiente do Pátio de Minério, que variaram de 9 a 24 mg.kg⁻¹.

O Zn apresentou comportamento semelhante nos três ambientes estudados quanto aos baixos teores, estando inclusive abaixo do considerado adequado, embora não tenha sido observada deficiência nutricional. A maior amplitude foi observada para as espécies do ambiente de Mata Atlântica, o que revela o comportamento mais desuniforme na absorção deste micronutriente. Já no ambiente industrial, houve maior uniformidade, conforme mostrado no Gráfico 10, referente ao Pátio de Carvão.

6.2.3 Cobre (Cu)

Os teores foliares de Cu nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentaram uma amplitude entre 6 a 14 mg.kg⁻¹ com uma diferença de 8 mg.kg⁻¹.

No ambiente Pátio de Carvão, a amplitude foi de 2 a 8 mg.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Corymbia citriodora* e *Senna macranthera*, com uma diferença de 6 mg.kg⁻¹. No Pátio de Minério, a amplitude foi de 4 a 8 mg.kg⁻¹, com uma diferença de 4 mg.kg⁻¹.

A maior diferença da amplitude foi observada no ambiente Mata Atlântica seguido do Pátio de Minério e, por último, no ambiente Pátio de Carvão. Se comparado ao ambiente Mata Atlântica, o Pátio de Minério apresentou a metade da amplitude, demonstrando que neste ambiente a variação de absorção entre uma espécie e outra se mostrou bem menor que no ambiente considerado como referência.

6.2.4 Manganês (Mn)

Os teores foliares de Mn, nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica, apresentaram uma amplitude de 57 a 495 mg.kg⁻¹, observados respectivamente nas espécies *Handroanthus heptaphyllus* e *Corymbia torelliana*, com uma diferença de 438 mg.kg⁻¹.

No Pátio de Carvão, a amplitude foi de 35 a 150 mg.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Acacia mangium* e *Corymbia torelliana*, com uma diferença de 115 mg.kg⁻¹. No Pátio de Minério, a amplitude foi de 64 a 272 mg.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Handroanthus heptaphyllus* e *Acacia mangium*, com uma diferença de 208 mg.kg⁻¹.

Mesmo com relevante diferença de amplitude do ambiente Mata Atlântica (438 mg.kg⁻¹) para o ambiente industrial, com os valores 115 mg.kg⁻¹ e 208 mg.kg⁻¹, os teores encontrados em todos os ambientes se apresentaram dentro da faixa considerada satisfatória.

6.2.5 Boro (B)

Os teores foliares de B nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentaram uma amplitude de 19 a 49 mg.kg⁻¹ observados respectivamente nas espécies *Bauhinia forficata* e *Schinus terebinthifolius*, com uma diferença de 30 mg.kg⁻¹.

No Pátio de Carvão, a amplitude foi de 25 a 48 mg.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Corymbia torelliana* e *Acacia mangium*, com uma diferença de 23 mg.kg⁻¹. No Pátio de Minério, a amplitude foi de 21 a 41 mg.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis*, com uma diferença de 20 mg.kg⁻¹.

Os menores valores se mostraram semelhantes nos três ambientes, o mesmo acontecendo para os maiores valores, o que demonstra que, para este micronutriente, independentemente do ambiente de cultivo, as espécies se comportaram de forma uniforme.

6.3 Metais Pesados

No monitoramento dos metais pesados, por meio das análises foliares, não foi detectada a presença de chumbo, cádmio, níquel e cromo nas folhas das plantas, tanto para as condições de folhas lavadas e não lavadas.

7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento do estado nutricional por meio da diagnose foliar se mostrou eficiente nos três ambientes analisados, e sua eficiência foi comprovada pela ausência de sintomas visuais de deficiência ou excesso nutricional durante o cultivo.

O método utilizado, comparando os resultados obtidos nas folhas lavadas e não lavadas, permitiu identificar que os teores dos nutrientes foram superiores nas folhas não lavadas, nos três ambientes (ambiente natural da Mata Atlântica e nos ambientes industrial Pátio de Carvão e Pátio de Minério), indicando que, mesmo no ambiente natural, sem interferência antropogênica, ocorrem particulados oriundos de outras fontes, não sendo característica exclusiva do meio industrial.

A utilização da referência de adequabilidade dos teores, encontrada no Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo, possibilitou a comparação simples e efetiva, podendo-se, de forma clara, visualizar o comportamento dentro e entre os ambientes.

Na fazenda Reginaldo Conde, ambiente natural de Mata Atlântica, bem como no Pátio de Minério, a espécie *Senna macranthera* não apresentou folhas suficientes para a análise, demonstrando que esse tipo de ocorrência pode acontecer em qualquer ambiente. No Pátio de Minério também não foi possível coleta de folhas para a espécie *Bauhinia forficata*. Mesmo em ambiente industrial, no Pátio de Carvão, todas as espécies continham folhas para realização das análises.

De maneira geral, os teores de Nitrogênio (N) e Potássio (K) apresentaram níveis satisfatórios e comportamentos semelhantes nos três ambientes estudados. Apesar da alta incidência de Enxofre (S) nos ambientes industriais, as folhas não demonstraram comportamento de altos teores sequer para as folhas não lavadas. Apenas uma espécie (Acácia Auriculiformes) apresentou valores substancialmente elevados para folhas não lavadas no Pátio de Minério, mas após a lavagem da folha, os teores ficaram muito próximos ao nível máximo considerado adequado. Os níveis podem ser considerados satisfatórios para os três ambientes, apresentando vários comportamentos em comum.

A maioria das espécies apresentaram altos teores de Cálcio (Ca), com desempenhos muito parecidos para os três ambientes. Inclusive o ambiente industrial do Pátio de Minério apresentou os teores mais próximos dos considerados adequados, com melhor comportamento que no ambiente natural. Além da diagnose visual, a toxidez deste nutriente foi descartada em função do teor adequado de Potássio nos três ambientes, uma vez que excesso de Ca pode levar à diminuição de K nas folhas.

Houve uma correspondência interessante entre o ambiente de Mata Atlântica e o Pátio de Minério em uma das espécies. A Acácia auriculiformes apresentou, nesses dois ambientes, alto teor de Magnésio (Mg), que provavelmente aumentou a absorção de Fósforo (P) e diminuiu a absorção de Manganês (Mn). As demais espécies apresentaram valores mais próximos ou dentro do teor adequado para os nutrientes.

No Pátio de Carvão, não houve essa correspondência, mas houve semelhança nas espécies *Corymbia citriodora* e *torelliana* com o ambiente natural. Os teores de Mg dessas espécies apresentaram valor abaixo do teor mínimo de adequabilidade, inclusive com valores bem próximos nos dois ambientes. As demais espécies apresentaram correspondência de comportamento.

Quanto ao Manganês, o Pátio de Carvão, apesar de a maioria das espécies se encontrar dentro dos valores esperados, os teores foram relativamente baixos se comparados aos demais ambientes.

Para o Fe, apesar de semelhantes no comportamento, os teores se mostraram em intensidades diferentes dentro de cada ambiente, para as folhas não lavadas. Em todos eles, a quantidade do nutriente encontrada nas folhas não lavadas foi maior que nas folhas lavadas. Mas no ambiente industrial, esses teores alcançaram números substancialmente maiores. O Pátio de Minério apresentou os maiores valores, o que já era esperado, uma vez que no local há movimentação de material rico em particulado de Fe. Com a lavagem das folhas, os teores apareceram notadamente em menor quantidade, apresentando inclusive níveis levemente inferiores em algumas espécies no meio industrial, como foi o caso da *Corymbia torelliana*.

Para os micronutrientes Boro (B), Cobre (Cu) e Zinco (Zn), os teores estavam nos

três ambientes, próximos ou abaixo da faixa mínima considerada adequada. Nenhuma planta apresentou deficiência. Como mencionado, alterações no pH do solo podem interferir na disponibilidade do Zn e Cu. O B em níveis inferiores, mostrou-se menos preocupante do que se estivesse elevado, visto que é tóxico para muitas espécies em níveis pouco superiores àqueles requeridos para as condições normais de desenvolvimento.

A amplitude possibilitou verificar como se comporta a absorção dos mesmos nutrientes em diferentes ambientes. Alguns apresentaram mais ou menos homogeneidade de absorção entre as espécies e houve inclusive semelhanças, como foi o caso do Boro.

Além disso, foi ainda verificada e descartada a presença de metais pesados, uma vez que não houve seletividade por parte das plantas ao absorver os nutrientes. Com isso, o estudo se mostrou completo, relevante e de importante contribuição para futuras pesquisas na utilização de quebra-ventos em ambientes industriais.

REFERÊNCIAS

CAMARGO, P. N.; SILVA, O. **Manual de Adubação Foliar**. São Paulo - SP: Herba, 1975. 258 p.

COSTA, A. N. da. **Uso do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), na avaliação do estado nutricional do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no Estado do Espírito Santo**. 1995. 94 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

COSTA, A. N. da. Uso do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) no mamoeiro. In: MENDES, L.G.; DANTAS, J.L.L.; MORALES, C.F.G. **Mamão no Brasil**. Cruz das Almas, BA: EUFBA/ EMBRAPA-CNPMP, 1996. p. 49 - 55.

COSTA, A. N. da; COSTA, A. de F. S. da. Nutrição e adubação. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. de F.S. da. (eds.). **A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção**. Vitória: Incaper, 2003. p. 201 - 227.

COSTA, A. N.: Diagnose foliar na cultura do mamão. In: PRADO, R. M. **Nutrição de plantas diagnose foliar**. São Paulo: Jaboticabal, 2012. p. 259 - 279.

FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba – SP: KP Potafos, 1991, 734 p.

HARIDASAN, M.; ARAÚJO, G. M. Aluminium-accumulating species in two forest communities in the cerrado region of central Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 24, p.15 - 26, 1988.

HARIDASAN, M. Solos de mata de galeria e nutrição mineral de espécies arbóreas em condições naturais. In: RIBEIRO, J. F. (Ed.) **Cerrado: matas de galeria**. EMBRAPAC/PAC, Planaltina, DF, 1998. p. 19-28.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 2006. 631 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química Agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo - SP: Ceres, 1976. 528 p.

MALAVOLTA, E. **Micronutrientes na adubação**. Paulínia - SP: Nutriplant indústria e Comércio Ltda, 1986, 70 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2.ed., rev. e atual., Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant.** 2. ed. New York: Academy Press, 1995. 889 p.

MUNSON, R. D.; NELSON, W. L. Principles and practices in plant analysis. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (Eds.). **Soil testing and plant analysis.** Madison: Soil Science Society of America, 1973. p 223 - 248.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação.** Vitória, ES, SEEA/ Incaper/Cedagro, 2007. 305 p.

PREZOTTI, L.C.; GUARÇONI, A. **Guia de Interpretação de análise de solo e foliar.** Vitória - ES: Incaper, 2013. 104 p.

RAIJ, B. V. CANTARELA, H., QUAGGIO, J. A., FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285 p. Boletim Técnico, 100.

AVALIAÇÕES DENDROMÉTRICAS DE ESPÉCIES AGROFLORESTAIS EM CINTURÃO VERDE

Data de aceite: 08/02/2022

Pedro Luís Pereira Teixeira de Carvalho

Bernardo Enne Corrêa da Silva

Fabio Favarato Nogueira

Aureliano Nogueira da Costa

1 | INTRODUÇÃO

Dendrometria é um ramo das ciências florestais que tem por objetivo identificar o volume das árvores e suas respectivas partes, para estimar ou determinar quantitativamente os recursos florestais numa determinada área. Também inclui o estudo do crescimento das árvores por meio da evolução temporal de variáveis de interesse como os diâmetros, alturas ou volumes de fustes, com aplicação de princípios básicos da matemática, estatística, geometria e física, tornando possível inferir sobre diversos aspectos de povoamentos florestais.

Assim, as variáveis dendrométricas de altura total da árvore e o diâmetro à altura do peito (DAP), rigorosamente medido à altura de 1,30 metros, são fundamentais para a estimação de área basal, volume, crescimento, incremento anual, comparação de variáveis dentre outros parâmetros (BRUCE; SCHUMACHER, 1950; GOMES, 1957).

Para o setor florestal, a dendrometria é

de suma importância, pois gera embasamento técnico ao gestor florestal para a elaboração de planos silviculturais, manejo e exploração florestal, além de proporcionar o conhecimento das condições de desenvolvimento e sustentabilidade de florestas plantadas ou naturais.

Dessa forma, a dendrometria surge para atender às diversas finalidades florestais, como a necessidade de interpretação com exatidão do quanto uma determinada floresta, plantada ou natural, produzirá de determinado produto (ENCINAS et al., 2002).

Além dos parâmetros de dendrometria, existem os parâmetros qualitativos, por meio de avaliações visuais, que somam aos parâmetros quantitativos no conhecimento e observação da situação de árvores e povoamentos florestais, contemplando a identificação de problemas, incidência de pragas e doenças, danos provocados por ações externas, subsidiando intervenções para o manejo da vegetação (MILANO; DALCIN, 2000).

Dessa forma, neste capítulo, são apresentados os resultados de avaliação dos parâmetros dendrométricos e qualitativos das espécies implantadas como quebra-ventos nas áreas experimentais da ArcelorMittal Tubarão, utilizando-se como base de comparação o desenvolvimento dessas espécies em condições naturais de Mata Atlântica, seguindo

a metodologia apresentada no Capítulo 5 deste livro.

2 | AVALIAÇÕES DENDROMÉTRICAS E QUALITATIVAS

Os dados amostrais foram transformados visando à normalidade da distribuição dos erros, homogeneidade das variâncias e aditividade dos efeitos dos fatores de variação. Ainda assim, os dados não atingiram a normalidade e homogeneidade das variâncias, e por isso foi usado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis para avaliar se os ambientes e/ou as espécies exercem influência significativa sobre a forma do fuste.

2.1 Altura das Árvores

A altura das árvores foi medida para avaliar a taxa de crescimento, visando inferir sobre a adaptação das espécies aos diversos ambientes, bem como a sua importância e implantação nos diversos extratos que compõem o Cinturão Verde. Verifica-se, na Tabela 1, o crescimento diferenciado das diversas espécies em cada um dos ambientes estudados.

A análise fatorial comparativa entre os ambientes da Mata Atlântica e os industriais permite avaliar a diferença estatística entre o crescimento das espécies entre os locais de instalação das áreas experimentais.

A análise fatorial comparando os três ambientes permite avaliar se houve diferença significativa quanto ao crescimento das plantas para cada espécie, para recomendação de uso como quebra-ventos.

As espécies *Corymbia citriodora* e *Senna macranthera* apresentaram crescimento superior nos ambientes de Pátio de Minério, com 7,73 m, e Pátio de Carvão, com 3,35 m, respectivamente.

Espécie	Mata Atlântica (m)	Pátio de Carvão (m)	Pátio de Minério (m)
<i>Acacia auriculiformis</i>	3,24 A* de**	3,45 A d	3,64 A c
<i>Acacia mangium</i>	8,74 A a	4,92 B bc	4,29 B c
<i>Bauhinia forficata</i>	3,05 A e	3,20 A de	-
<i>Corymbia citriodora</i>	6,42 B c	5,77 B ab	7,73 A a
<i>Corymbia torelliana</i>	7,55 A b	5,97 B a	6,30 B b
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	2,61 A e	2,39 A e	2,57 A d
<i>Schinus terebinthifolius</i>	4,15 A d	4,05 A cd	4,04 A c
<i>Senna macranthera</i>	1,59 B f	3,35 A de	1,95 B d
Média	4,67	4,14	4,36

*Letras maiúsculas e iguais na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância e comparam os ambientes

**Letras minúsculas e iguais na vertical não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância e comparam as espécies dentro dos ambientes.

Tabela 1 - Altura média para cada espécie, avaliada aos 30 meses de implantação do ensaio.

Fonte: O Autor.

A análise comparativa das plantas de *Corymbia citriodora* e *Senna macranthera* nos pátios industriais foi superior à verificada para esses parâmetros no ambiente Mata Atlântica, 6,42 m e 1,59 m. Esses resultados destacam as diferentes capacidades de adaptação das espécies avaliadas quanto aos ambientes independentes da ação antrópica, enfatizando que o ambiente industrial não interferiu no crescimento dessas espécies.

As espécies *Acacia auriculiformis*, *Schinus terebinthifolius*, *Handroanthus heptaphyllus* apresentaram crescimento semelhante nos ambientes dos pátios industriais e no ambiente da Mata Atlântica, não diferindo significativamente entre os ambientes. Os resultados observados corroboram os resultados obtidos para as espécies anteriores, mostrando mais uma vez que não foi observado o efeito dos ambientes industriais para essas três espécies, quando comparado com o ambiente da Mata Atlântica, considerado unidade de referência sem interferência antrópica.

A *Corymbia torelliana* foi a única espécie que apresentou maior crescimento no ambiente Mata Atlântica quando comparado com o crescimento nos ambientes dos pátios industriais.

A espécie *Bauhinia forficata* não sobreviveu nas condições do Pátio de Minério, demonstrando sua sensibilidade nesse ambiente. Entretanto, essa espécie se destacou no Pátio de Carvão. O seu desenvolvimento foi semelhante ao ambiente Mata Atlântica, não apresentando diferença significativa entre esses dois ambientes.

A representação gráfica dos resultados para a altura de plantas, em metros, está apresentada no Gráfico 1, para melhor visualização comparativa das espécies nos três ambientes.

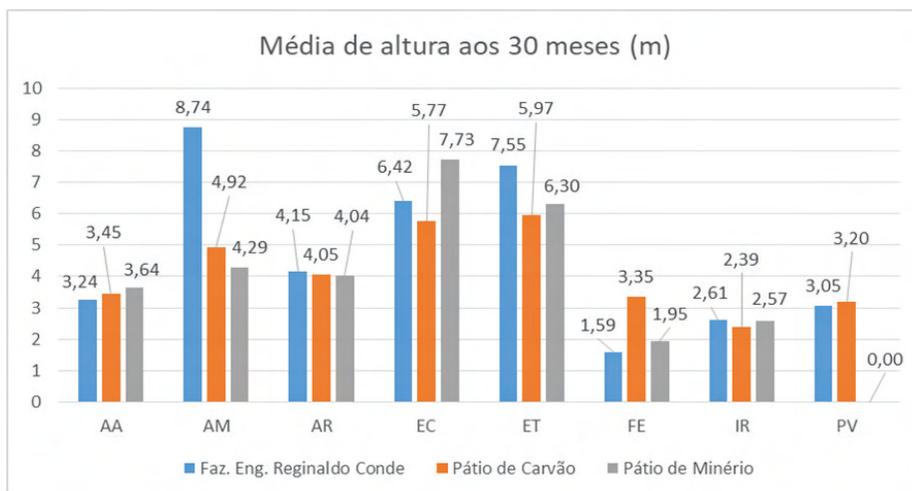


Gráfico 1 - Crescimento em altura (metros) aos 30 meses de desenvolvimento (AA) - *Acacia auriculiformis*; (AM) *Acacia mangium*; (AR) *Schinus terebinthifolius*; (EC) *Corymbia citriodora*; (ET) *Corymbia torelliana*; (FE) *Senna macranthera*; (IR) *Handroanthus heptaphyllus*; (PV) *Bauhinia forficata*.

Fonte: O Autor.

2.2 Diâmetro à Altura do Peito

Na Tabela 2 e no Gráfico 2 são demonstrados os dados de diâmetros médios coletados em campo para os ambientes industriais e de Mata Atlântica, incluindo a comparação de médias por meio do teste Tukey.

Espécie	Mata Atlântica(cm)	Pátio de Carvão (cm)	Pátio de Minério (cm)
<i>Acacia auriculiformis (Aa)</i>	2,16 B* c**	3,03 A c	3,58 A b
<i>Acacia mangium (Am)</i>	9,11 A a	3,99 B c	4,18 B b
<i>Bauhinia forficata (Pv)</i>	2,10 A c	2,40 A c	-
<i>Corymbia citriodora (Ec)</i>	4,65 C b	6,18 B b	8,31 A a
<i>Corymbia torelliana (Et)</i>	7,94 A a	8,07 A a	8,11 A a
<i>Handroanthus heptaphyllus (Ir)</i>	2,28 A c	3,24 A c	2,92 A b
<i>Schinus terebinthifolius (Ar)</i>	2,53 A c	3,82 A c	3,44 A b
<i>Senna macranthera (Fe)</i>	2,09 A c	2,70 A c	0,74 B c
Média	4,11	4,18	4,47

*Letras maiúsculas e iguais na horizontal não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância e comparam os ambientes

**Letras minúsculas e iguais na vertical não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância e comparam as espécies dentro dos ambientes.

Tabela 2 - Diâmetro médio do fuste para cada espécie, expresso em centímetros aos 30 meses de implantação do ensaio.

Fonte: O Autor.

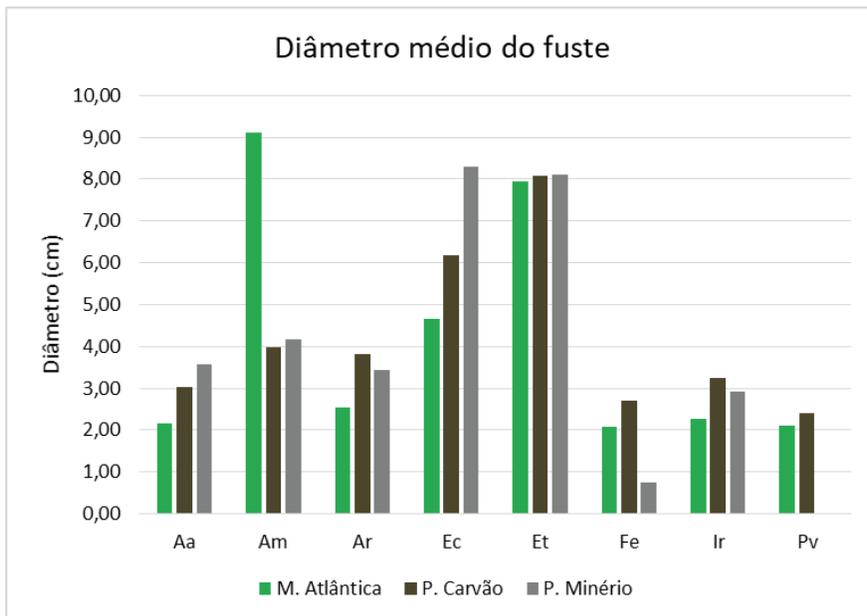


Gráfico 2 - Diâmetro médio do fuste para cada espécie, expresso em centímetros aos 30 meses de implantação do ensaio.

Fonte: O Autor.

Para a fazenda Eng. Reginaldo Conde, ambiente de Mata Atlântica, foi observado o desenvolvimento superior das espécies *Acacia mangium* e *Corymbia torelliana*, com 9,11 cm e 7,94 cm, respectivamente, não havendo diferença estatística entre as médias dos diâmetros para essas duas espécies.

Em seguida, observou-se a espécie *Corymbia citriodora*, apresentando desenvolvimento de 4,65 cm em diâmetro, diferenciando-se de todas as espécies desse ambiente.

As demais espécies estudadas apresentaram desenvolvimento inferior, não havendo diferença estatística e apresentando diâmetros médios, que variaram entre 2,09 cm e 2,53 cm.

Já no ensaio implantado no Pátio de Carvão, o destaque foi para *Corymbia torelliana*, apresentando desenvolvimento diamétrico de 8,07 cm, diferindo-se de todas as outras espécies estatisticamente.

Em segundo lugar, assim como observado na fazenda Eng. Reginaldo Conde, a espécie *Corymbia citriodora* aparece isolada com diâmetro de 6,18 cm.

As demais espécies apresentaram desenvolvimento inferior às duas anteriormente citadas, não diferindo entre si estatisticamente e variando entre 2,14 cm e 3,99 cm, com destaque para a *Acacia mangium*, que, na fazenda Eng. Reginaldo Conde, obteve o melhor desenvolvimento em diâmetro, não se repetindo para o Pátio de Carvão.

No ensaio desenvolvido no Pátio de Minério, as espécies que tiveram destaque foram *Corymbia torelliana* e *Corymbia citriodora*, observando as médias de diâmetro de 8,31 cm e 8,11 cm, respectivamente.

O menor desenvolvimento foi observado em *Senna macranthera*, com apenas 0,74 cm, diferindo-se de todas as outras espécies.

As demais espécies se encontram na faixa intermediária de desenvolvimento, variando entre 2,92 cm e 4,18 cm.

Bauhinia forficata não apresentou adaptação ao ambiente, ocorrendo a mortalidade de todas as espécies no ensaio desenvolvido no Pátio de Minério.

Quando se comparou a interação entre os três ambientes, observou-se que *Acacia auriculiformis* obteve desenvolvimento estatístico maior nos Pátios de Carvão e de Minério, diferindo-se do desenvolvimento observado na fazenda Eng. Reginaldo Conde, demonstrando boa adaptação ao ambiente industrial.

Outra espécie que demonstrou boa adaptação ao ambiente industrial, em especial ao Pátio de Minério, foi *Corymbia citriodora*, havendo diferença estatística entre os três ambientes estudados, observando dados diamétricos de 8,31 cm, 6,18 cm e 4,65 cm para o Pátio de Minério, Pátio de Carvão e ambiente de Mata Atlântica, respectivamente.

As espécies *Schinus terebinthifolius*, *Corymbia torelliana* e *Handroanthus heptaphyllus* apresentaram desenvolvimento estatístico iguais nos 3 ambientes estudados, demonstrando também boa adaptação aos ambientes industriais quando comparamos com ambientes com baixa ação antrópica.

As espécies *Senna macranthera* e *Bauhinia forficata* apresentaram desenvolvimentos iguais estatisticamente na fazenda Eng. Reginaldo Conde e Pátio de Carvão, demonstrando adaptação ao ambiente industrial da região do Pátio de Carvão. Já no ambiente de Pátio de Minério, houve menor adaptação, principalmente para *Bauhinia forficata*, onde foi observado 100% de mortalidade das plantas.

A espécie que apresentou o menor desenvolvimento no ambiente industrial para a característica de Diâmetro de Altura do Peito (DAP) foi *Acacia mangium*, em que houve superioridade estatística no desenvolvimento apenas das plantas situadas na Fazenda Eng. Reginaldo Conde, demonstrando menor adaptação ao ambiente industrial.

2.3 Forma do Tronco

As características da forma do tronco, avaliadas de acordo com a atribuição de notas, levando em consideração a tortuosidade do tronco, em que a nota 5 foi atribuída para tronco ausente de tortuosidade e a nota 1 atribuída ao tronco extremamente tortuoso, conforme Figura 10 apresentada no Capítulo 5, encontram-se na Tabela 3.

Espécie	Mata Atlântica	PE de Carvão	PE de Minério
<i>Acacia auriculiformis</i>	3,33	3,86	3,65
<i>Acacia mangium</i>	4,03	3,80	3,67
<i>Bauhinia forficata</i>	3,17	3,50	-
<i>Corymbia citriodora</i>	3,99	4,51	4,61
<i>Corymbia torelliana</i>	4,58	4,12	4,27
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	4,36	4,08	3,97
<i>Schinus terebinthifolius</i>	2,96	2,58	2,06
<i>Senna macranthera</i>	2,75	3,46	4,00
Média	3,65	3,74	3,75

Tabela 3 - Nota média da condição de tortuosidade do fuste para as espécies analisadas no ensaio aos 30 meses.

Fonte: O Autor.

2.4 Avaliação do Fuste Quanto a Bifurcações e Polifurcações

Os resultados de avaliação do fuste, de acordo com a altura das bifurcações e polifurcações, conforme padronização apresentada na Figura 11, do Capítulo 5, onde a nota 5 foi atribuída a plantas com ausência de bifurcação, 4 atribuída a plantas que apresentaram bifurcação acima de 40 centímetros, 3 para bifurcação abaixo de 40 centímetros, 2 para

fustes polifurcados acima de 40 centímetros e 1 para fustes polifurcados abaixo dos 40 centímetros, são apresentados na Tabela 4.

As espécies *Corymbia citriodora* e *Corymbia torelliana* apresentaram baixos percentuais de indivíduos bifurcados ou polifurcados, principalmente na base e mantiveram fuste único em mais de 80% e 60% dos indivíduos, respectivamente.

Por outro lado, as demais espécies apresentaram altos percentuais de bifurcações e polifurcações, e, em alguns casos mais acentuados, nos Pátios de Minério e de Carvão, provavelmente devido ao estresse abiótico, principalmente o *spray* marinho, que em parte do ano, quando o vento sul predomina, tem interferido nas condições experimentais, causando queima de ponteiro e induzindo a bifurcações ou polifurcações das árvores. Porém, outras espécies naturalmente apresentaram altos percentuais de bifurcações ou polifurcações nos três locais, por ser uma característica inerente da espécie, como é o caso da *Schinus terebinthifolius*.

Espécie	Local	Bifurcações ou polifurcações na base (1 e 3)	Bifurcações ou polifurcações acima (2 e 4)	Fuste Único (5)
<i>Acacia auriculiformis</i>	Mata Atlântica	6,90%	62,10%	31%
	Minério	10,50%	79%	10,50%
	Carvão	30,80%	53,80%	15,40%
<i>Acacia mangium</i>	Mata Atlântica	5,90%	38,20%	55,90%
	Minério	0%	100%	0%
	Carvão	30,80%	23,10%	46,10%
<i>Bauhinia forficata</i>	Mata Atlântica	60%	20%	20%
	Minério	-	-	-
	Carvão	37,50%	25%	37,50%
<i>Corymbia citriodora</i>	Mata Atlântica	4,20%	4,20%	91,60%
	Minério	10%	0%	90%
	Carvão	5%	15%	80%
<i>Corymbia torelliana</i>	Mata Atlântica	0%	22,70%	77,30%
	Minério	2,20%	20%	77,80%
	Carvão	2,30%	37,20%	60,50%
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Mata Atlântica	3,10%	75%	21,90%
	Minério	53,30%	46,70%	0%
	Carvão	52%	36%	12%
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Mata Atlântica	48,20%	44,40%	7,40%
	Minério	75%	25%	0%
	Carvão	69,20%	30,80%	0%
<i>Senna macranthera</i>	Mata Atlântica	75%	25%	0%
	Minério	100%	0%	0%
	Carvão	37,50%	37,50%	25%

Tabela 4 - Percentual de fustes únicos, bifurcações e polifurcações do fuste para as espécies analisadas no ensaio aos 30 meses.

Fonte: O Autor.

3 I SOBREVIVÊNCIA

A taxa de sobrevivência das espécies é de extrema importância, tanto para possibilitar uma maior eficiência do Cinturão Verde na redução da velocidade dos ventos incidentes nas pilhas de estocagem de minério e carvão, quanto para a indicação de espécies resistentes aos ambientes do parque industrial.

Na Tabela 5 e Gráfico 3, observa-se que a maior taxa de sobrevivência foi no ambiente da Mata Atlântica, visto a proximidade com ambientes naturais, e a não existência de fatores externos, como a deposição de particulado sobre as plantas (Pátio de Minério) e a exposição ao *spray* marinho (Pátio de Carvão).

Espécie	Mata Atlântica	PE de Carvão	PE de Minério
<i>Acacia auriculiformis (Aa)</i>	80,56%	37,14%	54,29%
<i>Acacia mangium (Am)</i>	94,44%	36,11%	11,11%
<i>Bauhinia forficata (Pv)</i>	69,44%	22,86%	0,00%
<i>Corymbia citriodora (Ec)</i>	70,59%	60,61%	80,00%
<i>Corymbia torelliana (Et)</i>	100,00%	91,49%	84,91%
<i>Handroanthus heptaphyllus (Ir)</i>	86,49%	67,57%	78,95%
<i>Schinus terebinthifolius (Ar)</i>	93,10%	89,66%	77,42%
<i>Senna macranthera (Fe)</i>	11,11%	19,44%	29,40%
Média	75,72%	53,11%	59,44%

Tabela 5 - Porcentagem de sobrevivência total para as espécies analisadas no ensaio aos 30 meses.

Fonte: O Autor.

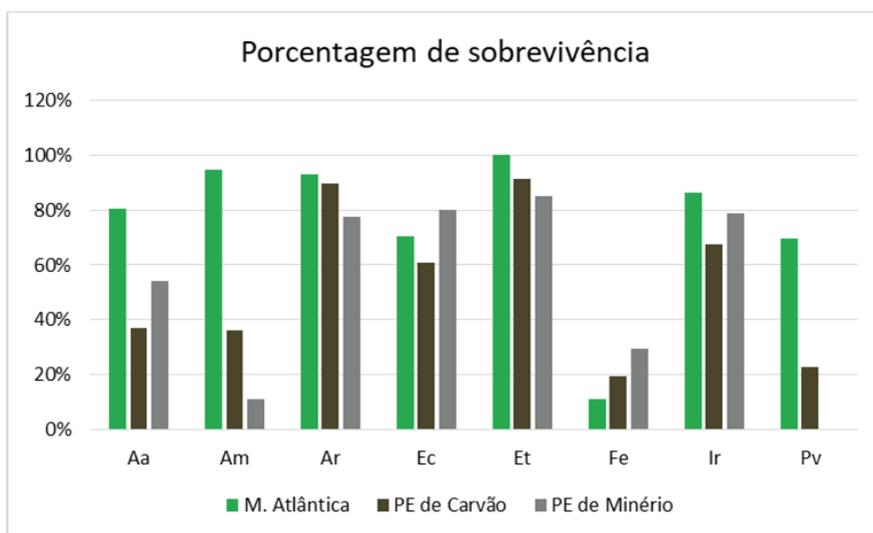


Gráfico 3 - Porcentagem de sobrevivência total para as espécies analisadas no ensaio aos 30 meses.

Fonte: O Autor.

A superioridade no ambiente da Mata Atlântica se deu para os indivíduos de *Corymbia torelliana*, em que foram observadas taxa de sobrevivência de 100% na avaliação final aos 30 meses. A espécie com menor taxa de sobrevivência observada foi *Senna macranthera*, em que apenas 11,11% dos indivíduos sobreviveram. Os demais indivíduos apresentaram sobrevivência próxima ao esperado em ambientes com plantios mistos adensados, onde a competição por luz, nutriente e água se intensificam.

Para o ambiente do Pátio de Carvão, a espécie que se destacou foi novamente *Corymbia torelliana*, seguida de *Schinus terebinthifolius*, observando taxa de sobrevivência de 91,49% e 89,66% respectivamente. As espécies *Handroanthus heptaphyllus* e *Corymbia citriodora* atingiram taxas de sobrevivência intermediária para o ambiente, com 67,57% e 60,61% respectivamente. Todas as outras espécies utilizadas atingiram valores baixos de sobrevivência.

O valor médio geral de sobrevivência para o Pátio de Carvão foi o menor entre os três ambientes. Pode-se considerar como principal ponto negativo sua proximidade com o oceano, com formação de spray marinho rico em cloreto de sódio (NaCl), elemento esse que ocasiona, em plantas não adaptadas, a queima de gema apical e má formação de tecido vegetal (WANG; NIL, 2000).

No ambiente do Pátio de Minério, a espécie *Bauhinia forficata* atingiu 100% de mortalidade aos 30 meses após o plantio, sendo tal espécie considerada inadequada para recomendação nas condições avaliadas. No Pátio de Carvão, essa espécie obteve baixa taxa de sobrevivência.

Para as espécies *C. torelliana*, *C. citriodora*, *H. heptaphylla* e *S. terebinthifolius* foram observadas taxas de sobrevivências satisfatórias, 84,91%, 80%, 78,95% e 77,42% respectivamente. Assim, levando em consideração as taxas de sobrevivência, essas espécies podem ser replicadas em outros locais de formação de novas faixas do Cinturão Verde, em condições semelhantes.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando as características dendrométricas, altura e DAP, analisadas aos 30 meses de idade, pôde-se chegar à conclusão que houve uma melhor adaptação das espécies exóticas *Corymbia torelliana* e *Corymbia citriodora* aos ambientes em contato com particulados de carvão e minério. Essas espécies também se destacaram quanto aos parâmetros qualitativos, forma do tronco e tipo de ramificação, apresentando fustes retilíneos e menor porcentagem de indivíduos bifurcados.

Portanto, essas espécies estão aptas a serem implantadas em áreas do Cinturão Verde, pois responderam melhor às condições adversas dos pátios industriais, sendo mais indicadas para compor o extrato superior de quebra-ventos.

Além das espécies do gênero *Corymbia*, as espécies *Schinus terebinthifolius* e *Handroanthus heptaphylla* também apresentaram taxas satisfatórias de sobrevivência em ambos os ambientes da indústria. Essas espécies também podem ser indicadas para o uso em quebra-ventos, pois cumprem o papel de preencher o extrato inferior e intermediário do plantio, respectivamente, diminuindo a porosidade do Cinturão Verde. A espécie *Handroanthus heptaphylla* possui um crescimento inicial lento, o que comprometeu os resultados das análises dendrométricas aos 30 meses de plantio, mesmo tendo um potencial para atingir até 25 metros de altura em sua fase adulta.

A única espécie que apresentou 100% de mortalidade foi *Bauhinia forficata* no Pátio de Carvão. Esta também apresentou baixo percentual de sobrevivência no Pátio de Minério, não sendo recomendada para uso em quebra-ventos.

As plantas de *S. macranthera* exibiram alta mortalidade e baixos valores das características dendrométricas, também não sendo recomendadas para o uso no Cinturão Verde.

Dessa forma, as espécies *Corymbia toreliana*, *Corymbia citriodora*, *Schinus terebinthifolius* e *Handroanthus heptaphylla* são recomendadas para utilização como quebra-ventos nos pátios industriais da ArcelorMittal Tubarão.

REFERÊNCIAS

BRUCE, D., SCHUMACHER, F. X. **Forest mensuration**. 3. ed, New York: McGraw-Hill, 1950. 483 p.

CALISKAN, E. Environmental impacts of forest road construction on mountainous terrain. **Iranian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering**, v.10, p. 23 - 30, 2013.

ENCINAS, I. J., SILVA, G. F., TICCHETTI, I. **Comunicações técnicas florestais: Variáveis dendrométricas**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, v. 4, n.1, p. 102, 2002.

GOMES, A. M. de A. **Medição de arvoredos**. Lisboa: Sá da Costa. 1957. 413 p.

INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, assistência Técnica e extensão Rural. **Relatório de avaliação de espécies florestais para formação do cinturão verde**. Vitória-ES. Nov. 2013. 51 p.

MILANO, M. S., DALCIN, E. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Light, 2000. 226 p.

PAIVA, A.S. et al. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.161-169, 2005.

WANG, Y; NIL, N. Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase–oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. **Journal Horticultural Science Biotechnology**, n. 75, p. 623 - 627. 2000.

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

Data de aceite: 08/02/2022

Diolina Moura Silva

Thaís Araujo dos Santos

Xismênia Soares Silva Gasparini

Pedro Mazzocco Pereira

1 | INTRODUÇÃO

A fotossíntese é um processo físico e bioquímico, fonte primária de compostos para a manutenção, crescimento e desenvolvimento dos organismos vegetais. Por meio dela, as plantas produzem os esqueletos carbônicos que dão início a diversas reações e tomam forma em diversas estruturas. Esse processo também é bastante conhecido por sofrer constantes modificações, a fim de manter sua funcionalidade frente às condições adversas do ambiente (vento, chuva, temperatura, luz). O estudo da fotossíntese (cinética da fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas) há décadas faz-se muito importante por possibilitar, de forma relativamente rápida e não destrutiva, a obtenção e a análise do comportamento vegetal diante das variações ambientais.

Nesse contexto, as plantas cultivadas nos cinturões verdes em ambientes siderúrgicos, além de serem capazes de suportar as variações nas condições ambientais naturais, precisam

também se adaptar aos poluentes particulados (carvão e minério de ferro), que podem se depositar sobre suas folhas e prejudicar, de forma direta, a captação de luz pelo aparato fotossintético, acarretando em prejuízos para o metabolismo, crescimento e desenvolvimento. Essas partículas podem ainda causar danos indiretamente ao serem absorvidas, causando intoxicação.

A investigação acerca do comportamento fisiológico dessas espécies e suas respostas às condições do ambiente são de suma importância, uma vez que os dados coletados poderão auxiliar nas tomadas de decisões quanto ao manejo dessas plantas e indicar com maior confiança aquelas que possuem ou não potencial para tolerar, crescer e desenvolver-se nas condições a que foram expostas.

Para tanto, foram avaliadas as variáveis fisiológicas relacionadas às trocas gasosas, assimilação líquida de CO₂, índice de clorofila total e cinética da fluorescência da clorofila *a* dessas espécies em duas condições ambientais distintas (Pátio de Carvão e Pátio de Minério), observando-se as diferenças no aproveitamento dos recursos do ambiente.

Neste capítulo são apresentados os resultados de avaliação dos parâmetros fisiológicos das espécies implantadas como quebra-ventos nas áreas experimentais da ArcelorMittal Tubarão, utilizando-se como

base de comparação o desenvolvimento dessas espécies em condições de talhão de reflorestamento sem a presença de atividade siderúrgica na Fazenda Experimental Engenheiro Reginaldo Conde, ambiente de Mata Atlântica, localizada no município de Viana - ES, seguindo a metodologia apresentada no Capítulo 5 deste livro.

2 I AVALIAÇÕES DA EFICIÊNCIA FOTOSINTÉTICA

As alterações da luminosidade no ambiente de cultivo proporcionam ajustes do aparelho fotossintético das plantas, os quais resultam na maior eficiência na absorção e transferência de energia para os processos fotossintéticos. Nesse contexto, os teores de pigmentos cloroplásticos, clorofila e carotenoides podem ser utilizados como importantes marcadores de ambientação do vegetal.

A verificação das trocas gasosas também se constitui como uma importante ferramenta na determinação de adaptação e estabilidade de plantas a determinados ecossistemas, uma vez que a redução do crescimento das plantas pode estar relacionada à redução da atividade fotossintética, limitadas por fatores abióticos intrínsecos ao local de cultivo (PAIVA et al., 2005).

Assim, a avaliação dos teores de pigmentos fotossintéticos, da cinética de emissão de fluorescência da clorofila *a*, das trocas gasosas e assimilação de CO₂ é apresentada a seguir.

2.1 Teores de Pigmentos Fotossintéticos

As variações no índice de clorofila observadas nas plantas jovens durante a primeira medida (julho/2013) já mostravam diferentes níveis de tolerância aos particulados depositados na superfície das folhas (Gráfico 1).

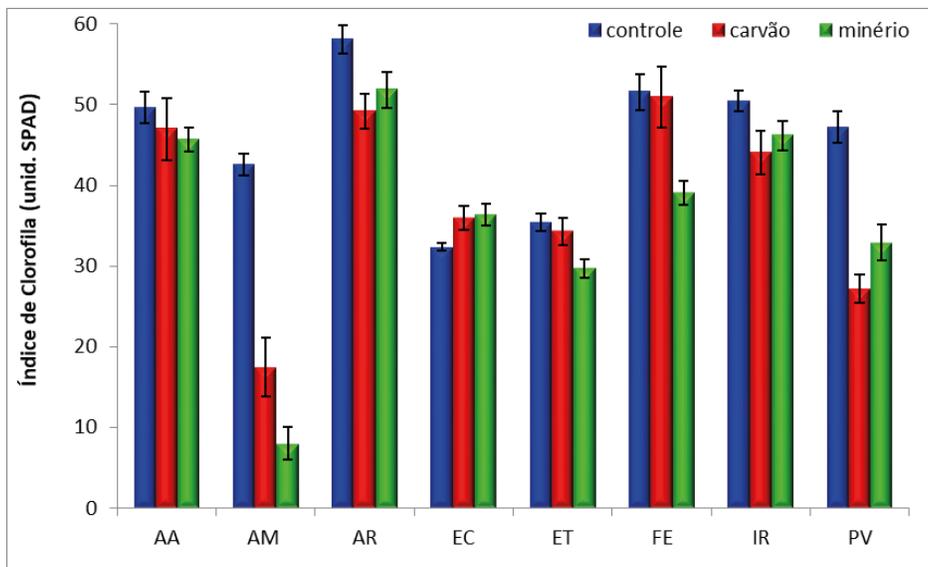


Gráfico 1 - Índice de clorofila de folhas totalmente expandidas de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. (AA) - *Acacia auriculiformis*; (AM) *Acacia mangium*; (AR) *Schinus terebinthifolius*; (EC) *Corymbia citriodora*; (ET) *Corymbia torelliana*; (FE) *Senna macranthera*; (IR) *Handroanthus heptaphyllus*; (PV) *Bauhinia forficata*. Barras representam o erro padrão da média de 50 medidas.

Fonte: O Autor.

Durante os dois anos de estudo, ocorreram mudanças contínuas neste índice em cada uma das oito espécies. Comparando-se os teores de clorofila total entre o primeiro e o segundo ano de crescimento, destacam-se as espécies com maior e menor tolerância ao resíduo sólido depositado sobre as folhas (Gráfico 2).

Observa-se que as plantas de *Acacia mangium*, *Senna macranthera* e *Bauhinia forficata* foram aquelas que mais se destacaram quanto à sensibilidade aos particulados. *Bauhinia forficata* e *Senna macranthera* também mostraram menores índices de clorofila total tanto no primeiro, quanto no segundo ano de avaliação.

Quando se compara os locais de estocagem e obtém-se as porcentagens dos teores de clorofila (Tabela 1), é possível afirmar que dentre as oito espécies submetidas aos resíduos da estocagem *Acacia mangium* é uma espécie sensível tanto aos resíduos de minério, quanto aos resíduos de carvão. Por outro lado, as plantas de *Acacia auriculiformis* tiveram desempenho bem evidente de tolerância ao estresse ambiental. Os índices de clorofila obtidos nas plantas de *Acacia auriculiformis* aumentaram em cerca de 20% a 40% nos pátios analisados.

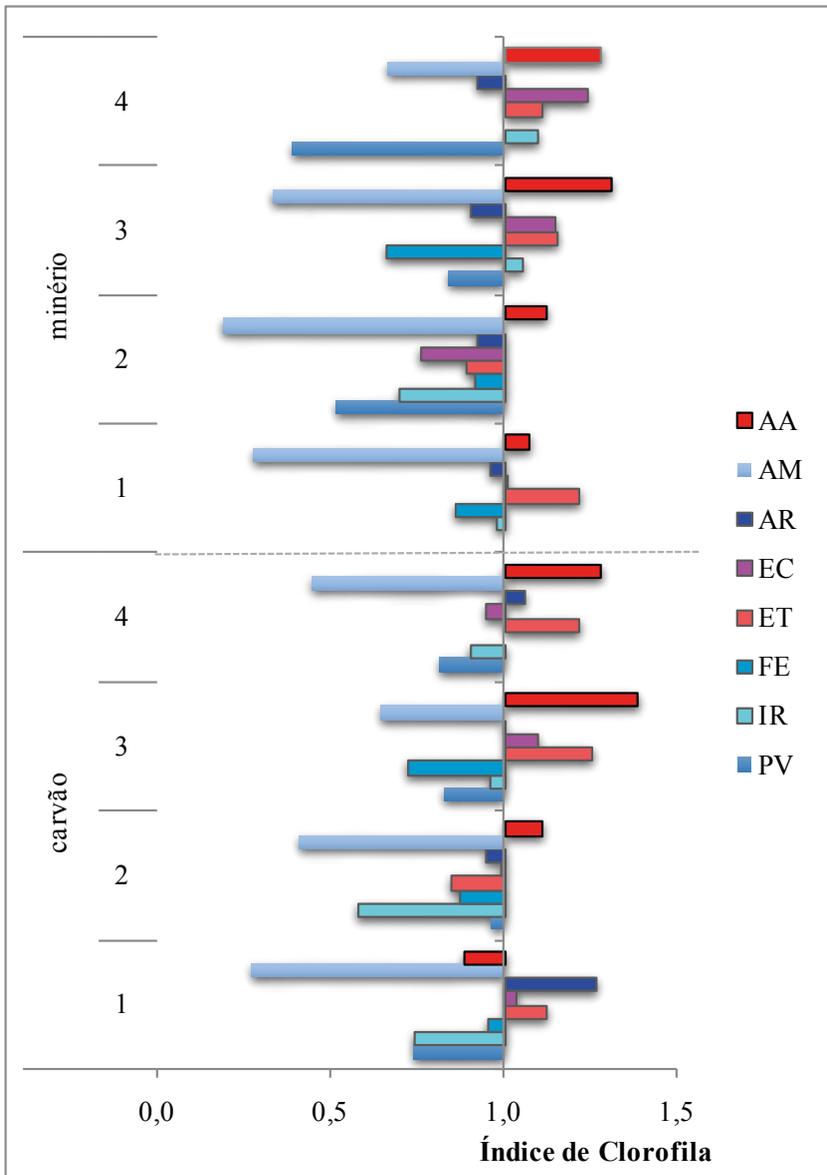


Gráfico 2 - Índice de clorofila obtido em folhas jovens, totalmente expandidas, de plantas, no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. 1=jul/2013; 2=nov/2013; 3=mai/2014; 4=ago/2014. (AA) *Acacia auriculiformis*; (AM) *Acacia mangium*; (AR) *Schinus terebinthifolius*; (EC) *Corymbia citriodora*; (ET) *Corymbia torelliana*; (IR) *Handroanthus heptaphyllus*; (FE) *Senna macranthera*; (PV) *Bauhinia forficata*. (n=10).

Fonte: O Autor.

Nota-se também que as plantas de *Corymbia toleriana* e *Corymbia citriodora* possuem um bom mecanismo de tolerância ao estresse causado pelos particulados advindos do carvão e do minério, pois seus índices de clorofila aumentaram em cerca de 15% em

ambos os locais em *C. toleriana* e 2,5% em *C. citriodora*. O comportamento destas duas espécies face ao acúmulo de resíduos na superfície foliar foi de plantas bem tolerantes ao sombreamento (MERCÊS et al., 2013). Portanto, o gênero *Corymbia* se destaca para ser utilizado para compor um cinturão verde.

Sigla	Nome Científico	Contr.	mai/13		ago/13		mai/14		ago/14	
			Carvão	Minério	Carvão	Minério	Carvão	Minério	Carvão	Minério
AA	<i>Acacia auriculiformis</i>	100	-11,85	7,34	10,97	12,36	39,07	33,99	19,88	23,06
AM	<i>Acacia mangium</i>	100	-72,70	-72,35	-58,95	-81,17	-27,91	-67,23	-62,31	-47,79
AR	<i>Schinus terebinthifolius</i>	100	26,37	-4,10	-5,30	-7,92	3,54	-7,09	14,73	-6,28
EC	<i>Corymbia citriodora</i>	100	3,65	0,70	-1,11	-24,11	8,14	12,36	-1,49	22,79
ET	<i>Corymbia torelliana</i>	100	12,23	21,37	-15,30	-10,70	27,38	20,36	33,42	29,02
FE	<i>Senna macranthera</i>	100	-25,64	-2,29	-42,39	-30,25	-20,09	-35,85	-	-
IR	<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	100	-4,74	-14,02	-12,76	-8,50	-6,22	7,90	-32,18	-5,81
PV	<i>Bauhinia forficata</i>	100	-26,10	-48,73	-3,19	-16,12	-17,37	-59,36	-5,83	-

Tabela 1 – Porcentagem do índice de clorofila (unid. SPAD) obtida em folhas de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle = 100%) comparada com o índice das plantas cultivadas no Pátio Carvão e no Pátio de Minério. (n = 10).

Fonte: O Autor.

Chapman et al. (2013) chamam a atenção sobre uma espécie muito comum em regiões da Escócia, onde a acidez do solo alcança pH de 3,0, que possui relativa tolerância a concentrações elevadas de metais (Zn e Pb), porém alteram a biossíntese de clorofila e outros parâmetros fisiológicos, como o conteúdo de ácidos orgânicos (cítrico e málico), ácido abscísico (ABA) e o potencial da água. Neste estudo, a primeira avaliação do conteúdo de elementos minerais nas folhas revelou elevada concentração de Zn e Fe, dois micronutrientes que podem provocar alterações fisiológicas, tais como aquelas observadas no conteúdo de clorofila das espécies *Acácia mangium*, *Senna macranthera* e *Bauhinia forficata* cujo índice diminuiu 67%, 17% e 31%, respectivamente, no pátio de estocagem de minério e 55%, 22% e 13% no pátio de estocagem de carvão.

2.2 Cinética da Emissão da Fluorescência da Clorofila a

A emissão da fluorescência da clorofila a foi estimada nas mesmas folhas onde foram analisados os teores de clorofila total, utilizando-se um fluorômetro portátil (HandyPEA, Hanstech, King's Lynn, Norkfolk, UK). Todas as leituras foram realizadas após a aclimatização das amostras em escuro por, no mínimo, 45 minutos. As medidas de fluorescência transiente foram obtidas até 1s com taxa de aquisição de dados de 105 pontos por segundo para os primeiros 2 μ s, e de 1.000 pontos por segundo depois de 2 ms.

A emissão de fluorescência da clorofila foi induzida em uma área de 4 mm de diâmetro da folha, pela exposição da amostra a um pico de luz vermelha de 3.000 μ mol m⁻² s⁻¹. As intensidades de fluorescência a 20, 100, 300 μ s e 2 e 30 ms foram registradas como F1, F2, F3, F4 e F5 respectivamente (STRASSER; STRASSER, 1995). A fluorescência inicial

(F_0) foi considerada como sendo o nível de fluorescência no tempo de $20 \mu\text{s}$, sendo que F_0 é a intensidade de fluorescência em que todos os centros de reação (RC) do Fotossistema 2 (FS II) estão abertos.

A intensidade de fluorescência máxima (F_M), que é obtida quando os centros de reação do FS II estão fechados, também foi determinada após o pulso saturante. Foi medido também o tempo para atingir a fluorescência máxima (t_{FM}) e a área acima da curva de fluorescência entre F_0 e F_M , que é proporcional ao tamanho do pool de aceptores de elétrons, Quinona A (Q_A), do lado redutor do FS II. Obtidas as intensidades de fluorescência, foram calculados os parâmetros estabelecidos pelo teste JIP, baseados na Teoria de Fluxo de Energia em Biomembranas (STRASSER, 2004) e escolhidos para demonstrar o transporte de elétrons na etapa fotoquímica da fotossíntese, conforme Strasser et al. (2010).

A ação negativa dos poluentes ambientais sobre a fotossíntese tem sido discutida há bastante tempo (LIGHTY et al., 2000; SOLOMON; SIOUTAS, 2008; DARESTA et al., 2015), principalmente os efeitos negativos que a camada de poluentes depositados sobre as folhas exerce na biossíntese de pigmentos fotossintéticos, nas trocas gasosas e na absorção da luz pelos fotossistemas, alterando a atividade enzimática, isto é, comprometendo os processos fotoquímicos e bioquímicos da fotossíntese.

A curva de indução de fluorescência da clorofila *a* mostra um aumento inicial rápido na etapa O-P, que pode variar de um a vários segundos, dependendo da intensidade da luz actínica, e uma subsequente redução dos fotossistemas (FS). Sob alta intensidade de luz actínica contínua (acima de 200 W/m^2), o aumento da fluorescência apresenta geralmente as etapas J (a 2 ms) e I (a cerca de 20 - 30 ms) entre o ponto O inicial (F_0) e o ponto máximo P (F_M), desenhando uma curva O-J-I-P (STRASSER et al., 2004).

Na Gráfico 3, são apresentadas, como exemplos bem representativos, as curvas OJIP obtidas nas plantas de duas espécies da Mata Atlântica, avaliadas neste projeto: *Senna macranthera* (FE) e *Bauhinia forficatal* (PV). Após dupla normalização, obtiveram-se as curvas das diferenças cinéticas entre os dois locais de estocagem e as plantas tomadas como controle em ambiente Mata Atlântica. Essas diferenças demonstram bom aproveitamento da energia radiante quando negativas; porém, quando positivas, demonstram uma ineficiência do aparato fotossintético na captura e aproveitamento da energia radiante. Este dano pode ser causado por fotoinibição ou por outros fatores de estresse, tais como altas temperaturas, estresse hídrico ou toxicidade de elementos minerais (MANCILLA-LEYTÓN et al., 2013; XIANG et al., 2013).

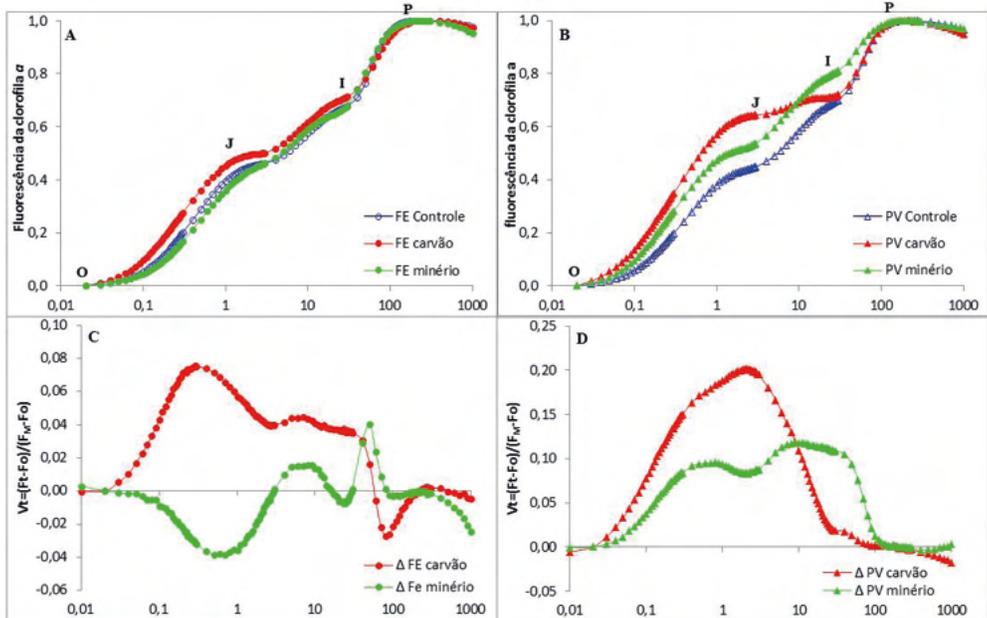


Gráfico 3 - Cinética da fluorescência da clorofila a O-J-I-P obtida pela equação $[V_t = (F_t - F_0) / (F_M - F_0)]$ e diferença cinética (ΔV_t) de folhas totalmente expandidas de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio Carvão e no Pátio de Minério. A média do controle de cada espécie foi utilizada para normalizar as curvas. O tempo de um segundo está representado em escala logarítmica (ms). (FE) *Senna macranthera*; (PV) *Bauhinia forficata*. (n=20).

Fonte: O Autor.

A curva negativa encontrada nas plantas de *Senna macranthera* crescendo próximo ao Pátio de Carvão na etapa O-J demonstra que a energia radiante está sendo capturada pelos centros de reação do FSII e conduzida para além da quinona A reduzida (Q_A^-) até os aceptores de elétrons do intersistema. Porém, a curva positiva no passo I-P, ainda no Pátio de Carvão, chama a atenção para uma deficiência relacionada à transferência de elétrons da Ferredoxina até os aceptores finais de elétrons do Fotossistema I (FSI) (CHEN et al., 2012).

Em *Bauhinia forficata*, foram observadas curvas positivas entre as etapas O-J e J-I. Estes passos referem-se à rápida acumulação de Q_A^- , que ocorre pela interrupção do fluxo de elétrons até Q_A (oxidada), fase J, o que impede a transferência de elétrons para o intersistema e, conseqüentemente, para o FSI (fase I).

Ao longo dos dois anos, pôde-se observar as variações e tendências de maior ou menor sensibilidade à presença de resíduos de carvão e minério. A variação dos transientes OJIP evidenciou as diferenças de sensibilidade entre as espécies florestais avaliadas.

A representação das curvas OJIP demonstra claramente o quanto esses resíduos afetaram o processo de absorção e aproveitamento da energia luminosa em cada uma das

oito espécies analisadas (Gráfico 4).

Somente em *Acacia auriculiformis* houve diferenças negativas na fluorescência variável relativa (ΔV_{OP}), enquanto em todas as outras espécies avaliadas ΔV_{OP} apresentou-se positiva, evidenciando forte inibição na transferência de elétrons excitados para os receptores finais de elétrons no FSI.

A fluorescência rápida da clorofila *a* é rica em informações e pode ser utilizada para obter muitos parâmetros do chamado teste JIP, que podem ser utilizados para quantificar o comportamento/atividade dos FSII e FSI (STRASSER et al., 2004; TSIMILLI-MICHAEL; STRASSER, 2013).

É bem conhecido que, em condições de estresse de luz, por exemplo, as plantas têm geralmente menores dimensões da antena do FSII. Por outro lado, em condições de pouca luz, em um ambiente sombreado, as plantas têm maior tamanho da antena do FSII (LICHTENTHALER, 1987).

Nesse ponto, os resultados confirmam aqueles encontrados por Zivcak et al. (2014), que observaram alterações na quantidade de proteínas das antenas periféricas do FSII (as principais proteínas das antenas periféricas) em resposta às condições de baixa luminosidade.

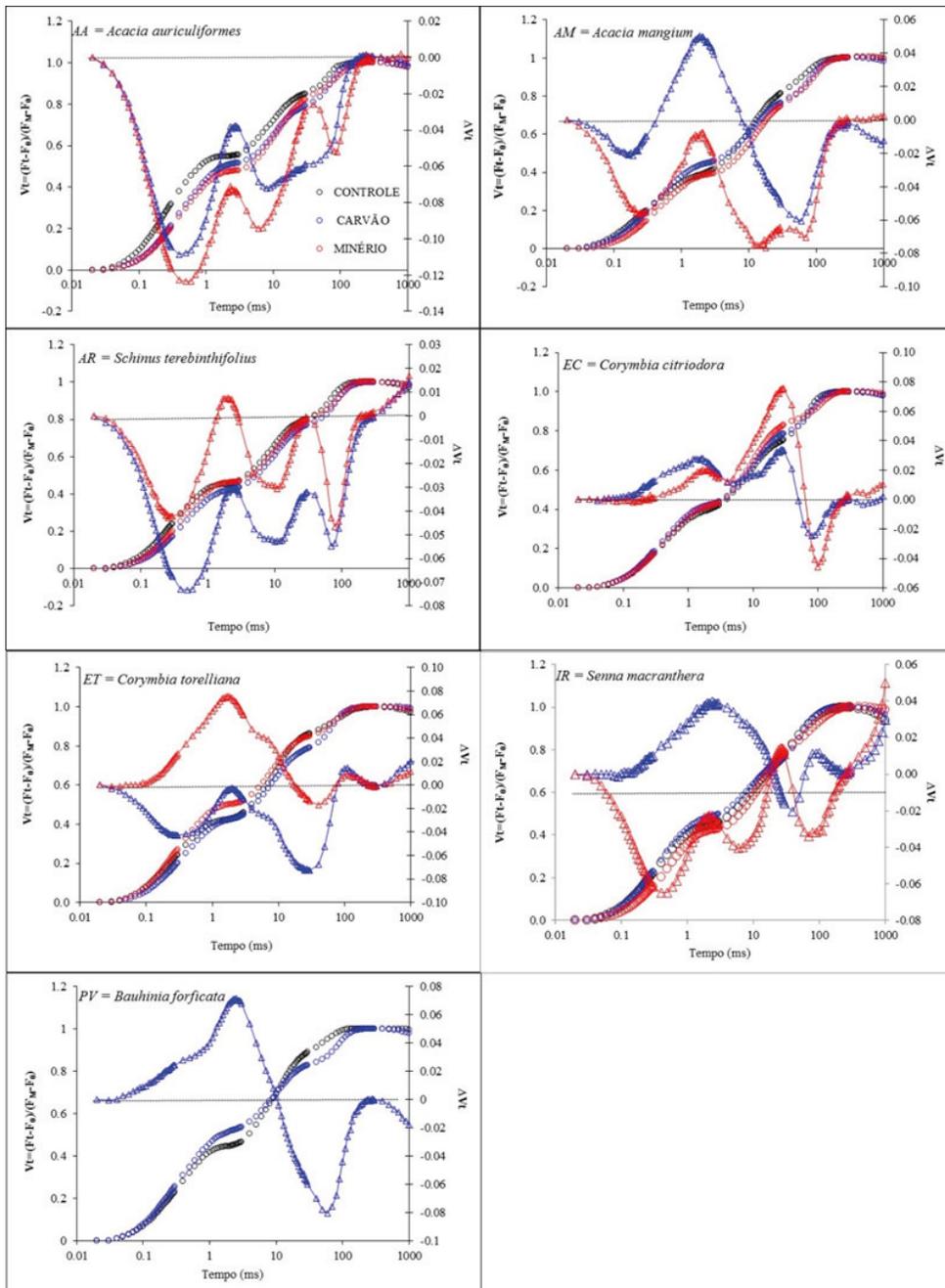


Gráfico 4 - Fluorescência variável relativa obtida como $V_{OP} = [F_t - F_0] / [F_M - F_0]$ e a diferença cinética da fluorescência variável obtida como $\Delta V_{OP} = V_{OP[pátio]} - V_{OP[referência]}$ das folhas jovens, totalmente expandidas, de plantas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. Dados normalizados tomando-se o controle como referência (= 1). O tempo de um segundo está representado em escala logarítmica (ms). (n=10).

Fonte: O Autor.

O Gráfico 5 representa a área acima da curva OJIP, que demonstra a efetividade na absorção da energia luminosa (TSIMILLI-MICHAEL; STRASSER, 2008) e o desempenho total efetivo das reações de óxido-redução no instante das medidas (PI_{inst}).

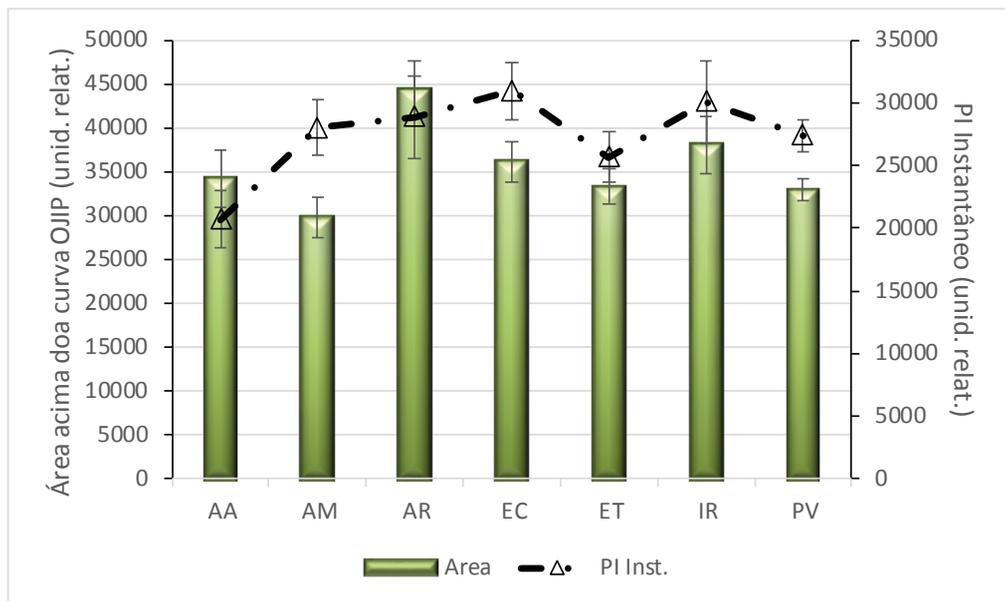


Gráfico 5 – Parâmetros do teste JIP representando a efetividade na absorção da energia luminosa (área da curva OJIP) e o desempenho total efetivo das reações de óxido-redução no instante das medidas (PI_{inst}) das folhas jovens, totalmente expandidas, de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. (AA) *Acacia auriculiformis*; (AM) *Acacia mangium*; (AR) *Schinus terebinthifolius*; (EC) *Corymbia citriodora*; (ET) *Corymbia torelliana*; (IR) *Handroanthus heptaphyllus*; (FE) *Senna macranthera*; (PV) *Bauhinia forficata*. (n=50).

Fonte: O Autor.

É fato bem comprovado que na fotossíntese os pigmentos localizados nos cloroplastos da folha absorvem a radiação solar e, através da transferência energética, a excitação resultante é canalizada para os centros de reação. Estes, então ativados, liberam os elétrons para iniciar o processo fotoquímico (HALLIK et al., 2012). As plantas *Corymbia toleriana* e *C. citriodora* apresentaram os maiores índices de clorofila quando comparadas com as plantas das outras espécies deste trabalho e, realmente, as plantas das outras espécies, tanto no pátio de carvão quanto no pátio de minério, foram as que apresentaram melhor desempenho do FSII e do FSI. Porém esses teores de clorofila na planta não podem ser relacionados ao seu desempenho fotoquímico, uma vez que o tamanho da antena (ABS/RC) é uma determinante mais importante da intensidade de fluorescência máxima do que o conteúdo de clorofila na folha (DINÇ et al., 2012).

Somam-se a esses resultados os valores de F_0 . A fluorescência inicial é considerada

como referência para a distribuição inicial de energia e a eficiência de excitação capturada no FSII. O valor de F_0 aumenta quando o número de clorofilas funcionais, não ligadas aos RCs do FSII, aumenta. Assim, um aumento da F_0 pode ser interpretado como uma separação física do núcleo dos complexos coletores de luz (LHCII) do FSII, gerando um dano irreversível a este fotossistema (ČAJÁNEK et al., 1998).

3 I TROCAS GASOSAS E ASSIMILAÇÃO LÍQUIDA DO CO₂

Parâmetros da fotossíntese foram determinados nas mesmas folhas onde foram estimados os teores de clorofila total e a cinética da emissão da fluorescência transiente OJIP, utilizando-se um analisador de gás por infravermelho, portátil, (IRGA, modelo LCI SD, ADC BioScientific Ltd., England), a saber: assimilação de CO₂ (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática ao vapor d'água (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração intercelular de CO₂ (C_p , $\mu\text{mol mol}^{-1}$), temperatura foliar (T_p , °C) e a diferença de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$, KPa). A partir destas variáveis, foram calculadas a eficiência instantânea de carboxilação (A/C_p , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$) e as eficiências de uso da água: A/E ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$) e A/g_s ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), sendo esta última denominada eficiência intrínseca do uso da água por considerar o mecanismo estomático (MARTINS et al., 2014).

A ação negativa dos poluentes ambientais sobre a fotossíntese tem sido discutida há bastante tempo (LIGHTY et al., 2000; SOLOMON; SIOUTAS, 2008; DARESTA et al., 2015), principalmente os efeitos negativos que a camada de poluentes depositados sobre as folhas exercem na biossíntese de pigmentos fotossintéticos, nas trocas gasosas e na absorção da luz pelos fotossistemas, alterando a atividade enzimática, isto é, comprometendo os processos fotoquímicos e bioquímicos da fotossíntese.

Considerando-se cada espécie avaliada de forma independente, na terceira medida (maio/2014), observou-se que a magnitude da assimilação líquida de CO₂ (A) foi similar ao controle nas plantas de *Handroanthus heptaphyllus* e *Senna macranthera*, cultivadas no pátio de carvão, e *Acacia mangium*, no Pátio de Minério (Gráfico 6).

Observa-se que os menores valores de taxa de assimilação líquida de carbono e condutância estomática foram observados em *Acacia auriculiformis*, *Acacia mangium* e *Bauhinia forficata*, no Pátio de Carvão, e em *Acacia auriculiformis*, *Corymbia citriodora*, *Senna macranthera* e *Bauhinia forficata*, no pátio de minério. Esses dados são confirmados pelos resultados obtidos da taxa de Carbono interno (C_i), mostrando a pequena utilização do CO₂ por essas plantas. Também se observou que a taxa de perda de vapor d'água (E) confirma os efeitos negativos sugeridos por Solomon e Sioutas (2008) e Daresta et al. (2015).

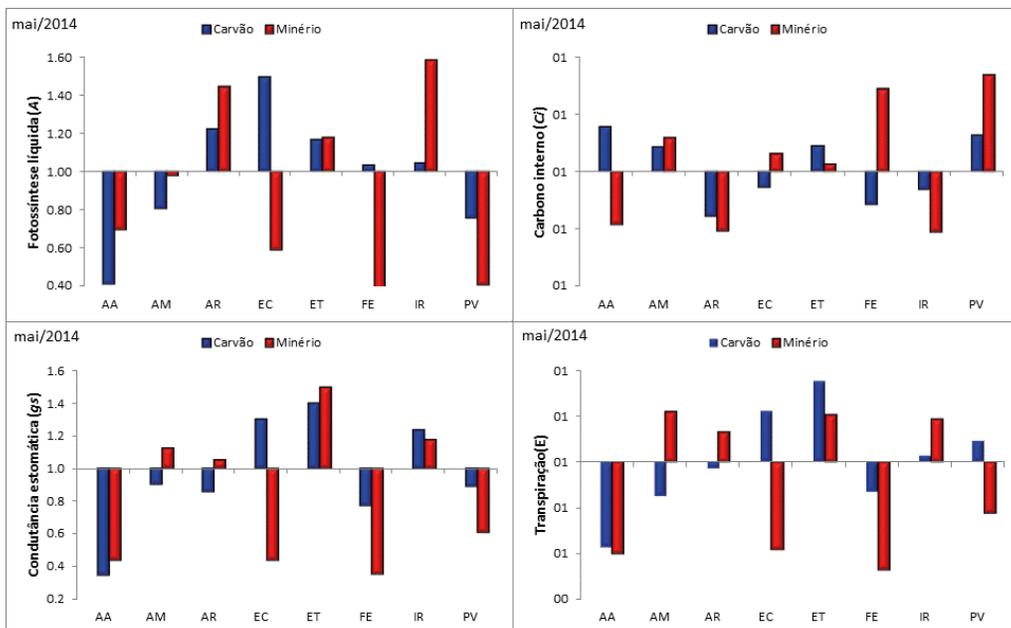


Gráfico 6 - Taxa de assimilação líquida de carbono (A), concentração interna de CO_2 (C_i), condutância estomática (g_s) e da transpiração (E) obtido em folhas jovens, totalmente expandidas, de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. Dados normalizados tomando-se o controle igual à unidade. (AA) *Acacia auriculiformis*; (AM) *Acacia mangium*; (AR) *Schinus terebinthifolius*; (EC) *Corymbia citriodora*; (ET) *Corymbia torelliana*; (FE) *Senna macranthera*; (IR) *Handroanthus heptaphyllus*; (PV) *Bauhinia forficata*. (n=10).

Fonte: O Autor.

Para a realização da quarta medida, foram feitas análises nas folhas com os particulados depositados (aqui identificados como Folha Não Lavada) e após limpeza das folhas (Folha Lavada). A alteração na metodologia se justifica pelas dúvidas surgidas no primeiro ano de medidas, uma vez que os efeitos negativos dos particulados são sentidos através da deposição sobre a biomassa acima do solo, ou seja, a penetração da superfície foliar, ou indiretamente, através da interação solo-raiz (ŽALUD et al., 2012). Como as plantas em ambiente Mata Atlântica foram tomadas como controle, a confirmação de que folhas sem os resíduos depositados, mas cultivadas no ambiente contendo carvão e minério no solo, poderiam resultar em um desempenho diferenciado daqueles do controle.

Na Gráfico 7, os dados obtidos na taxa de assimilação líquida de carbono (A) e na concentração interna de CO_2 (C_i) nas folhas sujas (FS) e folhas limpas (FL) são apresentados, e nenhuma diferença significativa entre FS e FL para cada espécie foi encontrada.

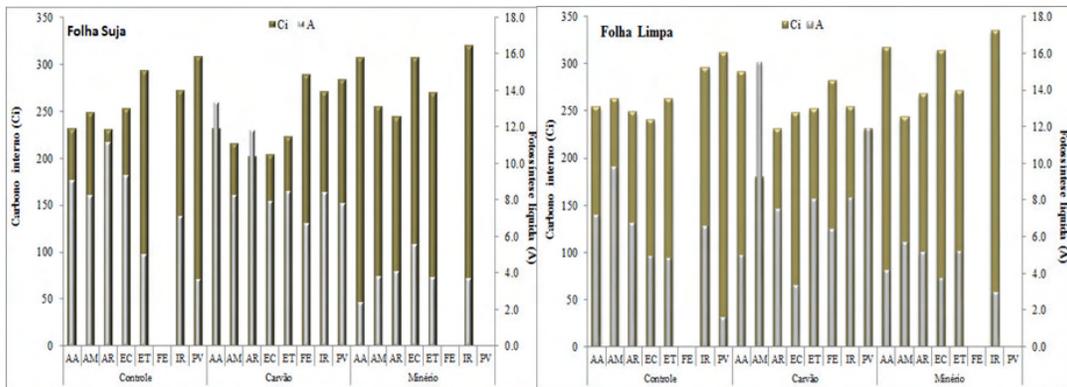


Gráfico 7 - Concentração interna de CO_2 (C_i) e taxa de assimilação líquida de carbono (A) obtidas em folhas jovens, totalmente expandidas, de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. (AA) *Acacia auriculiformis*; (AM) *Acacia mangium*; (AR) *Schinus terebinthifolius*; (EC) *Corymbia citriodora*; (ET) *Corymbia torelliana*; (IR) *Handroanthus heptaphyllus*; (FE) *Senna macranthera*; (PV) *Bauhinia forficata*. Folha suja = folhas contendo todo o material particulado em sua superfície; Folha limpa = folhas lavadas com água destilada antes das medidas serem realizadas. (n=10).

Fonte: O Autor.

O Gráfico 8 evidencia os resultados observados após as folhas terem sido limpas na hora das medidas. Pode-se perceber, portanto, que os particulados (carvão e minério) provocaram a degradação dos pigmentos, resultando em queda acentuada das taxas de assimilação líquida de carbono, queda na condutância estomática e aumento na razão entre a concentração interna e ambiente de CO_2 (C_i/C_a) nas plantas de *Acacia auriculiformis*, *Handroanthus heptaphyllus* e *Bauhinia forficata*.

A eficácia com que as plantas balanceiam as trocas gasosas é comumente dada pela eficiência no uso da água (EUA), definida como a quantidade de carbono fixado pela fotossíntese por unidade de água perdida na transpiração (LAWSON; BLATT, 2014). Geralmente, valores maiores de EUA são observados em plantas com menores valores de condutância estomática. No entanto, essas plantas apresentam baixa taxa fotossintética líquida e menor taxa de crescimento. Por outro lado, plantas com valores maiores de condutância estomática apresentam maior assimilação de CO_2 e crescimento acelerado, mas possuem baixa EUA (Lawson; Blatt, 2014).

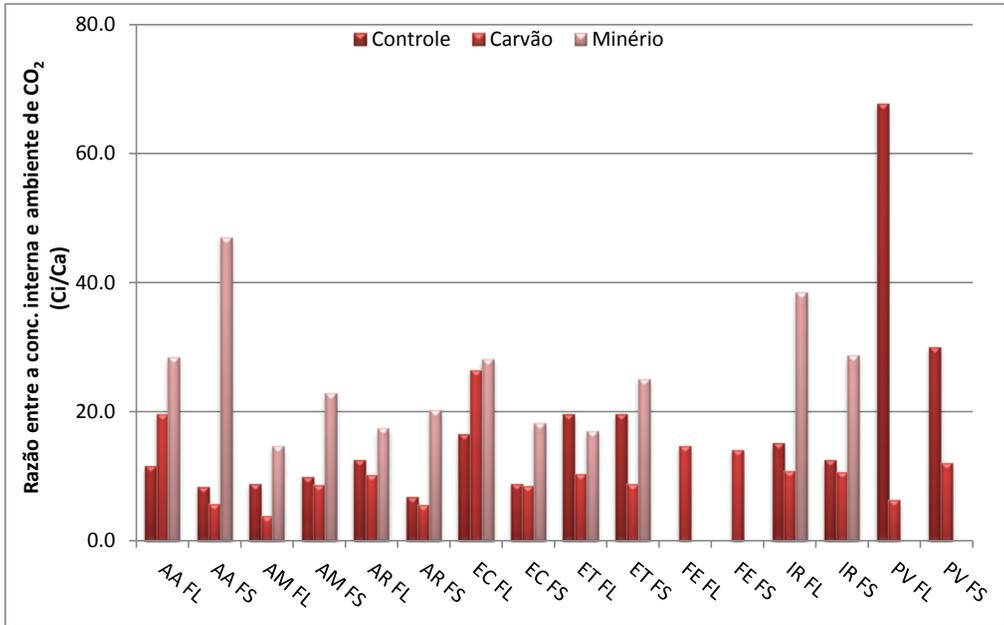


Gráfico 8 - Razão entre a concentração interna e ambiente de CO_2 (C_i/C_a) obtida em folhas jovens, totalmente expandidas, de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. (AA) *Acacia auriculiformis*; (AM) *Acacia mangium*; (AR) *Schinus terebinthifolius*; (EC) *Corymbia citriodora*; (ET) *Corymbia torelliana*; (IR) *Handroanthus heptaphyllus*; (FE) *Senna macranthera*; (PV) *Bauhinia forficata*. (FS) = Folha suja, isto é, folhas contendo todo o material particulado em sua superfície; (FL) = Folha limpa, isto é, folhas lavadas com água destilada antes de as medidas serem realizadas. (n=10).

Fonte: O Autor.

As medidas realizadas durante o ano de 2014 mostram que folhas menores são mais adequadas para dissipar o excesso de energia, principalmente em condições de limitação hídrica, pois permitem maiores taxas de troca de calor sensível, podendo refrigerar-se mais eficientemente, sem que isso ocorra às expensas de taxas elevadas de transpiração. O influxo de CO_2 para a fotossíntese, na medida em que o estômato permanece mais aberto, não é acompanhado direta e efetivamente por perda de vapor d'água, em face da contribuição da resistência do ar sobrepujar-se àquela da resistência do estômato. Isto deve contribuir para otimizar a utilização da água pela planta (maior eficiência do uso da água).

Como evidenciado pelos valores contidos na Gráfico 9, *Acacia auriculiformis* e *Bauhinia forficata* mostraram consistentemente maior A/E a longo prazo nas folhas isentas dos particulados na superfície foliar. Além disso, ambos os procedimentos durante as análises (folha lavada e folha contendo os particulados) evidenciaram os efeitos dos resíduos de carvão e minério, provocando a queda de taxa de assimilação líquida de carbono e o acúmulo de CO_2 nos espaços intercelulares.

Devido ao curto período de tempo de obtenção dos dados (dezoito meses), ainda é incipiente concluir quanto à eficiência do uso da água (A/E), ou seja, se foram as mudanças na condutância estomática (g_s) que provocaram as alterações na transpiração (E) ou o comprometimento das taxas de assimilação líquida de carbono (A).

No entanto, os resultados estão em conformidade com aqueles obtidos por Caliskan (2013). O autor encontrou em genótipos cultivados no campo próximo a rodovias maior A/E sob irrigação plena, porém esses genótipos apresentaram sintomas fisiológicos mais rapidamente quando houve limitação da água no solo, indicando, assim, que a A/E de plantas sob estresse ambiental pode ser utilizado como indicador de genótipos com maior tolerância ao estresse.

Esses resultados não representam uma resposta conclusiva sobre a utilidade de A/E como uma ferramenta para a classificação de espécies florestais tolerantes ao estresse por particulados em relação ao uso da água, necessitando, portanto, de novos estudos para comprovação.

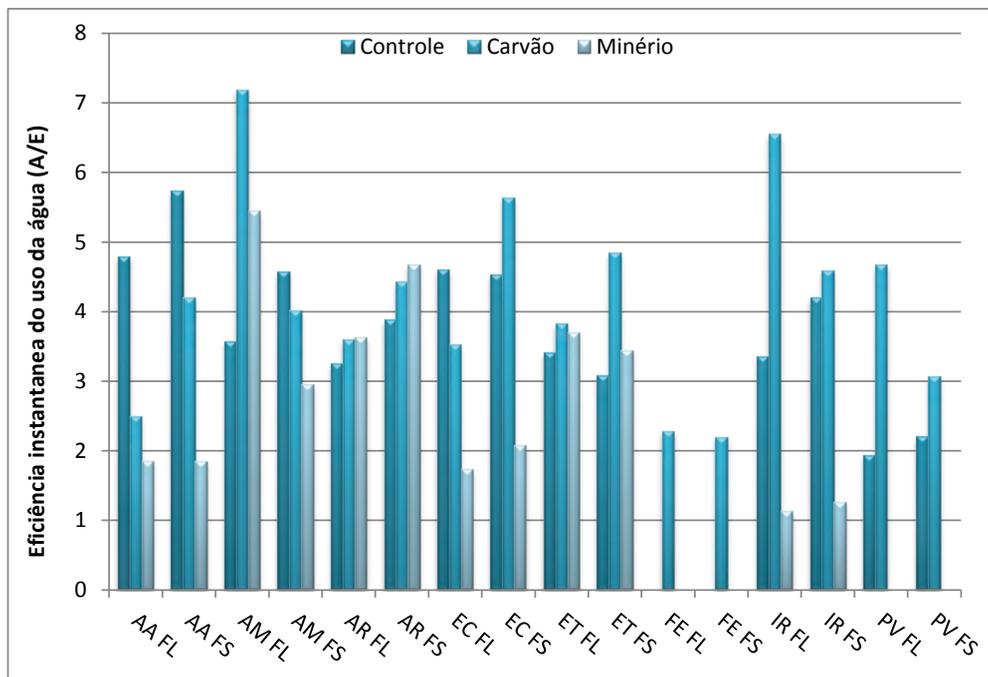


Gráfico 9 - Eficiência instantânea do uso da água (A/E) obtida em folhas jovens, totalmente expandidas, de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. (AA) *Acacia auriculiformis*; (AM) *Acacia mangium*; (AR) *Schinus terebinthifolius*; (EC) *Corymbia citriodora*; (ET) *Corymbia torelliana*; (IR) *Handroanthus heptaphyllus*; (FE) *Senna macranthera*; (PV) *Bauhinia forficata*. (FS) = Folha suja, isto é, folhas contendo todo o material particulado em sua superfície; (FL) = Folha limpa, isto é, folhas lavadas com água destilada antes de as medidas serem realizadas. (n=10).

Fonte: O Autor.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A alta taxa de mortalidade observada aos 30 meses após o plantio para a espécie *Bauhinia forficata* pode estar associada ao fato de terem apresentado os menores valores de Taxa de Assimilação Líquida de Carbono (A) e de Condutância Estomática (g_s) em ambos os pátios, até os 16 meses após o plantio, o que comprometeu o desenvolvimento, não sendo recomendada para uso em quebra-ventos em ambientes siderúrgicos.

As plantas de *Acacia auriculiformes* apresentaram baixos valores de Taxa de Assimilação Líquida de Carbono (A) e de Condutância Estomática (g_s) nos Pátios de Carvão e de Minério. Isso corrobora os resultados das análises dendrométricas, que mostraram um desenvolvimento insatisfatório da *Acacia auriculiformes* em ambos os pátios industriais.

As espécies *Senna macranthera* e *Handroanthus heptaphylla* no Pátio de Carvão e *Acacia mangium* no Pátio de Minério, por ocasião da avaliação fotossintética, apresentaram valores de trocas gasosas similares ao controle em ambiente de Mata Atlântica. Entretanto apresentaram, posteriormente, alta mortalidade e baixos valores quanto às características dendrométricas, não sendo recomendadas para o Cinturão Verde.

As avaliações dendrométricas reforçam os resultados supracitados obtidos nas análises fisiológicas das espécies do gênero *Corymbia* em seu estágio inicial de crescimento e desenvolvimento. As plantas de *C. toleriana* e *C. citriodora* mostraram um comportamento de plantas de sombra com maiores índices de clorofila e maior eficiência fotoquímica tanto no Pátio de Minério, quanto no Pátio de Carvão.

REFERÊNCIAS

- ČAJÁNEK, M., ŠTROCH, M., LACHETOVÁ, I., KALINA, J., SPUNDA, V. Characterization of the photosystem II inactivation of heat-stressed barley leaves as monitored by the various parameters of chlorophyll a fluorescence and delayed fluorescence. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, v. 47, p. 39 - 45, 1998.
- CALISKAN, E. Environmental impacts of forest road construction on mountainous terrain. **Iranian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering**, v. 10, p. 23 - 30, 2013.
- CASSOL, D., SILVA F. S. P., FALQUETO, A. R., BACARIN, M. A. An evaluation of nondestructive methods to estimate total chlorophyll content. **Photosynthetica**, v. 46, n.4, p. 634 - 636, 2008.
- CHAPMAN, E. E. V. A., DAVE, G. A., MURIMBOH, J. D. B. A review of metal (Pb and Zn) sensitive and pH tolerant bioassay organisms for risk screening of metal-contaminated acidic soils. **Environmental Pollution**, v. 179, p. 326 - 342, 2013.
- CHEN, S., ZHOU, F., YIN, C., STRASSER, R. J., YANG, C., QIANG, S. Application of fast chlorophyll a fluorescence kinetics to probe action target of 3-acetyl-5-isopropyltetramic acid. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, p. 269 - 279, 2011.
- DARESTA, B. E., ITALIANO, F., GENNARO, G., TROTTA, M., TUTINO, M., VERONICO, P. Atmospheric particulate matter (PM) effect on the growth of *Solanum lycopersicum* cv. Roma plants. **Chemosphere**, v. 119, p. 37 - 42, 2015.

- ENCINAS, I. J., SILVA, G. F., TICCHETTI, I. **Comunicações técnicas florestais: Variáveis dendrométricas**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, v. 4, n. 1, p. 102, 2002.
- GOMES, A. M. de A. **Medição de arvoredos**. Lisboa: Sá da Costa, p. 413, 1957.
- HALLIK, L., NIINEMETS, U., KULL, O. Photosynthetic acclimation to light in woody and herbaceous species: a comparison of leaf structure, pigment content and chlorophyll fluorescence characteristics measured in the field. **Plant Biology**, v. 14, p. 88 - 99, 2012.
- LAWSON, T., BLATT, M. R. Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. **Plant Physiology**, v. 164, n. 4, p. 1556 - 1570, 2014.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymology**, v. 148, p. 350 - 382, 1987.
- LIGHTY, J. S., VERANTH, J. M., SAROFIM, A. F. Combustion aerosols: factors governing their size and composition and implications to human health. **Journal Air Waste Manage**, v. 50, p. 1565 - 1618, 2000.
- MANCILLA-LEYTÓN, J. M., CAMBROLLÉ, J., FIGUEROA, M. E., VICENTE, A. M. Growth and survival of cork oak (*Quercus suber*) seedlings after simulated partial cotyledon consumption under different soil nutrient contents. **Plant Soil**, v. 370, p. 381 - 392, 2013.
- MARTINS, S. C. V., GALMÉS, J. G., CAVATTE, P. C., PEREIRA, L. F., VENTRELLA, M. C., DAMATTA, F. M. Understanding the low photosynthetic rates of sun and shade coffee leaves: bridging the gap on the relative roles of hydraulic, diffusive and biochemical constraints to photosynthesis. **PLoS ONE**, v. 9, e95571, 2014.
- MERCÊS, D. A., PINHEIRO, M. P., OLIVEIRA FILHO, J. A., FRANÇA, S., GOMES, F. P., FIASCHI, P., MIELKE, M. S. Sobrevivência de plântulas, características fotossintéticas e crescimento de *Discocarpus pedicellatus* (Phyllanthaceae). **Rodriguésia**, v. 64, n. 1, 2013.
- MILANO, M. S., DALCIN, E. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Light, 2000
- PAIVA, A.S. et al. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 161 - 169, 2005.
- SOLOMON, P.A., SIOUTAS, C. Continuous and semicontinuous monitoring techniques for particulate matter mass and chemical components: a synthesis of findings from EPA's particulate matter supersites program and related studies. **Journal Air Waste Manage**, v. 58, p. 164 - 195, 2008.
- STRASSER, B. J., STRASSER, R. J., Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP-test, in: P. MATHIS (Ed.), **Photosynthesis: from Light to Biosphere**, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, p. 977 - 980, 1995.
- STRASSER, A., TSIMILLI-MICHAEL, M., SRIVASTAVA, A. Analysis of the fluorescence transient In: PAPAGEORGIOU, G. C., GOVINDJEE (eds.), **Chlorophyll fluorescence: A signature of photosynthesis**. Advances in Photosynthesis and Respiration Series. Springer: Dordrecht, p. 321 - 362, 2004.
- STRASSER, R.J., TSIMILLI-MICHAEL, M., QIANG, S., GOLTSEV, V. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, p. 1313 - 1326, 2010.

TSIMILLI-MICHAEL, M., STRASSER, R.J. In vivo assessment of plants' vitality: applications in detecting and evaluating the impact of Mycorrhization on host plants. In:VARMA A, editor. **Mycorrhiza: state of the art, genetics and molecular biology, ecofunction, biotechnology, eco-physiology, structure and systematics**. Dordrecht: Springer; p. 679 - 703, 2008.

TSIMILLI-MICHAEL, M., STRASSER, R.J. The energy flux theory 35 years later: formulations and applications. **Photosynth Research**, DOI 10.1007/s11120-013-9895-1, 2013.

XIANG, M, CHEN, S., WANG, L., DONG, Z., HUANG, J., ZHANG, Y., STRASSER, R. J. Effect of vulculic acid produced by *Nimbya alternantherae* on the photosynthetic apparatus of *Alternanthera philoxeroides*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 65, p. 81 - 88, 2013.

ŽALUD, P., SZÁKOVÁ, J., SYŠALOVÁ, J., TLUSTOŠ, P. Factors influencing uptake of contaminated particulate matter in leafy vegetables. **Cent. Eur. J. Biol.**, v. 7, p. 519 - 530, 2012.

ZIVČAK, M., BRESTIC, M., KALAJI, H. M., GOVINDJEE. Photosynthetic responses of sun- and shade-grown barley leaves to high light: is the lower PSII connectivity in shade leaves associated with protection against excess of light? **Photosynthesis Research**, v. 119, p. 339 - 354, 2014.

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

Data de aceite: 08/02/2022

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

1 | INTRODUÇÃO

As coberturas florestais no meio urbano são consideradas ecossistemas compostos pela interação entre sistemas naturais e sistemas antropogênicos. Essa interação pode ser observada em Cinturões Verdes, áreas ao redor de regiões urbanas ou industriais que buscam atender a diversos objetivos, entre eles a melhoria da qualidade do ar.

O Cinturão Verde é o conjunto de toda a vegetação lenhosa que circunda e envolve os aglomerados urbanos, desde pequenas comunidades rurais até grandes regiões metropolitanas (NOWAK et al., 2001).

Uma alternativa para reduzir o arraste do material particulado é o emprego de Cinturões Verdes como forma de quebra-ventos, definidos como barreiras formadas por fileiras de árvores sistematizadas em direção perpendicular aos

ventos predominantes (IBC, 1981).

Os quebra-ventos são plantios de árvores que podem ser formados por combinações entre diversas espécies visando à redução da velocidade dos ventos para diferentes propósitos. São muitos os princípios envolvidos nessa importante tecnologia, mas no Brasil, há poucos estudos focados nessa questão, diferentemente de outros países onde pesquisadores têm se dedicado a avaliar e descrever os aspectos aerodinâmicos, os critérios mínimos de racionalidade e a maximização dos benefícios (LEAL, 1986).

Em atividades que levam ao arraste de material particulado na atmosfera, a utilização de quebra-ventos pode minimizar esse efeito. Estudos têm sido realizados buscando-se viabilizar a utilização de quebra-ventos arbóreos para essa finalidade.

Para a garantia de uma barreira eficiente na redução da velocidade desse arraste de material particulado utilizando-se quebra-ventos arbóreos, é necessário um manejo constante, visto que um povoamento florestal, seja ele diverso ou não, sofre alterações ao longo do tempo, inerentes a cada indivíduo e às interações diversas do ecossistema. Entretanto, existe uma escassez de estudos científicos sobre a sensibilidade das espécies tropicais no que se refere à questão da poluição atmosférica (SILVA, 2003).

A seleção das espécies e a combinação entre elas, associadas ao manejo, representam um diferencial. A estratificação do Cinturão Verde, ou seja, plantas mais baixas, intermediárias e mais altas, de espécies de diferentes portes, criam barreiras em várias faixas de altura. Assim sendo, a seleção e recomendações das espécies para composição do Cinturão Verde exigem manejo constante, devido às mudanças naturais, para garantir a eficiência na redução da velocidade do vento e seu potencial arraste de particulados.

Nucci (2008) afirma que, para uma área ser identificada como Área Verde, deve haver a predominância de áreas plantadas e também deve cumprir as funções estética, ecológica e de lazer.

Gomes (2005) corrobora a afirmação de que a vegetação oferece benefícios ambientais, como o combate à poluição do ar por meio fotossíntese, regulação da umidade, temperatura do ar, manutenção da permeabilidade fertilidade e umidade do solo bem como sua proteção contra a erosão, e também reduz os níveis de ruído, servindo como amortecedor do barulho das cidades.

Um Cinturão Verde se comporta como uma barreira, interceptando o ar poluído. As plantas podem remover os poluentes atmosféricos pelos mecanismos de absorção dos gases pelas folhas, deposição de material particulado na superfície das folhas e precipitação de partículas à jusante da vegetação (LAURET et al., 2011).

A biodiversidade do Cinturão Verde engloba a totalidade dos recursos biológicos, dos recursos genéticos e seus componentes, bem como a complexa relação de ecossistemas e *habitats*, assim como os processos que resultam dessa diversidade, tais como a fotossíntese, o ciclo de nutrientes e a polinização.

Assim, são inúmeras as vantagens e os benefícios de se efetivar a instalação de um Cinturão Verde em torno de um polo industrial, entre elas estão a melhoria contínua da qualidade de vida dos moradores, o aumento da biodiversidade local, a purificação de certos efluentes atmosféricos, melhorando desta forma a qualidade do ar, a capacidade de mudança térmica, amenizando a temperatura ambiente, o que proporciona uma melhoria no seu entorno, com redução de alguns dos desconfortos causados pelos processos industriais.

O presente trabalho teve como objetivo demonstrar a importância do Cinturão Verde para reter materiais particulados em ambientes siderúrgicos, além dos benefícios biológicos, físicos e paisagísticos.

2 | METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi fundamentada na amostragem das áreas verdes da ArcelorMittal Tubarão, sendo subdivididas na área do Pátio de Minério e Pátio de Carvão, como observado na Figura 1.

Para avaliar a retenção de material particulado, realizou-se a diagnose foliar por meio da análise foliar, com amostragem das folhas coletadas em ambiente industrial. Tais folhas foram submetidas a dois diferentes métodos de análise: o convencional com lavagem das folhas antes da análise e o outro em que a análise foi realizada sem a lavagem das folhas para detectar a retenção de particulado na superfície das mesmas.

As espécies utilizadas para a realização desse trabalho foram a Aroeira Vermelha (*Schinus terebinthifolius*) e o Jamelão (*Syzygium cumini*), devido à ocorrência e a frequência das mesmas em ambas as áreas industriais.

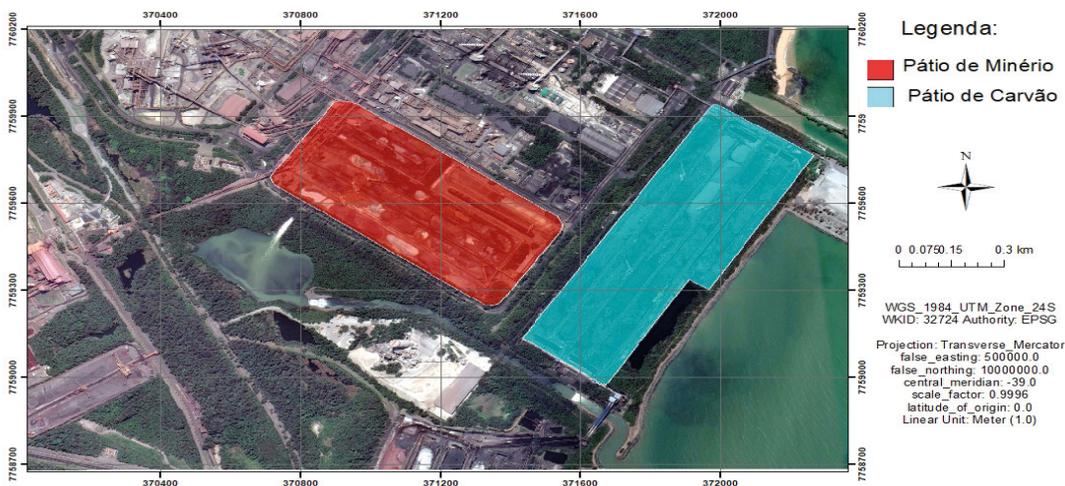


Figura 1 - Vista aérea dos Pátios de Minério e de Carvão.

Fonte: O Autor.

A espécie Jamelão foi introduzida nas áreas experimentais, após a conclusão da Fase 1, em substituição à Pata de Vaca (*Bauhinia forficata*), que não se adaptou às condições ambientais da área industrial da ArcelorMittal. Como já existiam plantas de Jamelão distribuídas aleatoriamente no entorno do parque industrial, com crescimento e desenvolvimento satisfatórios, optou-se por inserir essa espécie nas áreas experimentais para futuras avaliações.

A coleta das folhas ocorreu no mês de setembro de 2020, 5 anos após a última coleta da Fase 1, a qual foi utilizada para a avaliação da retenção de particulado nas superfícies das folhas. Realizaram-se análises foliares para o micronutriente Ferro (Fe), sendo este o principal particulado que atinge, de forma visível, as áreas urbanas no entorno da área industrial. Nos Cinturões Verde do Pátio de Minério e Pátio de Carvão, foram retiradas 20 amostras de cada espécie selecionada (Figura 2), sendo 10 para folhas lavadas e 10 para

folhas não lavadas.



Figura 2 - Coleta de folhas.

Fonte: O Autor.

3 | RESULTADOS ALCANÇADOS

Os teores de nutrientes determinados na análise química das folhas são considerados adequados à nutrição das plantas (COSTA, 1996), estabelecidos para as diversas culturas, por meio de trabalho de pesquisa. De acordo com a 5ª Aproximação do Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007), a faixa considerada adequada para o elemento Fe para as culturas florestais varia entre 50 a 200 mg.kg⁻¹, conforme apresentado na Tabela 1.

Cultura	MICRONUTRIENTES (mg.kg ⁻¹)				
	Fe	Zn	Cu	Mn	B
Essências florestais	50 - 200	20 - 60	05 - 15	40 - 600	20 - 70

Tabela 1 - Valores de referência para micronutrientes para essências florestais.

A análise comparativa dos resultados obtidos para os teores foliares de Fe para as duas espécies coletadas nos ambientes industriais do Pátio de Minério e Pátio de Carvão, em folhas lavadas e não lavadas, são apresentados na Tabela 2.

Área	Espécie	Condição da Folha	Ferro mg.kg ⁻¹
Pátio de Minério	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Lavada	2410
		Não Lavada	2707
	<i>Syzygium cumini</i>	Lavada	1073
		Não Lavada	1265
Pátio de Carvão	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Lavada	925
		Não Lavada	973
	<i>Syzygium cumini</i>	Lavada	442
		Não Lavada	620

Tabela 1 - Teores de micronutrientes nas espécies *Schinus terebinthifolius* e *Syzygium cumini*.

Fonte: O Autor.

Verifica-se que os teores de Fe nas folhas não lavadas são superiores aos das folhas lavadas para as duas espécies, destacando a capacidade de retenção de particulados nas superfícies das folhas das plantas no Cinturão Verde.

Para o ambiente industrial do Pátio de Minério, a variação do Fe na espécie *Schinus terebinthifolius*, entre folhas lavadas e não lavadas, foi de 2.410 a 2.707 mg.kg⁻¹, enquanto para o *Syzygium cumini*, a variação foi de 1.073 a 1.265 mg.kg⁻¹.

No Pátio de Carvão, a amplitude observada entre folhas lavadas e não lavadas foi de 925 a 973 mg.kg⁻¹ para *Schinus terebinthifolius*, e para *Syzygium cumini* permaneceu entre 442 a 620 mg.kg⁻¹.

Embora os teores de ferro nas espécies analisadas estejam acima do valor de referência, não foram observados sintomas de toxidez para este micronutriente nas espécies *Schinus terebinthifolius* e *Syzygium cumini*.

Quanto aos teores foliares do Fe, nota-se que para todas as espécies a quantidade desse elemento presente nas folhas não lavadas é superior em relação às lavadas, isso se deve à capacidade de retenção de particulados pelas plantas que compõem o Cinturão Verde (Gráfico 1).

Segundo Malavolta (2006), há vários aspectos que devem ser levados em consideração na retenção foliar de particulado de uma espécie, tais como: tricomas, pelos, cera cuticular, idade da folha, e até mesmo o meio em que a espécie está localizada. Dessa forma, é possível que, pelo fato da espécie *Schinus terebinthifolius* possuir folhas compostas, imparipinadas, com grande superfície específica, a retenção de material particulado tenha se apresentado de forma mais efetiva do que na espécie *Syzygium cumini*, que possui folhas simples, opostas e lisas (Figuras 3 e 4).

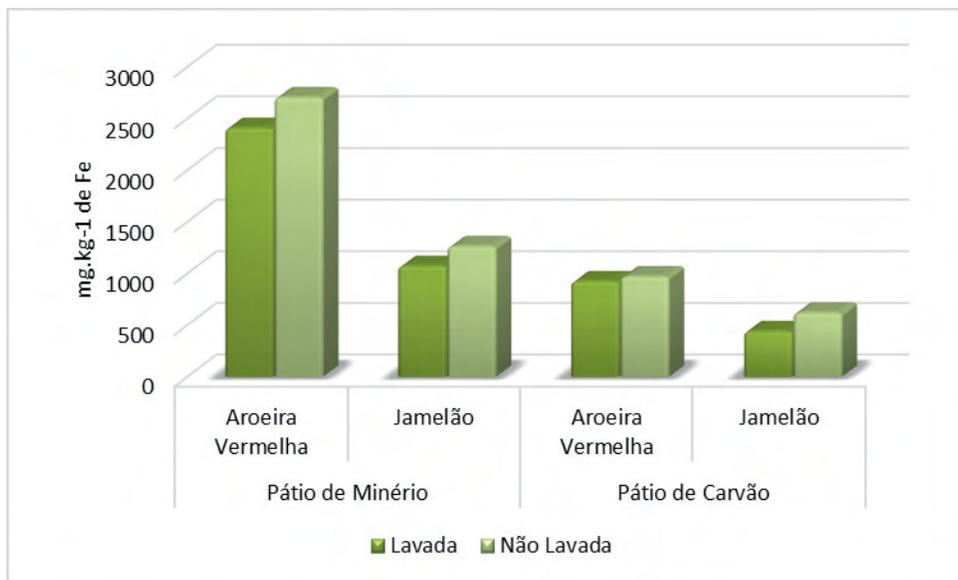


Gráfico 1 - Comparação de retenção de particulado entre as espécies.

Fonte: O Autor.



Figura 3 - Retenção de particulado na espécie *Schinus terebinthifolius*.

Fonte: O Autor.



Figura 4 - Retenção de particulado na espécie *Syzygium cumini*.

Fonte: O Autor.

Apesar do grande potencial de retenção de particulado do *Syzygium cumini*, espécie que pode chegar a 20 metros de altura, esse, no período avaliado, se encontrava em estágio de desenvolvimento diferente em relação à *Schinus terebinthifolius*, apresentando um dossel menos denso com área foliar menor, o que proporciona menor retenção de particulado.

Esses resultados destacam a importância das espécies vegetais na sua eficiência como barreira vegetal ou quebra-vento por atenderem à finalidade de retenção de material particulado além da sua contribuição na redução da velocidade do vento, com potencial para minimizar esse araste.

Um importante indicador dos benefícios do Cinturão Verde ou quebra-vento é a sua contribuição para a preservação da biodiversidade, que foi comprovada pela presença de indicadores biológicos, como aves, fungos, insetos, anfíbios, dentre outros, o que, por si só, indicam que o ambiente propiciado pelo Cinturão Verde se torna facilitador do trânsito da fauna local (Figura 5).



Figura 5 - Biodiversidade encontrada no Cinturão Verde.

Fonte: O Autor.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstraram que as espécies vegetais analisadas foram eficientes como barreira vegetal ou quebra-vento, a qual tem a finalidade de contribuir para a redução da velocidade do vento e a retenção de material particulado.

O estudo comparativo dos resultados das análises químicas utilizando os procedimentos de folhas lavadas e folhas não lavadas mostrou, de maneira geral, maiores teores para os micronutrientes foliares nas folhas não lavadas, destacando a eficiência do Cinturão Verde na retenção de particulados.

A análise do micronutriente ferro identificou maior concentração no Pátio de Minério em relação ao Pátio de Carvão, devido à movimentação local e o tipo de material armazenado.

A maior concentração de ferro na superfície das folhas se deu na espécie *Schinus terebinthifolius*, devido ao tipo de folha com maior superfície específica e consequentemente

apresentarem maior capacidade de retenção, além deste elemento estar presente em grande quantidade nas partículas em suspensão.

A cobertura verde e agroflorestal, além de contribuir com a variação da temperatura, contribui com a produção de biomassa e a manutenção da matéria orgânica do solo, que propicia uma melhor infiltração e manutenção da umidade, favorecendo o crescimento de micro-organismos. Reduz também o impacto da chuva diretamente no solo, diminuindo os processos erosivos.

Além da capacidade de reter particulados e diminuir a velocidade do vento, os Cinturões Verdes possuem um importante papel na melhoria da qualidade do ar no seu entorno e do microclima local; proporcionam temperatura e umidade mais amenas, bem como promovem a manutenção da biodiversidade com presença de indicadores biológicos, o que favorece o equilíbrio e a estabilidade dos ecossistemas.

A preservação dessa diversidade compõe o patrimônio natural da Mata Atlântica e dos ecossistemas costeiros.

REFERÊNCIAS

COSTA, A. N. da. Uso do Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) no mamoeiro. In: MENDES, L. G.; DANTAS, J. L. L.; MORALES, C. F. G. **Mamão no Brasil**. Cruz das Almas, BA: EUFBA/EMBRAPA-CNPMP, 1996. p. 49 - 55.

GOMES, M. A. S. **As praças de Ribeirão Preto-SP: uma contribuição geográfica ao planejamento e à gestão dos espaços públicos**. 204 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Uberlândia, 2005.

IBC – Instituto Brasileiro do Café. **Cultura do café no Brasil**. Rio de Janeiro. 1981, 315 p.

LAURET, T. M.; DE PAULA, R. R. C. **Estudo experimental em túnel de vento: análise da capacidade de um cinturão verde reter material particulado em indústria de mineração**. 2011. Disponível em: <http://jic.ifes.edu.br/_legado/jornada_2010_2011/anais/T2614.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2021.

LEAL, A. C. **Quebra-ventos arbóreos: aspectos fundamentais de uma técnica altamente promissora**. Curitiba: IAPAR, 1986. (Informe de Pesquisa, n. 67). Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/IP67.Pdf>. Acesso em: 03 jun. 2021.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 639 p.

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, 2001. p. 37 - 42.

NUCCI, J. C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano: um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP)**. Edição do autor, 2008. 150 p.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação**. Vitória, ES: SEEA/ Incaper/Cedagro, 2007. 289 p.

SILVA, L. C. **Avaliações bioquímicas, fisiológicas e anatômicas dos efeitos de poluentes atmosféricos sobre espécies vegetais.** 2003. 109 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

SOBRE O ORGANIZADOR

AURELIANO NOGUIERA DA COSTA- é Engenheiro Agrônomo, Mestre em Fitotecnia e Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, com mais de 30 anos de experiência em pesquisa, desenvolvimento e inovação, com foco em fertilidade, manejo e conservação de solos e também nutrição e adubação de espécies agronômicas e florestais. Possui notório saber nas áreas de gestão ambiental e sustentabilidade, agroecologia, uso de biossólido na agricultura, manejo de bacias hidrográficas, recuperação de cobertura vegetal e de nascentes, manejo agroflorestal e recuperação de áreas degradadas, indicadores de qualidade de solos, medidas de controle de arraste de materiais sólidos particulados de ambientes industriais para áreas urbanas e identificação de espécies vegetais que melhor se adaptam ao cultivo em Cinturão Verde sob condições edafoclimáticas adversas.

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

