

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região
Marinha e Costeira Adjacente**

RELATÓRIO SEMESTRAL – SEÇÃO 3

Anexo 5 – Restinga

RT-10 RRDM/JUN19

Coordenação Geral

Adalto Bianchini

Alex Cardoso Bastos

Edmilson Costa Teixeira

Eustáquio Vinícius de Castro

Jorge Abdala Dergam dos Santos

Vitória,

Junho de 2019

COORDENAÇÕES

COORDENAÇÕES POR ANEXO

Anexo 5

Diolina Moura Silva (UFES)

Mônica Tognella (UFES)

SUMÁRIO

1	OBJETIVO	8
2	RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
2.1	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO	8
2.2	INVENTÁRIO FLORÍSTICO	10
2.3	LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO	13
2.4	INDÍCIOS, EVIDÊNCIAS E POTENCIAIS RESPOSTAS DO IMPACTO	19
2.4.1	Fenologia	19
2.4.2	Capacidade de recuperação da vegetação	22
2.4.3	Índice de Clorofila	24
2.4.4	Fluorescência da Clorofila a	26
2.4.5	Trocas gasosas	29
2.4.6	Relação entre os parâmetros obtidos	31
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
4	REFERÊNCIAS	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Teores de Ferro e Manganês no solo das três formações vegetais, nas oito estações amostrais do Anexo 5 - Restinga (PMBA).	8
Figura 2: Concentração de Ferro e Manganês no solo da vegetação herbácea nas oito estações amostrais do Anexo 5 - Restinga (PMBA).	9
Figura 3: Número de amostras coletadas, total e mensalmente, nas oito estações amostrais do Anexo 5 - Restinga (PMBA).	10
Figura 4: <i>Scaevola plumieri</i> (Goodeniaceae), espécie ameaçada de extinção na categoria vulnerável, encontrada na fisionomia herbácea (vegetação halófila-psamófila).	11
Figura 5: Comparação do número de espécies conhecidas antes do PMBA (dados pretéritos) e no presente trabalho, em (A) Barra Nova – Estação 4 e (B) Cacimbas – Estação 6, segundo o Herbário Virtual da Flora e dos Fungos (HVFF).	12
Figura 6: Dendrograma de similaridades florística das estações amostrais e formações vegetais estudadas ao longo do litoral norte do Espírito Santo: A - herbácea de praia, B - arbustiva aberta não inundável, C - florestal não inundável.	14
Figura 7: Dendrograma de similaridades florística das estações amostrais e formações vegetais estudadas ao longo do litoral norte do Espírito Santo: A - herbácea de praia, B - arbustiva aberta não inundável, C - florestal não inundável.	15
Figura 8: Número de sementes coletadas durante o período chuvoso e porcentagem de germinação nas três fitofisionomias da Restinga, nas oito estações amostrais do Anexo 5 - Restinga (PMBA). ...	23
Figura 9: Placas contendo meio Extrato de Solo (MES) para cultivo bacteriano provenientes de amostras de solo coletadas na Estação 1 do PMBA sob <i>Coccoloba alnifolia</i> em diferentes diluições seriadas (10:1) após 24 horas de incubação a 28°C.	24
Figura 10: Índices de clorofila obtidos em folhas totalmente expandidas de onze espécies das fisionomias herbácea, arbustiva e arbórea, avaliadas em janeiro/2019, nas oito estações amostrais.	25
Figura 11: Índice médio de clorofila obtido em folhas totalmente expandidas, obtidos durante a estação chuvosa, em duas espécies da fisionomia herbácea em relação aos teores de Ferro do solo nas oito estações de amostragem (n= 20).	26
Figura 12: Curvas da cinética da fluorescência da clorofila a mostrando a fluorescência variável (V_t), a diferença da fluorescência variável (DV_t) e a Banda K (detectada aos 300 ms) de plantas da vegetação herbácea (<i>Ipomoea imperati</i>), vegetação arbustiva – AU (<i>Guapira pernambucensis</i>) e da vegetação arbórea – AO (<i>Protium heptaphilum</i>) nas oito estações de amostragem. (n= 20).	27

- Figura 13: Rendimento quântico máximo potencial do fotossistema II ($F_v/F_M = \phi P_0$), Eficiência de oxido-redução do Fotossistema II ($P_{I_{abs}}$) e o índice de desempenho total da cadeia de transporte de elétrons (PI_{TOTAL}) obtidos de amostras de seis espécies da fisionomia herbácea, arbustiva e arbórea em oito estações amostrais da Restinga do PMBA. (n=20) 28
- Figura 14: Medições de trocas gasosas em espécies vegetais da Restinga: A – herbácea de praia: *Canavalia rosea* e *Ipomoea imperati*; B – arbustiva não inundável: *Allagoptera arenaria*. 29
- Figura 15: Taxa fotossintética líquida do carbono (A), condutância estomática (g_s) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) em espécies presentes em três fitofisionomia da Restinga: *Canavalia rosea* – Herbácea, *Allagoptera arenaria* – Arbustiva e *Manilkara subsericea* – Arbórea, em oito estações amostrais afetadas pela pluma de mineração ao longo da região costeira do ES. (n=9). 30
- Figura 16: Relação entre os valores médios dos parâmetros de trocas gasosas das espécies das três formações vegetais e os teores de ferro disponíveis no solo nas oito estações de amostragem: taxa fotossintética líquida do carbono (A) e condutância estomática (g_s) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s). (n= 9) 31
- Figura 17: Mapa percentual da relação entre teores de elementos no solo e parâmetros ecofisiológicos pela Análise de Componentes Principais (Principal Component Analysis - PCA) em seis espécies de Restinga. Ferro (Fe); manganês (Mn); cobre (Cu); zinco (Zn); índice de clorofila (Chl); rendimento quântico máximo potencial do FSII (F_v/F_M); índice de desempenho fotoquímico do FSII ($P_{I_{abs}}$); índice de desempenho total da cadeia de transporte de elétrons (PI_{TOTAL}); taxa fotossintética líquida do carbono (A); condutância estomática (g_s); eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s); eficiência instantânea do uso da água (A/E). 32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Riqueza de espécies de cada formação vegetal da Restinga nas oito estações amostrais do Anexo 5 - Restinga (PMBA).	13
Tabela 2: Valor de importância das cinco espécies mais importantes em cada estação amostral, da Fisionomia Herbácea, do Anexo 5 – Restinga (PMBA).	17
Tabela 3: Valor de importância (VI) das três espécies mais importantes em cada estação amostral, formação arbustiva aberta não inundável, Anexo 5 – Restinga do (PMBA).	18
Tabela 4: Valor de importância das três espécies mais importantes em cada estação amostral, da fisionomia arbórea - Anexo 5 – Restinga (PMBA).	18
Tabela 5: Coeficiente de Correlação de Pearson entre teores de elementos no solo e valores médios de parâmetros fotossintéticos em plantas da Restinga, do Anexo 5 do PMBA. ns P > 0,05, *P < 0,05, ** P < 0,01 e ***P < 0,001.	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fenologia das espécies encontradas nas oito estações amostrais Anexo 5 - Restinga (PMBA), de outubro/2018 a março/2019.	20
--	----

1 OBJETIVO

No primeiro semestre desta proposta de monitoramento das alterações ecológicas na vegetação da restinga iniciou-se um inventário da flora da formação herbácea, arbustiva e arbórea objetivando caracterizar os efeitos dos rejeitos, ainda contidos no solo, na sobrevivência da vegetação jovem e adulta. Ao acompanhar a fenologia e o desempenho ecofisiológico usando as análises de pigmentos fotossintéticos, as variações da fluorescência da clorofila a e as trocas gasosas desta comunidade vegetal em oito estações amostrais pretende-se fornecer subsídios para indicar outros potenciais impactos sobre a estrutura da comunidade do bioma Restinga.

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

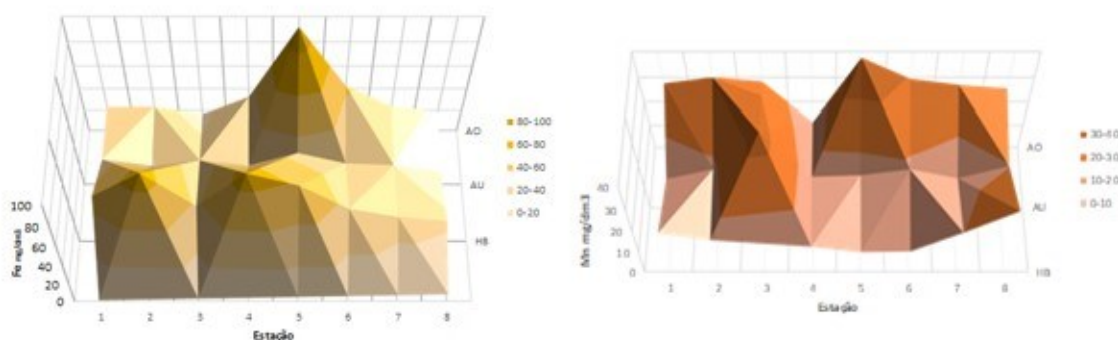
2.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO

Na análise química do solo das oito estações amostrais, as concentrações de Ferro e Manganês chamam atenção por estarem acima do encontrado na literatura para os solos de restinga.

Para o Ferro, na vegetação arbórea obteve-se concentrações variando de 15,9 a 92,1 mg/dm³, com maiores concentrações em E5 e E6. Na vegetação arbustiva, houve variação de 13,1 a 32 mg/dm³, com maior concentração em E5, e na vegetação herbácea a variação foi de 22,2 a 69,6 mg/dm³, com maiores concentrações em E2, E4 e E5.

As concentrações de Manganês variaram de 11,3 a 37,7 mg/dm³ na vegetação arbórea, com maior concentração em E5. Na vegetação arbustiva, a variação foi de 14,2 a 34,1 mg/dm³, com maior concentração E3, e na herbácea a variação foi de 10,2 a 29,7 mg/dm³, com maior concentração em E8. As elevadas concentrações de Mn no solo da vegetação herbácea apresentaram correlação positiva com a proximidade da foz do Rio Doce (Figura 1).

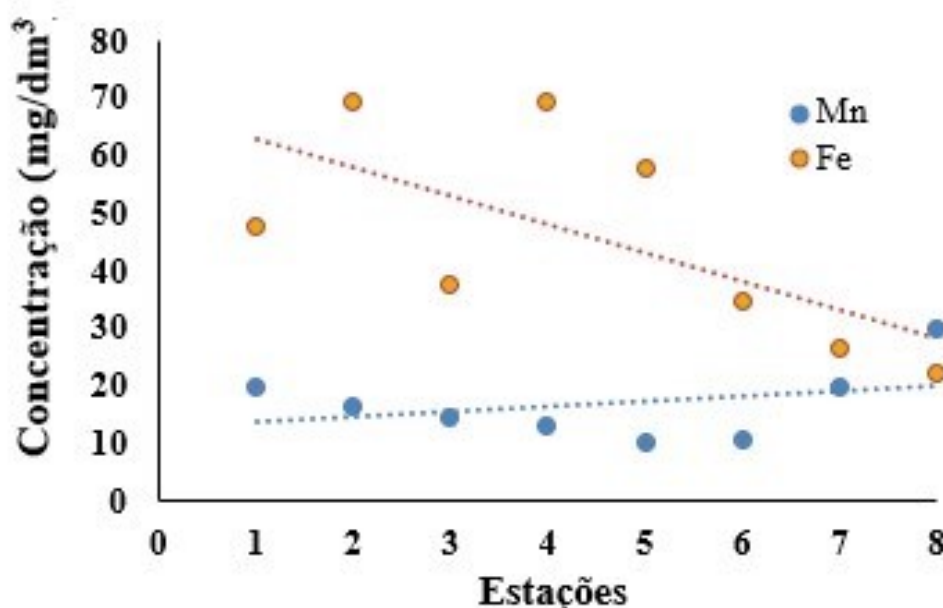
Figura 1: Teores de Ferro e Manganês no solo das três formações vegetais, nas oito estações amostrais do Anexo 5 - Restinga (PMBA).



Fonte: Autoria própria.

Mesmo com elevadas concentrações de Fe no solo, a Figura 2 mostra uma relação negativa entre a concentração de Fe e a distância da foz do Rio Doce, na vegetação herbácea. À medida que se distancia da foz, maior a concentração de Fe.

Figura 2: Concentração de Ferro e Manganês no solo da vegetação herbácea nas oito estações amostrais do Anexo 5 - Restinga (PMBA).



Fonte: Autoria própria.

Os solos das restingas do norte do Espírito Santo são classificados como Neossolos Quartzarênicos com Areia Quartzosa Marinha Hidromórfica A, próximo à foz do Rio Doce (Estações 5, 6, 7 e 8) e com Areia Quartzosa Marinha Hidromórfica A e Podzol Hidromórfico Álico A, nas Estações 1 a 4 (LANI, 2008). Nestes solos, a literatura registra que a reserva mineral é nula e o teor de minerais pesados é bem baixo, com valores de Mn não calculado, devido aos valores não quantificáveis no método utilizado, e de Fe_2O_3 variando entre 0,2 a 0,7% (PANOSO et al., 1978). Em análises mais recentes, em áreas ao sul das estações amostrais, embora em solos com predominância de Podzol Hidromórfico Álico A, o Fe variou de 13,2 a 25,33 mg/dm³, em vegetação herbácea, e o Mn, 9,7 a 12,92 mg/dm³ (LOURENÇO JÚNIOR; CUZZUOL, 2009; KUSTER, 2010).

Sabe-se que a absorção excessiva de elementos traço pelas plantas, desencadeia toxidez, pelas alterações no processo fotossintético e no acúmulo de biomassa (NEVES et al., 2009; BROADLEY et al., 2012), principalmente quando associado a déficit hídrico e alta irradiância. Tanto o Fe quanto o Mn são micronutrientes que participam de processos vitais, mas quando encontrados em elevadas proporções no ambiente, podem ser absorvidos em excesso e acarretar toxidez (PUGH et al., 2002). O excesso de Fe causa danos celulares devido a reações redox (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 1986; IMLAY et al., 1988) e o excesso de Mn tem efeito direto no funcionamento do aparato fotossintético (GONZÁLEZ et al., 1998).

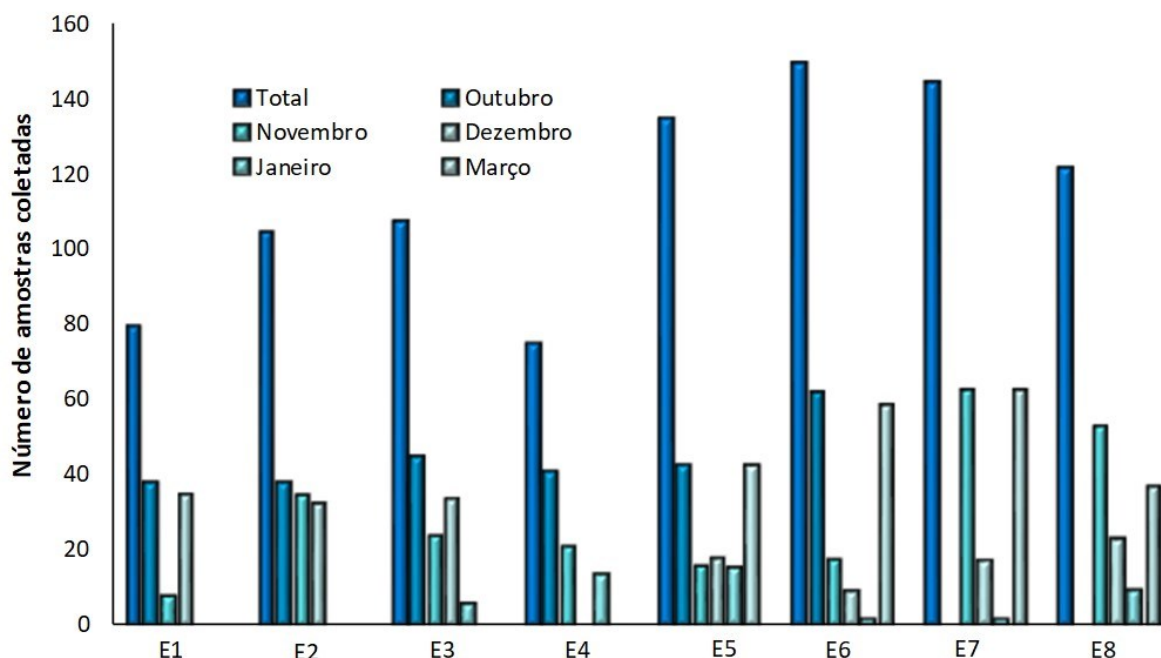
A análise granulométrica nas oito estações amostrais mostrou que os solos nas três fitofisionomias do ecossistema Restinga podem ser classificados como predominantemente arenosos, Tipo 1, de granulometria grossa com menores proporções de areia fina, e menores porcentagens de silte e argila, como encontrado em outros solos de restinga (PANOSO et al., 1978; LOURENÇO JÚNIOR; CUZZUOL, 2009). Observa-se, entretanto, que existe tendência a aumento granulométrico com a proximidade das estações à Foz do Rio Doce, alcançando mais de 80% de areia grossa em E6, E7 e E8.

Essa tendência foi observada, principalmente, para a fisionomia herbácea, com uma diferença variando de 54 a 95% de areia grossa, nas Estações 1 e 8, respectivamente. Contudo, tendência a maiores proporções de argila foram observadas nas estações sob influência fluvial, E2, E4 e E6, provavelmente devido a proximidade aos rios São Mateus, Mariricu e lagoas da região.

2.2 INVENTÁRIO FLORÍSTICO

O inventário florístico coletou 942 espécimes de angiospermas férteis nas oito estações amostrais (Figura 3), dos quais 57% já foram identificados em nível de espécie, correspondendo a 114 espécies pertencentes a 46 famílias de angiospermas. Este número tende a aumentar em todas as áreas amostrais, visto que alguns dos espécimes coletados ainda estão sendo identificados.

Figura 3: Número de amostras coletadas, total e mensalmente, nas oito estações amostrais do Anexo 5 - Restinga (PMBA).



Fonte: Autoria própria.

A distribuição do total de amostras coletadas mensalmente, por estação, está representada na Figura 3. Observa-se que o maior número de espécimes foi coletado nas estações 6 e 7, Cacimbas e Regência - TAMAR (Reserva Biológica de Comboios).

Nessas estações também foram registradas as maiores riquezas, 54 e 51 espécies, respectivamente. A menor riqueza foi encontrada na estação 3 (Aldeia dos Cocos), 35 espécies. As maiores riquezas encontradas nas estações 6 e 7 refletem o melhor estado de conservação dessas áreas, quando comparadas às estações 1 a 5, que são áreas que estão mais sujeitas à impactos, como a retirada de vegetação da restinga para ocupação humana, cultivo e turismo.

Em todas as estações amostrais, a maioria das espécies coletadas apresentam ampla distribuição geográfica, com poucas exceções, como *Peplonia asteria* (Vell.) Fontella e E.A.Schwarz (Apocynaceae), *Anthurium raimundii* Mayo, Haigh e Nadruz (Araceae), *Aechmea blanchetiana* (Baker) L.B.Sm. (Bromeliaceae), *Kielmeyera albopunctata* Saddi (Calophyllaceae), *Palicourea blanchetiana* Schltld. (Rubiaceae) e *Abarema barnebyana* Iganci e M.P.Morim (Fabaceae), espécie endêmica do Espírito Santo (BFG 2015). Estas espécies estão sendo avaliadas quanto às condições das populações encontradas, para verificar se, ao longo do estudo, haverá declínio das populações devido a impactos sobre a biota, podendo enquadrá-las ou reenquadrá-las nos critérios de ameaça de extinção da IUCN (2011).

Das espécies listadas, quatro estão listadas no livro das Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção no Estado do Espírito Santo (SIMONELLI e FRAGRA 2007), na categoria vulnerável: *Aechmea blanchetiana* (Baker) L.B.Sm. (Bromeliaceae), *Scaevola plumieri* (L.) Vahl (Goodeniaceae, Figura 4), *Odontocarya vitis* (Vell.) J.M.A.Braga (Menispermaceae) e *Cyrtopodium holstii* L.C.Menezes (Orchidaceae).

Figura 4: *Scaevola plumieri* (Goodeniaceae), espécie ameaçada de extinção na categoria vulnerável, encontrada na fisionomia herbácea (vegetação halófila-psamófila).



Fonte: Autoria própria.

Uma espécie foi identificada como introduzida, *Acacia mangium* Willd. (Fabaceae), encontrada e coletada somente na Estação 5.

Vale destacar que foram identificadas três espécies, consideradas naturalizadas por não serem nativas do Brasil, mas ocorrem espontaneamente em áreas naturais: *Alysicarpus vaginalis* (L.) DC. (Fabaceae), foi coletada nas Estações 3 e 6, *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd. (Poaceae), encontrada apenas na Estação 4, e *Lantana camara* L. (Verbenaceae), encontrada em todas as estações, com exceção da Estação 6 (Cacimbas) (SIMONELLI E FRAGA, 2007).

Devido à ausência de dados pretéritos, coletados pelo PMBA, para comparação, foram utilizados dados de espécimes depositados no Herbário INCT – Herbário Virtual da Flora e dos Fungos (<http://inct.florabrasil.net/>), em duas estações, Estação 4 (Barra Nova/São Mateus) e Estação 6 (Cacimbas/Linhares), mostrando um aumento na riqueza de espécies, em relação ao anteriormente conhecido (Figura 5).

Figura 5: Comparação do número de espécies conhecidas antes do PMBA (dados pretéritos) e no presente trabalho, em (A) Barra Nova – Estação 4 e (B) Cacimbas – Estação 6, segundo o Herbário Virtual da Flora e dos Fungos (HVFF).



Fonte: Autoria própria.

Para as outras estações amostrais não foi possível fazer tal comparação, pois se tratam de áreas extensas ou que foram muito degradadas nos últimos anos. Esse aumento de riqueza pode ser explicado pelo tamanho da amostragem, a duração e a periodicidade das coletas como citado por diversos autores (NAKAJIMA e SEMIR, 2001; ROMERO e MARTINS, 2002; DUTRA et al., 2008).

No Espírito Santo, o conhecimento da flora das restingas está muito ligado a estudos florísticos e fitossociológicos realizados por meio de parcelas, metodologia que limita a área amostrada e o porte das plantas inventariadas (FABRIS e CÉSAR, 1996; ASSIS et al. 2004). O uso de uma metodologia que amplia a área amostral e coleta todas as espécies férteis encontradas, por um longo período, amplia o conhecimento da flora. Esse tipo de inventário é importante para o conhecimento do ecossistema e fornece informações básicas que dão subsídios a estudos biológicos subsequentes, além de embasar iniciativas para conservação (VIBRANS et al., 2012).

2.3 LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO

Durante as campanhas 1 e 2 foram caracterizadas as formações vegetais das oito estações amostrais. São elas: Fisionomia Herbácea de Praia (ao longo do texto chamada de Fisionomia Herbácea), Fisionomia Arbustiva Aberta Não Inundável (Fisionomia Arbustiva) e Formação Florestal Não Inundável (Fisionomia Arbórea).

A Tabela 1 apresenta a riqueza de espécies de cada formação vegetal por estação amostral. Na Fisionomia Herbácea, a Estação 1 (APA de Conceição da Barra) foi a estação com maior riqueza enquanto a Estação 07 (Regência – TAMAR, Reserva Biológica de Comboios) foi a com menor riqueza. Essa diferença pode estar relacionada a proximidade da Estação 7 ao Rio Doce, que por sua vez sofre uma maior influência física e química causada pelo rio como proposto por THOMAZ (1991).

Na Fisionomia Arbustiva (Formação Arbustiva Aberta Não Inundável) a estação com maior riqueza foi a Estação 2 (APA de Conceição da Barra) e as de menor riqueza foram as Estações 7 e 8. Enquanto na Fisionomia Arbórea (Formação Florestal Não Inundável) a Estação 5 (Pontal do Ipiranga) mostrou a menor riqueza. Necessário destacar que essa região sofreu uma grande alteração antrópica, ocasionando em uma estreita faixa de vegetação remanescente, com menos de 400 m de extensão.

Tabela 1: Riqueza de espécies de cada formação vegetal da Restinga nas oito estações amostrais do Anexo 5 - Restinga (PMBA).

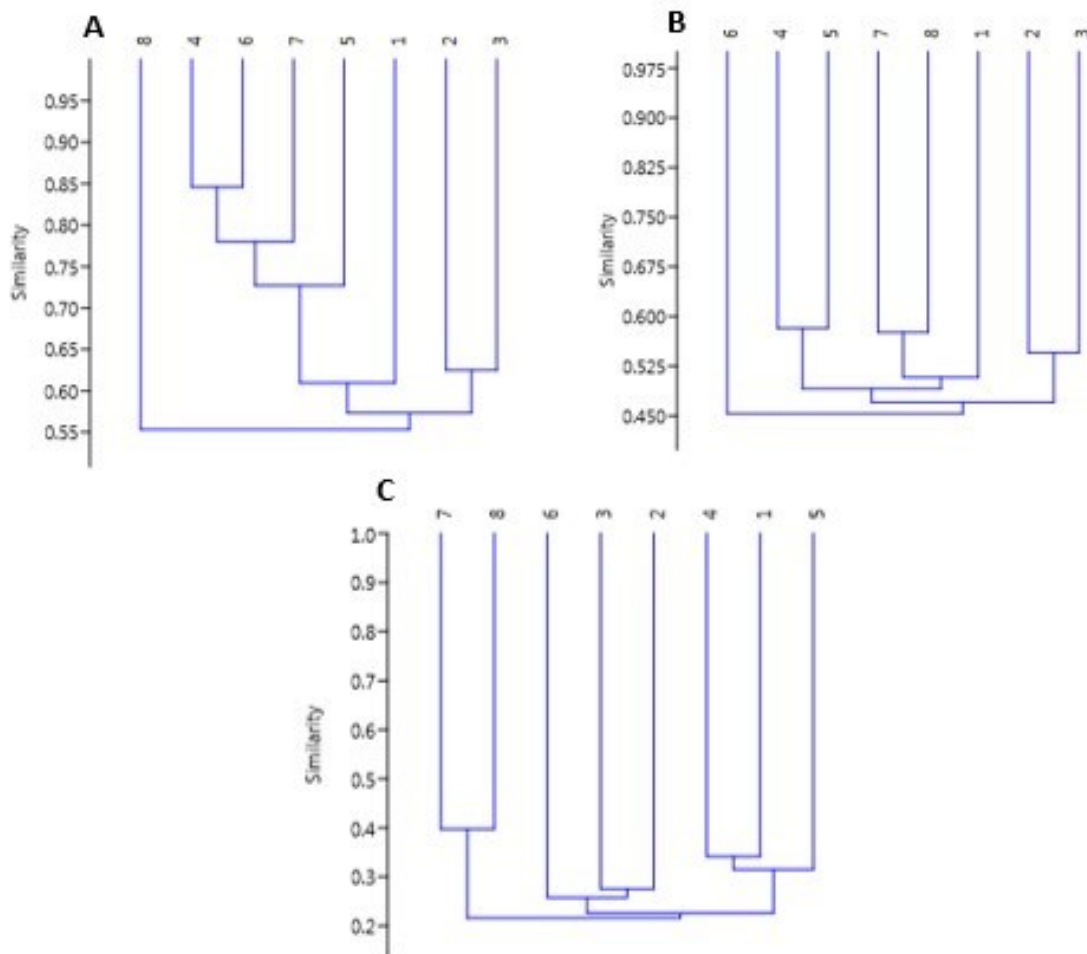
Fisionomia	Estação amostral							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Herbácea	16	15	15	10	13	14	8	15
Arbustiva	19	26	19	14	15	24	12	12
Arbórea	13	13	17	17	12	15	28	27

Fonte: Autoria própria.

A similaridade florística entre as estações, considerando cada formação vegetal foi alta para todas elas (Figura 6).

Pereira (1995) desenvolveu estudo florístico e fitossociológico em Regência, no período de julho/1993 a junho/1994, nas fisionomias que denominou de Halófila, Psamófila reptante e Graminóide com arbustos, no trecho que neste monitoramento é denominado Estação 7, englobadas atualmente na Formação herbácea não inundada. Este autor identificou 21 espécies numa faixa de 250 metros no sentido mar-continente, sendo que todas estas espécies foram também identificadas no estudo atual.

Figura 6: Dendrograma de similaridades florística das estações amostrais e formações vegetais estudadas ao longo do litoral norte do Espírito Santo: A - herbácea de praia, B - arbustiva aberta não inundável, C - florestal não inundável.

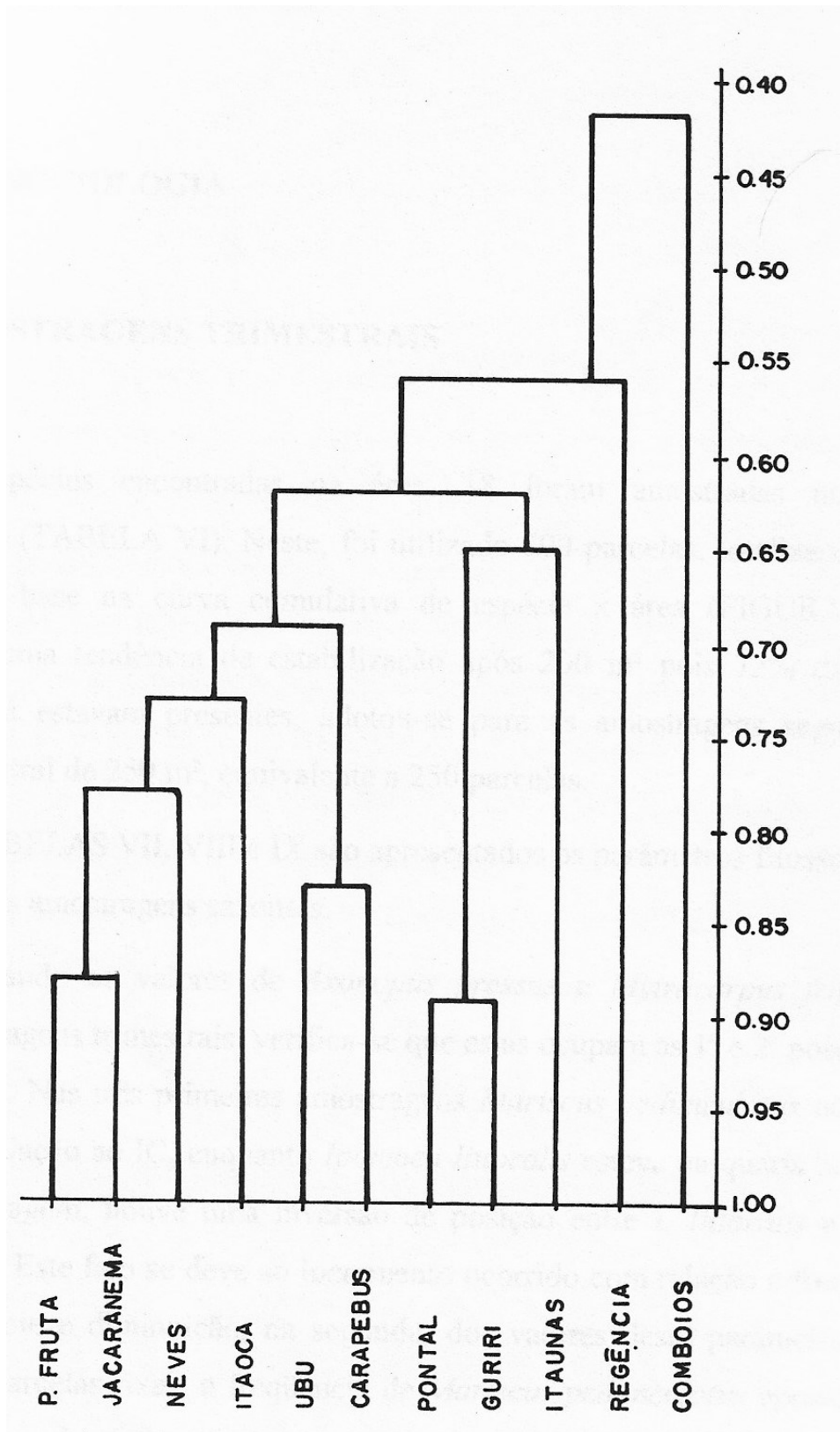


Fonte: Autoria própria.

Os resultados presentes indicaram alta similaridade entre as estações para a vegetação herbácea. A baixa riqueza de espécies nessa área e a ampla distribuição ao longo do litoral brasileiro são provavelmente responsáveis por essa alta similaridade.

Estes resultados são similares àqueles encontrados por Pereira (1995), que em uma análise comparativa em dez áreas ao longo da costa do Espírito Santo, concluiu não haver grandes diferenças da composição florística desta faixa de praia (Figura 7).

Figura 7: Dendrograma de similaridades florística das estações amostrais e formações vegetais estudadas ao longo do litoral norte do Espírito Santo: A - herbácea de praia, B - arbustiva aberta não inundável, C - florestal não inundável.



Fonte: Autoria própria.

Alternanthera maritima Mart., *Blutaparon portulacoides* (St. Hil) Mears, *Allagoptera arenaria* (Gomes) O. Kuntze., *Stylosanthes viscosa* Sw., *Oxypetalum banksii* R.Br. ex Schult., *Polygala cyparissias* St. Hil., *Chamaecrista flexuosa* (L.) Greene, *Euphorbia bahiensis* (Klotzsch & Garcke) Boiss., *Aspilia floribunda* (Gardner) Baker e *Peplonia asteria* (Vell.) Font. & Schw., tiveram amostragens baixas, o que pode estar relacionado a baixa frequência dessas espécies ao longo da área amostrada.

O trecho que corresponde a Estação 7 foi também alvo de estudo por Thomaz (1991), mas tendo considerado a vegetação halófila-psamófila reptante em uma faixa de 20 metros a partir da linha de praia, para o interior do continente. Neste trecho amostrou cinco espécies, sendo em sua totalidade presentes em Pereira (1995) e neste estudo. Este autor encontra *Blutaparon portulacoides* (A.St.-Hil.) Mears na primeira posição, enquanto Pereira (1995) e neste estudo ocupa sempre posição inferior. Estas diferenças estão provavelmente relacionadas a sua organização espacial na restinga, pois é encontrada sempre na primeira porção de vegetação, onde sofre constantemente alterações na linha de praia, ocasionada por avanços periódicos do mar, que termina por erodir grandes porções para o interior, sendo que em outras ocasiões são restabelecidas as condições iniciais, quando então esta espécie, principalmente, volta a ocupar este espaço (Pereira et al. 1992).

Considerando os estudos pretéritos e o atual na Estação 7 pode-se afirmar que entre o período de 1990 – 2018 a composição florística, assim como a organização estrutural da formação herbácea não inundável, não sofreu alterações, sendo que as diferenças na organização da comunidade podem ser explicadas por fatores inerentes a sua biologia, distribuição das espécies neste ecossistema e aspectos metodológicos.

De maneira geral, as diferenças estruturais e de composição florística entre as estações refletem as variações do perfil topográfico do terreno, causada pela ação das vagas nas marés de sizígia. O monitoramento em longo prazo desta formação, a elaboração de perfis topográficos e novas análises granulométricas dos solos da formação poderão auxiliar em conclusões mais robustas

A região da Estação 5 (Pontal do Ipiranga) foi também analisada com relação a estrutura da comunidade por Thomaz (1991), tendo encontrado oito espécies na faixa de até 20 metros para o interior do continente. Destas, quatro também foram incluídas no estudo fitossociológico atual que teve um total de cinco espécies. Entretanto as oito foram registradas para a composição florística da área. A ausência no estudo quantitativo poderia estar relacionada a fatores como a erradicação pela ação de marés altas, tais como em *Scaevola plumieri* (L.) Vahl. que tem sua distribuição na restinga junto a linha de praia, quase sempre em touceiras isoladas.

As espécies *Ipomoea pes-caprae* (L.) R.Br., *Canavalia rosea* (Sw.) DC. e *Polygala cyparissias* A.St.-Hil. & Moq. que foram registradas na estrutura da vegetação em Pontal do Ipiranga (Thomaz, 1991) são também encontradas em outras áreas com baixa frequência, aliado ao fato das duas primeiras terem ciclo de vida que determina em um período grande mortandade de caules, diminuindo assim sua participação na frequência da comunidade, assim como sua posição na linha de praia possibilitando

sua erradicação pela ação das marés (CASTELLANI; SANTOS, 2005; SILVA; MELO JÚNIOR, 2016; MELO JÚNIOR; BOEGER, 2018).

Em Guriri, no município de São Mateus, nas proximidades da Estação 2 (Conceição da Barra), Thomaz (1991) também analisou a estrutura da vegetação halófila-psamófila, tendo registrado nove espécies. Destas, seis também fizeram parte deste monitoramento, em posições fitossociológicas distintas. A ausência de *Chrysobalanus icaco* L. e *Scaevola plumieri* (L.) Vahl. em uma das estações amostrais pode estar relacionada ao modo de vida entouceirada destas espécies (CASTELLANI et al, 1999; MATIAS e NUNES, 2001), logo, com probabilidade maior de não serem amostradas.

Colodetti (2004) analisou a composição florística e fitossociológica de uma área contígua à Estação 7, enquadrada como formação arbustiva aberta não inundável, tendo encontrado 32 espécies nas moitas e 10 na região de entre moitas. Com relação a composição das moitas apenas quatro espécies não foram listadas para o trecho do estudo atual, enquanto na entre moitas todas as espécies foram observadas nesta estação.

Para a formação arbustiva aberta também se pode inferir que as discordâncias na composição florística podem ser explicadas por fatores naturais, como distribuição longitudinal de espécies, baixa densidade e frequência de populações, ciclo de vida e diferentes metodologias.

Na fisionomia herbácea, com exceção de *Blutaparon portulacoides* (St. –Hil.) Mears, *Aspilia floribunda* (Gardner) Baker e *Mitracarpus eichleri* K. Schum, que foram registrados apenas uma vez, outras quatro espécies foram responsáveis por mais de 70% do valor de cobertura em todas as estações amostradas (Tabela 2).

Tabela 2: Valor de importância das cinco espécies mais importantes em cada estação amostral, da Fisionomia Herbácea, do Anexo 5 – Restinga (PMBA).

Espécies	Valor de Importância em cada estação amostral							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
<i>Aspilia floribunda</i> (Gardner) Baker	—	25,92	—	—	—	—	—	—
<i>Blutaparon portulacoides</i> (St. Hil) Mears	—	—	—	—	—	—	16,05	—
<i>Canavalia rosea</i> (Sw.) DC.	19,66	21,98	19,22	—	—	—	—	—
<i>Ipomoea imperati</i> (Vahl) Griseb.	—	17,01	15,25	38,95	22,03	33,87	23,46	25,97
<i>Ipomoea pes-caprae</i> (L.) Sweet	—	—	—	12,86	—	16,84	32,82	17,92
<i>Mitracarpus eichleri</i> K.Schum.	—	—	—	—	—	—	—	52,23
<i>Panicum racemosum</i> (Beauv.) Spreng.	31,99	—	21,31	42,87	32,71	33,11	40,19	32,44
<i>Remirea maritima</i> Aubl.	31,36	31,25	16,31	37,40	20,31	58,67	84,02	39,86
<i>Scaevola plumieri</i> (L.) Vahl.	25,04	28,45	84,77	—	42,07	—	—	—
<i>Sporobolus virginicus</i> (L.) Kunth	22,55	—	—	52,48	39,61	16,86	—	—
Total	130,59	98,69	156,87	184,55	156,73	159,35	180,48	168,42

Fonte: Autoria própria.

Na fisionomia arbustiva não ocorreram indivíduos mortos. Neste estudo, as espécies *Allagoptera arenaria* e *Chrysobalanus icaco*, representaram mais de 65% do Valor de Importância (VI) total (%) na Estação 1 (E1) (Tabela 3).

No Espírito Santo as formações abertas foram analisadas sob o aspecto florístico (PEREIRA et al., 1998; PEREIRA; GOMES, 1994; PEREIRA; ASSIS, 2000) e estrutural (PEREIRA, 1990b; PEREIRA; ARAUJO, 1995).

Tabela 3: Valor de importância (VI) das três espécies mais importantes em cada estação amostral, formação arbustiva aberta não inundável, Anexo 5 – Restinga do (PMBA).

Espécies	Valor de Importância em cada estação amostral							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
<i>Allagoptera arenaria</i> (Gomes)Kuntze	80,37	90,45	131,55	119,85	109,11	123,42	—	110,58
<i>Chrysobalanus icaco</i> L.	73,02	—	—	—	51,15	—	—	—
<i>Guapira pernambucensis</i> (Casar.) Lundell	43,53	31,38	—	—	—	61,02	95,37	—
<i>Stylosanthes viscosa</i> (L.) Sw.	—	43,47	40,71	68,49	—	—	130,11	—
<i>Mitracarpus eichlen</i> K.Schum	—	—	—	—	—	—	—	111,87
Total	196,62	165,30	172,26	188,34	160,26	184,44	225,48	222,45

Fonte: A autoria própria.

O número de indivíduos mortos na floresta não difere daquele encontrado em outras florestas de restinga, indicando estabilidade do sistema (Tabela 4).

Nos resultados obtidos observa-se que tanto a fisionomia arbustiva quanto a arbórea apresentaram valores estruturais e de diversidade similares aos registrados para outras restingas capixabas, quando comparadas dentro do mesmo tipo de amostragem e critério de inclusão dos indivíduos (vide tabelas de dados brutos de cada campanha ao longo dos seis meses deste trabalho).

Tabela 4: Valor de importância das três espécies mais importantes em cada estação amostral, da fisionomia arbórea - Anexo 5 – Restinga (PMBA).

Espécies	Valor de Importância em cada estação amostral							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
<i>Brasiliopuntia brasiliensis</i> (Willd.) A.Berger	—	—	24,71	—	—	—	—	—
<i>Clusia hilariana</i> Schlttdl.	—	50,81	—	—	—	—	43,67	58,41
<i>Coccoloba alnifolia</i> Casar.	—	—	—	—	76,35	—	—	—
<i>Cupania emarginata</i> Cambess.	95,9	—	33,37	—	—	—	—	—
<i>Erythroxylum hamigerum</i> O.E.Schulz	—	—	—	—	—	—	29,64	—
<i>Eugenia astringens</i> Cambess.	—	17,99	—	65,72	—	43,36	—	—
<i>Exeildendron gracile</i> (Kuhlm.) Prance	—	—	—	—	—	—	23,00	—
<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	—	—	—	—	—	25,86	—	—
<i>Kielmeyera albopunctata</i> Saddi	—	—	—	—	—	—	—	33,09
Mortalndet	—	—	—	—	—	—	23,42	—
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	—	—	—	35,93	—	—	—	—

Espécies	Valor de Importância em cada estação amostral							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Baill.	—	—	—	—	31,24	—	—	—
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	61,51	—	—	39,53	—	—	—	—
<i>Protium icicariba</i> (DC.) Marchand	47,42	134,49	130,13	35,79	78,92	117,7	32,73	67,79
Total	204,83	203,29	188,21	176,97	186,51	186,92	152,46	159,29

Fonte: Autoria própria.

2.4 INDÍCIOS, EVIDÊNCIAS E POTENCIAIS RESPOSTAS DO IMPACTO

Aqui é apresentada uma lista de indícios, evidências e potenciais respostas sobre o impacto dos rejeitos de minério derivados do rompimento da barragem de Fundão sobre a vegetação de Restinga. Esses indicadores foram elencados por serem propostos na bibliografia disponível (artigos, teses e dissertações realizadas nas restingas do estado do Espírito Santo e em áreas onde ocorreram derrame de resíduos de mineração).

Todos os impactos relatados nesses documentos, sejam evidências, indícios ou potenciais se referem a impactos crônicos.

2.4.1 Fenologia

Os dados sobre a fenologia das espécies, no período de outubro/2018 a março/2019, são apresentados na Quadro 1. Nem todas as espécies floresceram e frutificaram no período estudado, sendo que 28 apenas floresceram e 23 apenas frutificaram.

O modelo fenológico de floração das espécies, até o momento mostra-se do tipo anual, sensu Newstron et al. (1994), já que não foi realizado um período de 12 meses de observações para delimitar as espécies com padrão anual longo e contínuo.

Até o momento, 19 espécies apresentaram floração anual explosiva e sete, floração anual sazonal. As demais espécies apresentaram mais de quatro meses de floração e representam importante recurso alimentar para a fauna da região. Quanto à frutificação, 29 espécies apresentaram frutificação curta e 12 espécies frutificaram durante todo o período de observação.

Por se constituir em importante recurso para a fauna local, o padrão de frutificação, bem como as causas da sua ausência em espécies que apresentaram somente a floração, requer a continuidade do monitoramento a fim de esclarecer se a não formação do fruto está relacionado a efeitos abióticos ou bióticos, dentre eles os causados pela contaminação local.

Quadro 1: Fenologia das espécies encontradas nas oito estações amostrais Anexo 5 - Restinga (PMBA), de outubro/2018 a março/2019.

Família	Espécie	Floração						Frutificação						
		Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	
Amaranthaceae	<i>Alternanthera littoralis</i> var. <i>maritima</i> (Mart.) Pedersen													
	<i>Blutaparon portulacoides</i> (A.St.-Hil.) Mears													
Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i> L.													
	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi													
	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.													
Apocynaceae	<i>Himatanthus bracteatus</i> (A. DC.) Woodson													
	<i>Oxypetalum banksii</i> R.Br. ex Schult.													
	<i>Peplonia asteria</i> (Vell.) Fontella e E.A.Schwarz													
	<i>Tabernaemontana laeta</i> Mart.													
	<i>Temnadenia odorifera</i> (Vell.) J.F.Morales													
Araceae	<i>Anthurium raimundii</i> Mayo, Haigh e Nadruz													
Arecaceae	<i>Allagoptera arenaria</i> (Gomes) Kuntze													
Asteraceae	<i>Emilia fosbergii</i> Nicolson													
	<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC. ex Wight													
	<i>Lepidaploa aurea</i> (Mart. ex DC.) H.Rob.													
	<i>Lepidaploa rufogrisea</i> (A.St.-Hil.) H.Rob.													
Boraginaceae	<i>Varronia curassavica</i> Jacq.													
Bromeliaceae	<i>Aechmea blanchetiana</i> (Baker) L.B.Sm.													
	<i>Bromelia antiacantha</i> Bertol.													
	<i>Pseudananas sagenarius</i> (Arruda) Camargo													
	<i>Vriesea procera</i> (Mart. ex Schult. e Schult.f.) Wittm.													
Burseraceae	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand													
Cactaceae	<i>Brasiliopuntia brasiliensis</i> (Willd.) A.Berger													
	<i>Cereus fernambucensis</i> Lem.													
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera albopunctata</i> Saddi													
Capparaceae	<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J.Presl													
Chrysobalanaceae	<i>Chrysobalanus icaco</i> L.													
Clusiaceae	<i>Clusia hilariana</i> Schlttdl.													
	<i>Garcinia brasiliensis</i> Mart.													
Commelinaceae	<i>Commelina erecta</i> L.													
	<i>Dichorisandra procera</i> Mart. ex Schult. f.													
Convolvulaceae	<i>Ipomoea imperati</i> (Vahl) Griseb.													
	<i>Ipomoea pes-caprae</i> (L.) R.Br.													
Cyperaceae	<i>Cyperus rotundus</i> L.													
	<i>Remirea maritima</i> Aubl.													
Dilleniaceae	<i>Davilla flexuosa</i> A.St.-Hil.													
Euphorbiaceae	<i>Astraea lobata</i> (L.) Klotzsch													
	<i>Cnidoscolus urens</i> (L.) Arthur													
	<i>Euphorbia bahiensis</i> (Klotzsch e Garcke) Boiss.													
	<i>Microstachys corniculata</i> (Vahl) Griseb.													
	<i>Romanoa tamnoides</i> (A.Juss.) Radcl.-Sm.													
Fabaceae	<i>Abarema barnebyana</i> Iganci e M.P.Morim													

Família	Espécie	Floração						Frutificação						
		Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	
	<i>Abarema brachystachya</i> (DC.) Barneby e J.W.Grimes													
	<i>Abarema filamentosa</i> (Benth.) Pittier													
	<i>Abrus precatorius</i> L.													
	<i>Alysicarpus vaginalis</i> (L.) DC.													
	<i>Andira nitida</i> Mart. ex Benth.													
	<i>Canavalia rosea</i> (Sw.) DC.													
	<i>Centrosema virginianum</i> (L.) Benth.													
	<i>Chamaecrista flexuosa</i> (L.) Greene													
	<i>Chamaecrista ramosa</i> (Vogel) H.S.Irwin e Barneby													
	<i>Chamaecrista rotundifolia</i> (Pers.) Greene var. <i>rotundifolia</i>													
	<i>Dalbergia ecastaphyllum</i> (L.) Taub.													
	<i>Desmodium barbatum</i> (L.) Benth.													
	<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.													
	<i>Acacia mangium</i> Willd.													
	<i>Sesbania virgata</i> (Cav.) Pers.													
	<i>Sophora tomentosa</i> L.													
	<i>Stylosanthes viscosa</i> (L.) Sw.													
	<i>Swartzia apetala</i> Raddi													
Goodeniaceae	<i>Scaevola plumieri</i> (L.) Vahl													
Loganiaceae	<i>Spigelia anthelmia</i> L.													
Malpighiaceae	<i>Byrsonima sericea</i> DC.													
Malvaceae	<i>Sida acuta</i> Burm.f.													
	<i>Sida cordifolia</i> L.													
	<i>Sida ciliaris</i> L.													
	<i>Sida linifolia</i> Cav.													
	<i>Sida rhombifolia</i> L.													
	<i>Pavonia cancellata</i> (L.) Cav.													
Marantaceae	<i>Waltheria indica</i> L.													
Marantaceae	<i>Maranta divaricata</i> Roscoe													
Menispermaceae	<i>Odontocarya vitis</i> (Vell.) J.M.A.Braga													
Molluginaceae	<i>Mollugo verticillata</i> L.													
Myrtaceae	<i>Eugenia astringens</i> Cambess.													
	<i>Eugenia puniceifolia</i> (Kunth) DC.													
	<i>Eugenia uniflora</i> L.													
	<i>Myrciaria floribunda</i> (H.West ex Willd.) O.Berg													
	<i>Myrciaria glazioviana</i> (Kiaersk.) G.M.Barroso ex Sobral													
	<i>Psidium brownianum</i> Mart. ex DC.													
	<i>Posoqueria latifolia</i> (Rudge) Schult.													
Nyctaginaceae	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz													
	<i>Guapira pernambucensis</i> (Casar.) Lundell													
Orchidaceae	<i>Cyrtopodium holstii</i> L.C.Menezes													
	<i>Epidendrum denticulatum</i> Barb.Rodr.													
	<i>Vanilla bahiana</i> Hoehne													
Ochnaceae	<i>Ouratea cuspidata</i> (A.St.-Hil.) Engl.													
Passifloraceae	<i>Passiflora alata</i> Curtis													
	<i>Passiflora silvestris</i> Vell.													
Peraceae	<i>Pera glabrata</i> (Schott) Baill.													
Poaceae	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd.													
	<i>Panicum racemosum</i> (P. Beauv.) Spreng.													
	<i>Stenotaphrum secundatum</i> (Walter) Kuntze													
Polygalaceae	<i>Polygala cyparissias</i> A.St.-Hil. e Moq.													

Família	Espécie	Floração						Frutificação						
		Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	
Polygonaceae	<i>Coccoloba alnifolia</i> Casar.													
	<i>Coccoloba arborescens</i> (Vell.) R.A.Howard													
Portulacaceae	<i>Portulaca mucronata</i> Link													
Primulaceae	<i>Jacquinia armillaris</i> Jacq.													
	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze													
	<i>Myrsine parvifolia</i> A.DC.													
Rubiaceae	<i>Mitracarpus hirtus</i> (L.) DC.													
	<i>Palicourea blanchetiana</i> Schtdl.													
	<i>Tocoyena bullata</i> (Vell.) Mart.													
Sapindaceae	<i>Cupania emarginata</i> Cambess.													
	<i>Cupania scrobiculata</i> Rich.													
	<i>Paullinia weinmanniifolia</i> Mart.													
Sapotaceae	<i>Manilkara subsericea</i> (Mart.) Dubard													
Smilacaceae	<i>Smilax elastica</i> Griseb.													
	<i>Smilax rufescens</i> Griseb.													
Solanaceae	<i>Solanum asterophorum</i> Mart.													
Turneraceae	<i>Turnera subulata</i> Sm.													
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.													
Violaceae	<i>Pombalia calceolaria</i> (L.) Paula-Souza													

Fonte: Autoria própria.

2.4.2 Capacidade de recuperação da vegetação

Um dos objetivos deste trabalho é a proposta de analisar os efeitos dos rejeitos, ainda contidos no solo, na sobrevivência da vegetação jovem. Para isto foram realizadas coleta do banco de sementes, germinação e estabelecimento de plântulas de algumas espécies e coleta de amostras do solo e raízes das espécies que estão sob análises ecofisiológicas. As amostras de solo das diferentes formações foram coletadas na campanha 3, durante a estação chuvosa. A mesma amostragem será repetida na estação seca.

O número de sementes coletadas e porcentagem de sementes germinadas em cada estação amostral são apresentados na Figura 8. No total foram coletadas 5.716 sementes, das quais apenas 207 germinaram, o que representa 3,6% de germinação. Destaca-se que na estação 5 não foram encontradas sementes no substrato coletado.

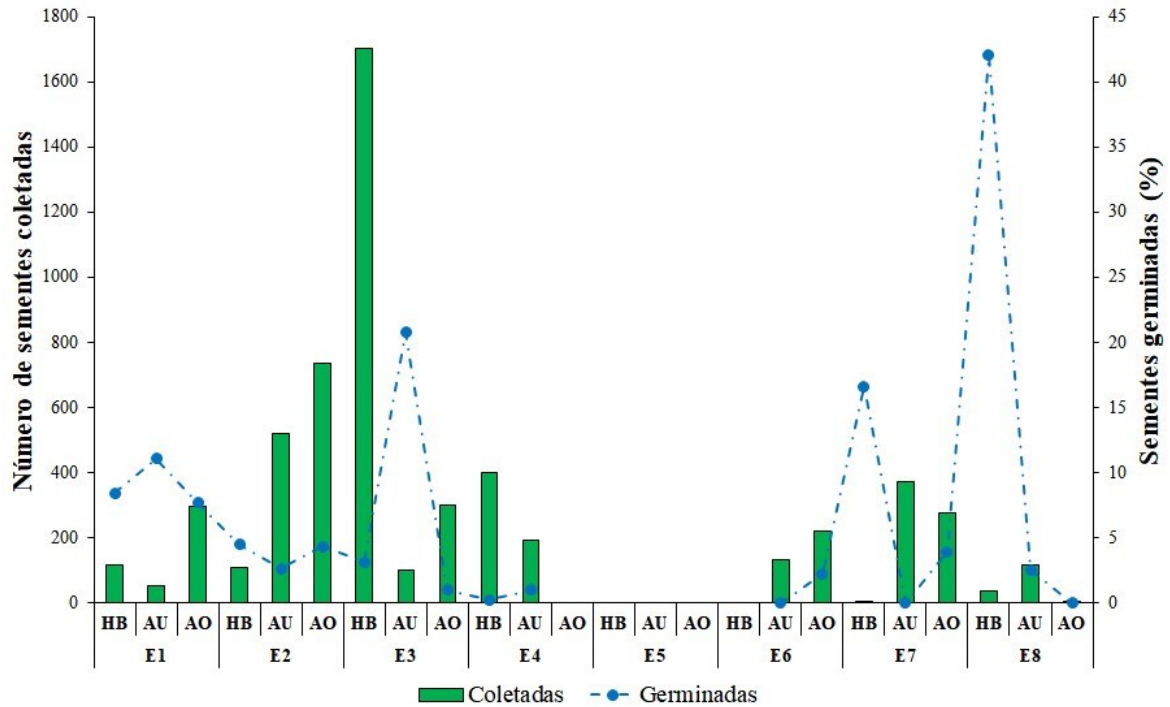
As estações E1 e E8 foram as que apresentam maiores porcentagens de germinação, 8,2 e 11,7%, respectivamente.

O número de sementes coletadas apresenta-se dentro do esperado para uma área de restinga, onde os fatores ambientais e sazonais tendem a modular os padrões reprodutivos das espécies vegetais em face às necessidades hídricas comuns a esse ambiente. Entretanto, a taxa de germinação observada, de apenas 3,6%, foi muito baixa.

O ecossistema recoberto pela vegetação de restinga é de frágil equilíbrio, onde a biota atua como controladora dos principais ciclos de nutrientes, além das características edáficas, intra e interespecíficas, podendo-se considerar este ecossistema de difícil regeneração (REIS-DUARTE; CASAGRANDE 2006). Dessa forma, em ecossistemas tão susceptíveis diante da baixa resiliência,

como ocorre nas restingas, impactos antrópicos, como a contaminação do solo, podem interferir com a viabilidade das sementes, promovendo uma redução da sua capacidade de germinação.

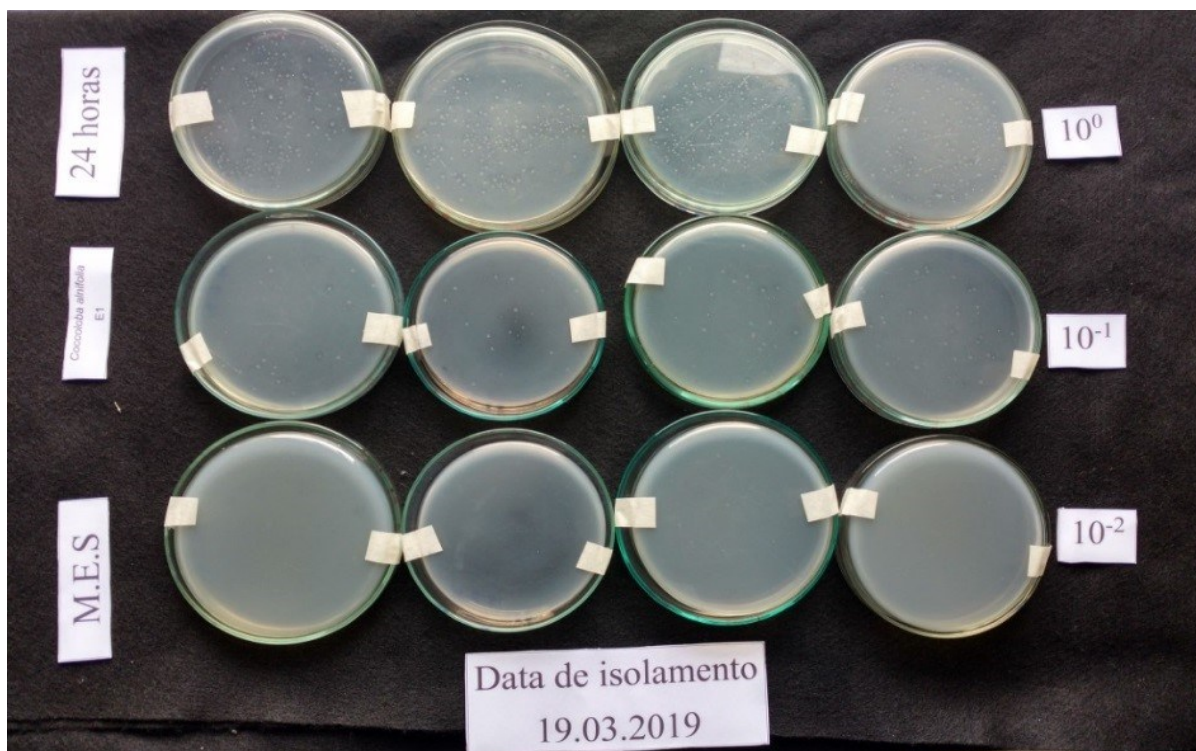
Figura 8: Número de sementes coletadas durante o período chuvoso e porcentagem de germinação nas três fitofisionomias da Restinga, nas oito estações amostrais do Anexo 5 - Restinga (PMBA).



Fonte: Autoria própria.

Amostras de solos sob cinco espécies vegetais (*Coccoloba alnifolia*, *Guapira pernambucensis*, *Myrcine parvifolia*, *Allagoptera arenaria* e *Canavalia rosea*) tiveram Unidades Formadoras de Colônias (UFC) de bactérias isoladas (Figura 9). Tais amostras estão sendo avaliadas quali e quantitativamente para produção de compostos quelantes de ferro (sideróforos), sugerindo um potencial de bioacumulação e tolerância a metais pesados.

Figura 9: Placas contendo meio Extrato de Solo (MES) para cultivo bacteriano provenientes de amostras de solo coletadas na Estação 1 do PMBA sob *Coccoloba alnifolia* em diferentes diluições seriadas (10:1) após 24 horas de incubação a 28°C.



Fonte: Autoria própria.

Os dados obtidos apontam para uma população bacteriana surpreendentemente elevada. Pretende-se aumentar a eficiência (percentual e velocidade) da recuperação da área atingida pelos rejeitos, introduzindo bactérias junto às mudas que serão transplantadas, possibilitando o aumento da bioacumulação (no caso do uso de plantas bioacumuladoras) e a tolerância/resistência a metais pesados. Estas bactérias poderão ser introduzidas pelo tratamento de sementes e/ou irrigação das mudas (MARQUES et al., 2013).

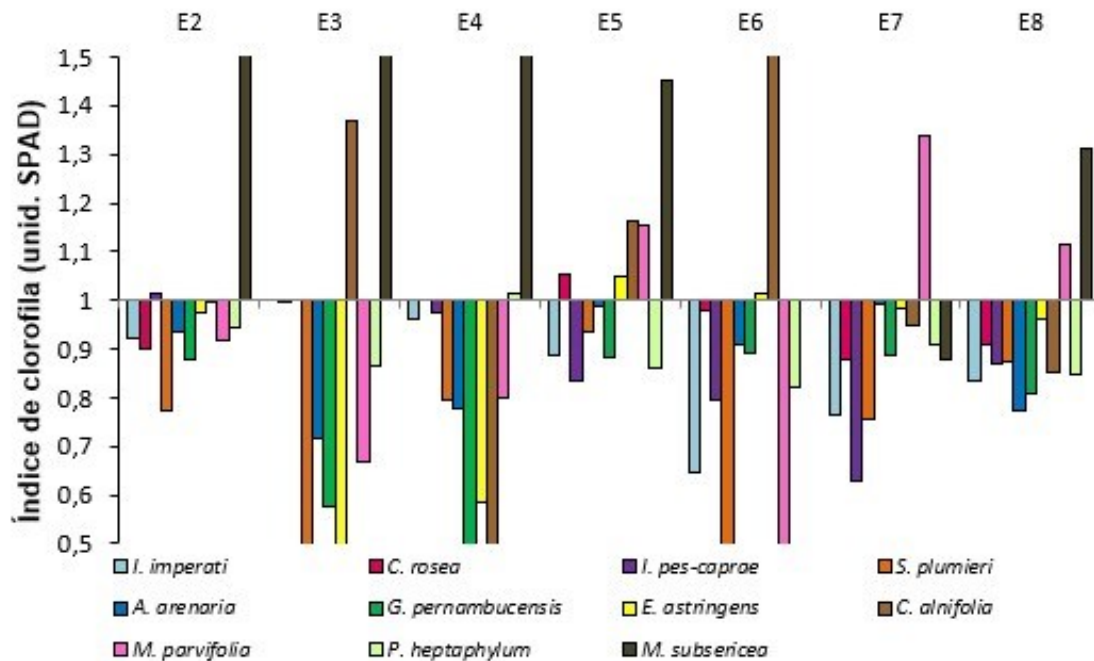
2.4.3 Índice de Clorofila

Houve considerável variação nos índices de clorofila tanto entre os meses analisados quanto entre as estações. Tomando a Estação 1 como referência (igual a unidade) observa-se que a maioria das espécies analisadas apresentaram valores menores, em todas as outras estações. Exceção para *Manilkara subsericea* (Mart.) Dubard em E2, E3, E4, E5 e E8 e *Coccoloba alnifolia* Casar. em E3 e E6 e *Myrsine parvifolia* A.DC. em E5, E7 e E8 com maiores índices (Figura 10).

Os índices de clorofila das espécies nas três fisionomias foram considerados um indicador das condições de estresses provocado pelos elementos traços contidos no solo, ou vindos do spray marinho. Segundo Hendry e Price (1993), a redução no teor de clorofila pode estar relacionada a estresse ambiental, sendo um parâmetro importante para identificar possíveis alterações nas plantas, visto seu papel no aparato fotossintético. Diversos autores sugerem os pigmentos fotossintéticos (clorofilas e carotenóides) como indicadores de estresse e Manios (2003) observou redução de teores

de clorofila em plantas de *Typha latifolia* expostas a altas concentrações de metais pesados presentes no lodo de esgoto, devido a aumento na hidrólise das moléculas destes pigmentos.

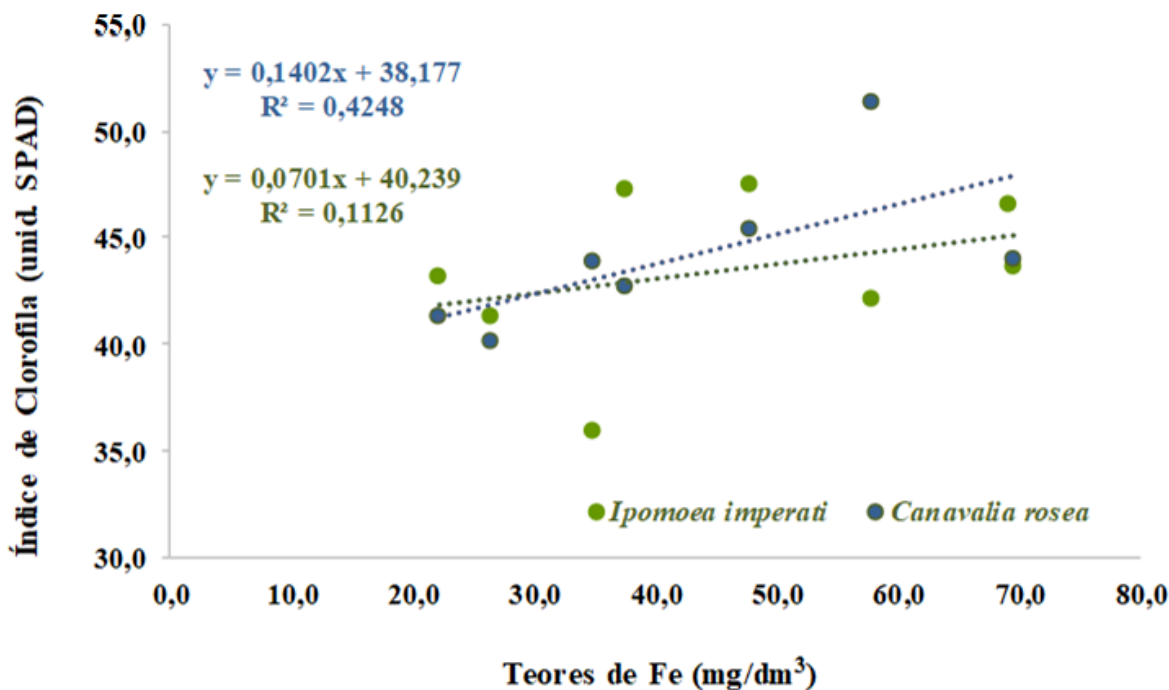
Figura 10: Índices de clorofila obtidos em folhas totalmente expandidas de onze espécies das fisionomias herbácea, arbustiva e arbórea, avaliadas em janeiro/2019, nas oito estações amostrais.



Fonte: Autoria própria.

Quando se ajusta os valores médios dos índices de clorofila obtidos, com os teores de Ferro encontrados no solo, de cada estação de amostragem, observa-se que apenas as plantas de *Ipomea imperati* ajustaram bem as curvas de resposta aos teores de Ferro (Figura 11), como mostrado pelos coeficientes de determinação ($R^2 \geq 42,4$).

Figura 11: Índice médio de clorofila obtido em folhas totalmente expandidas, obtidos durante a estação chuvosa, em duas espécies da fisionomia herbácea em relação aos teores de Ferro do solo nas oito estações de amostragem (n= 20).



Fonte: Autoria própria.

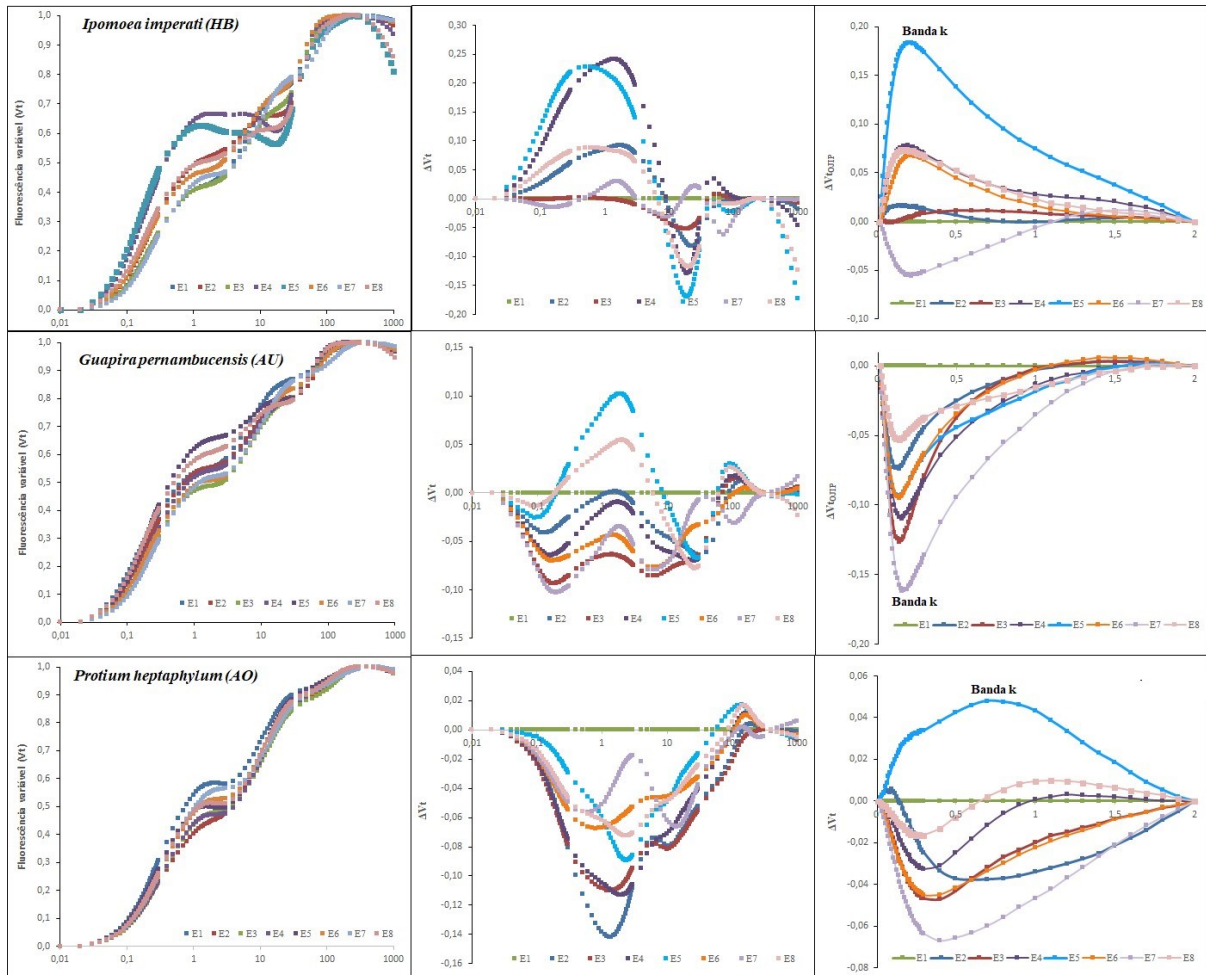
Amostras das mesmas folhas onde foram coletados os dados do índice de clorofila, fluorescência da clorofila a e trocas gasosas foram armazenadas em N₂ líquido, transportadas para o laboratório do Núcleo de Estudos da Fotossíntese e armazenadas -80°C para análises posteriores.

2.4.4 Fluorescência da Clorofila a

Inúmeras pesquisas demonstraram a capacidade da fluorescência transiente da clorofila a para detectar alterações na etapa fotoquímica da fotossíntese decorrentes de fatores de estresse provocados por metais pesados (LI e ZHANG, 2015; SALDUCCI et al., 2019).

A Figura 12 evidencia a variabilidade deste indicador e demonstra o pouco conhecimento de pesquisadores com espécies nativas constantemente submetidas a vários fatores abióticos. Observa-se que a cinética da fluorescência transiente OJIP da clorofila a de três espécies da restinga mostram a curva OJIP com consideráveis diferenças (ΔV_t). Esta curva, também identificada como curva da fluorescência variável [$V_t = (F_t - F_0) / (F_M - F_0)$], é o detalhamento das reações da cadeia transportadora de elétrons.

Figura 12: Curvas da cinética da fluorescência da clorofila a mostrando a fluorescência variável (V_t), a diferença da fluorescência variável (ΔV_t) e a Banda K (detectada aos 300 ms) de plantas da vegetação herbácea (*Ipomoea imperati*), vegetação arbustiva – AU (*Guapira pernambucensis*) e da vegetação arbórea – AO (*Protium heptaphilum*) nas oito estações de amostragem. (n= 20).



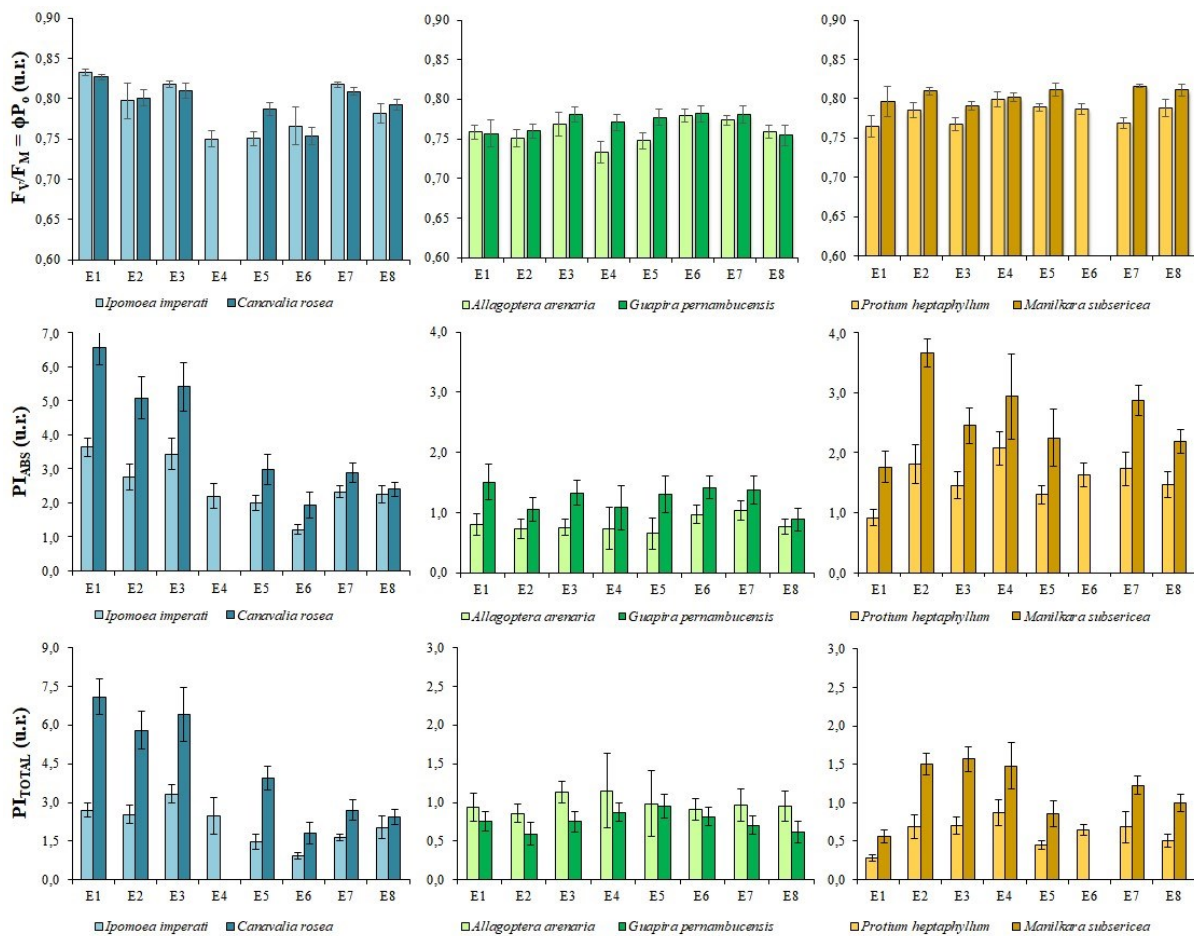
Fonte: Autoria própria.

Na figura são apresentadas a fluorescência variável (V_t) de *Ipomoea imperati* (espécie da vegetação herbácea - HB), *Guapira pernambucensis* (espécie da vegetação arbustiva – AU) e *Protium heptaphilum* (espécie da vegetação arbórea – AO). A diferença da fluorescência variável (ΔV_t) nas três fisionomias evidencia maior inibição no transporte de elétrons na etapa fotoquímica da fotossíntese nas plantas herbáceas, ainda uma inibição menor nas plantas arbustivas e nas arbóreas pouca ou nenhuma inibição. Porém, o aparecimento de uma Banda K positiva (curva que aparece aos 300 μ s), em *Ipomoea imperati* (HB) e *Protium heptaphilum* (AO) indica que naquele momento estava ocorrendo inativação dos complexos de evolução de oxigênio. Estes resultados foram realizados durante o período chuvoso e com altas temperaturas. A continuidade das análises poderá validar estes indicadores.

O teste JIP, que é um procedimento matemático complexo, foi desenvolvido no laboratório de Bioenergética de Genebra (TSIMILLI-MICHAEL; STRASSER, 2008) e hoje é usado em todo o mundo, tanto em plantas nativas *in situ* como *ex situ*, como uma ferramenta para rastrear a vitalidade das plantas em qualquer biótopo.

Três parâmetros do Teste JIP, muito usados como indicadores pelos pesquisadores da área de fotossíntese e estresses abióticos (STRASSER, 1997, STRASSER et al., 2010, SANTOS et al., 2019) foram usados neste trabalho - Rendimento quântico máximo do Fotossistema II ($F_V/F_M = \phi P_0$), Eficiência de oxido-redução do Fotossistema II ($P_{I_{ABS}}$) e o índice de desempenho total da cadeia de transporte de elétrons ($P_{I_{TOTAL}}$) (Figura 13).

Figura 13: Rendimento quântico máximo potencial do fotossistema II ($F_V/F_M = \phi P_0$), Eficiência de oxido-redução do Fotossistema II ($P_{I_{ABS}}$) e o índice de desempenho total da cadeia de transporte de elétrons ($P_{I_{TOTAL}}$) obtidos de amostras de seis espécies da fisionomia herbácea, arbustiva e arbórea em oito estações amostrais da Restinga do PMBA. (n=20)



Fonte: Autoria própria.

Os resultados apontam para prováveis indicadores dos estresses provocado pela deposição de rejeitos encontrados no solo ou provindo do spray marinho das oito estações amostradas.

Houve uma grande variabilidade no índice de desempenho do Fotossistema II entre as três fisionomias e nota-se que essa variabilidade também ocorre entre as estações. Nas espécies herbáceas esse comportamento é mais claro apresentando uma tendência de redução nas estações mais próximas da Foz do Rio Doce.

2.4.5 Trocas gasosas

O processo fotossintético pode ser governado por diferentes resistências que limitam a transferência do CO₂, desde a atmosfera até os sítios de carboxilação (ARAÚJO et al., 2008), somados a capacidade da maquinaria fotossintética em converter a energia luminosa em energia bioquímica utilizada na fixação de CO₂ em açúcares (FLEXAS et al., 2012).

A fim de determinar possíveis alterações na assimilação fotossintética, os parâmetros de trocas gasosas foram obtidos utilizando-se um analisador portátil de gás a infravermelho (IRGA, modelo LCPro T System, ADC BioScientific Ltd., England) em folhas jovens completamente expandidas na parte da manhã sob radiação fotossinteticamente ativa artificial saturante ($1.300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), e em concentração de CO₂ ambiente (Figura 14).

Figura 14: Medições de trocas gasosas em espécies vegetais da Restinga: A – herbácea de praia: *Canavalia rosea* e *Ipomoea imperati*; B – arbustiva não inundável: *Allagoptera arenaria*.



Fonte: Autoria própria.

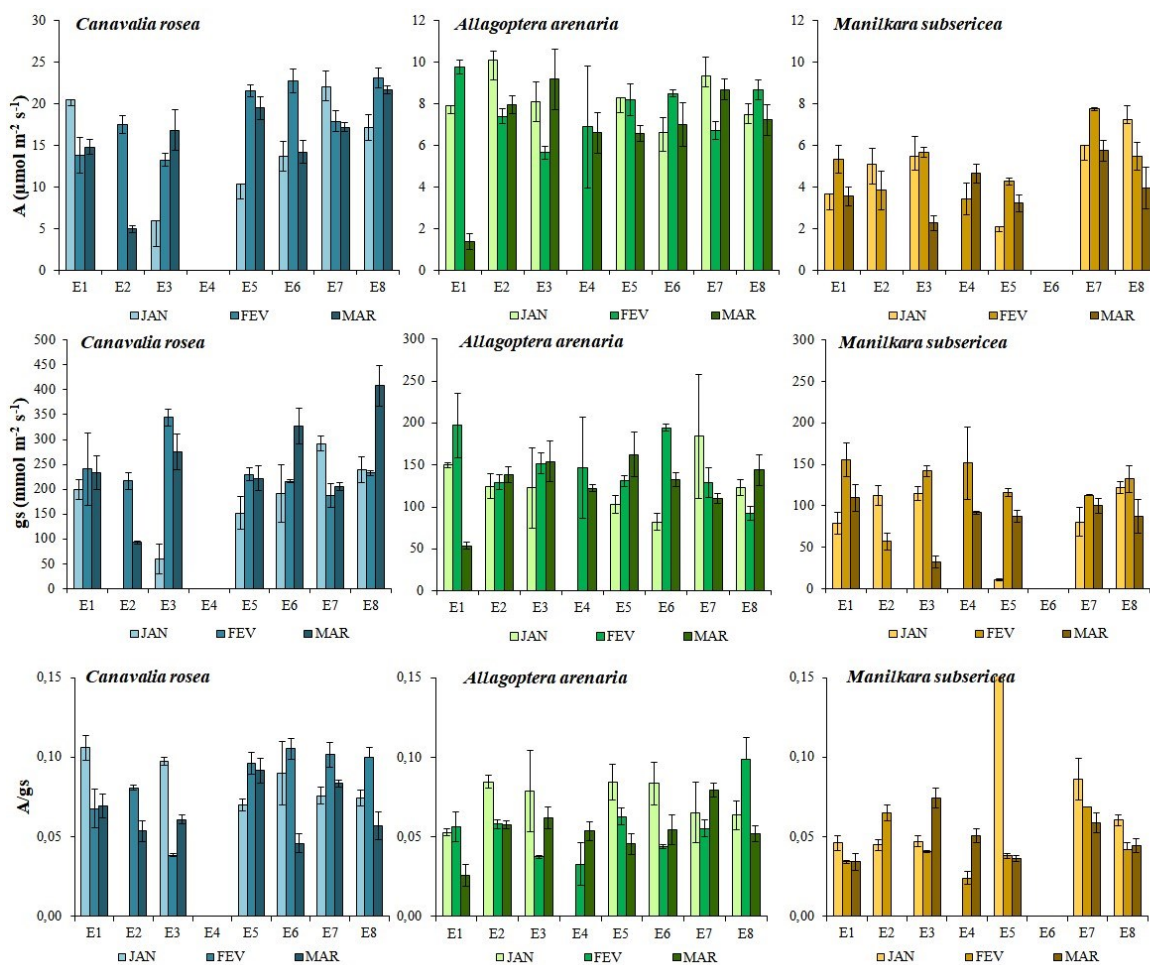
Embora apresentem diferentes comportamentos ao longo das oito estações amostrais entre os meses, as espécies analisadas apresentaram tendência a aumento nos parâmetros de trocas gasosas nas estações mais próximas à Foz do Rio Doce (E7 e E8), comportamento observado principalmente nas plantas das formações herbácea e arbórea.

Entretanto, uma alta variação entre os meses analisados pode ser observada (Figura 15) na taxa fotossintética líquida do carbono (A), condutância estomática (gs) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) em três espécies: *Canavalia rosea* (formação herbácea), *Allagoptera arenaria* (formação arbustiva) e *Manilkara subsericea* (formação arbórea).

Canavalia rosea apresentou maior capacidade fotossintética, alcançando suas maiores taxas ($23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no mês de fevereiro. Nesta espécie, reduções em A superiores a 70% foram observadas na Estação 2 em março, acompanhadas de reduções concomitantes em g_s. Tais decréscimos podem sugerir que em *C. rosea* as limitações estomáticas influenciam fortemente o processo fotossintético.

Dentre as principais limitações fotossintéticas, o papel da condutância estomática é amplamente reconhecido por restringir o influxo de CO₂, e conseqüentemente, a assimilação de carbono (CHAVES et al., 2002; BRODRIBB e JORDAN, 2008), principalmente sob condições estressantes como déficit hídrico (CHAVES et al., 2002; CHAVES; OLIVEIRA, 2004; XU et al., 2009; RIOS, 2017), salinidade (CHAVES et al., 2009) e contaminação por elementos traços (PUGH et al. 2002; BROADLEY et al. 2012; ARAÚJO, 2016; RIOS, 2017).

Figura 15: Taxa fotossintética líquida do carbono (A), condutância estomática (g_s) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) em espécies presentes em três fitofisionomia da Restinga: *Canavalia rosea* – Herbácea, *Allagoptera arenaria* – Arbustiva e *Manilkara subsericea* – Arbórea, em oito estações amostrais afetadas pela pluma de mineração ao longo da região costeira do ES. (n=9).

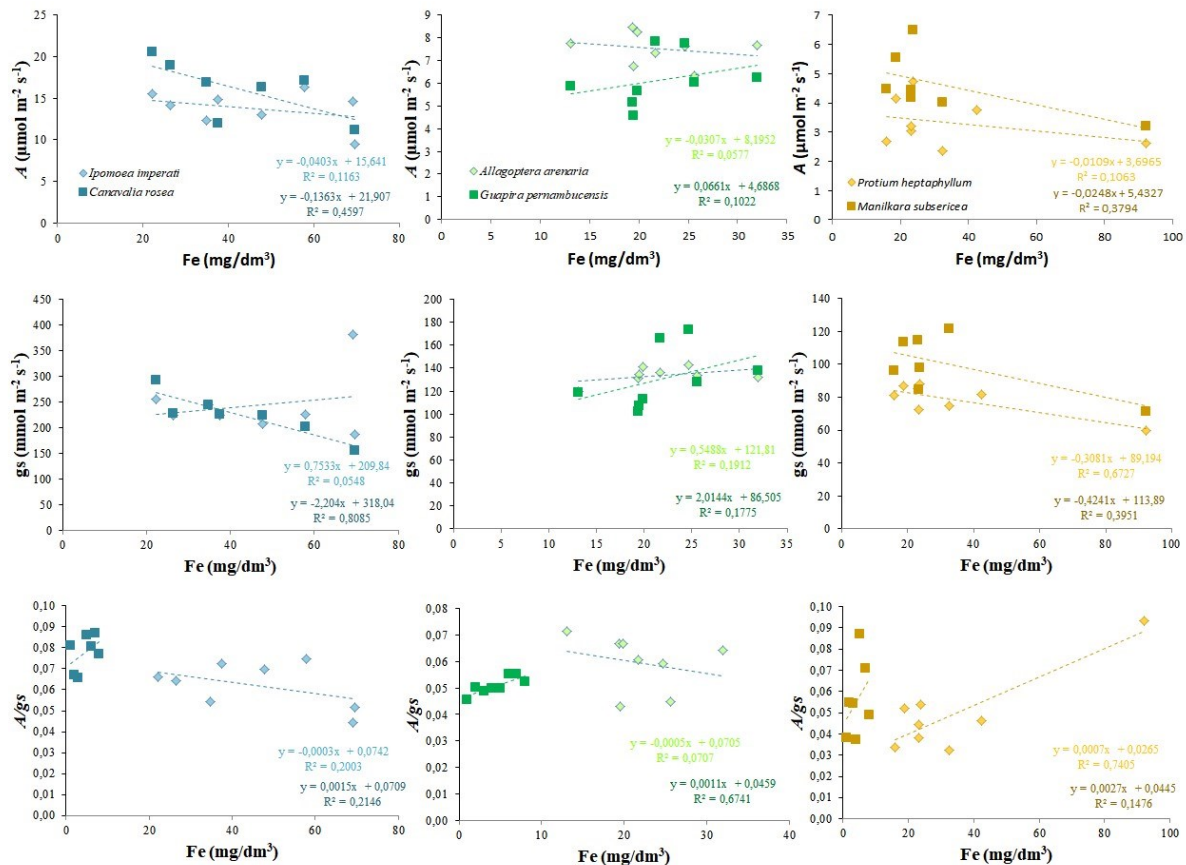


Fonte: Autoria própria.

Por outro lado, uma clara tendência de aumento das taxas fotossintéticas líquidas ao longo das estações amostrais pode ser observada nas plantas analisadas na formação arbórea, em que tanto plantas de *P. heptaphyllum* quanto de *M. subsericea* apresentaram maiores taxas na Estação 7, estação localizada mais próximo ao Rio Doce.

A relação funcional entre os valores médios das variáveis de trocas gasosas das espécies selecionadas e os teores de elementos disponíveis no solo mostra que a variabilidade dessas variáveis fotossintéticas é determinada mais fortemente pelos teores de Fe disponíveis no solo (Figura 16).

Figura 16: Relação entre os valores médios dos parâmetros de trocas gasosas das espécies das três formações vegetais e os teores de ferro disponíveis no solo nas oito estações de amostragem: taxa fotossintética líquida do carbono (A) e condutância estomática (g_s) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s). (n= 9)



Fonte: Autoria própria.

Dentre as espécies herbáceas, 80% da condutância estomática em *Canavalia rosea* pode ser explicada pelos teores de Fe ($R^2 = 0,808$). Na espécie arbustiva *Guapira pernambucensis*, 67% da eficiência do uso da água pode ser explicado por esta variável ($R^2 = 0,674$).

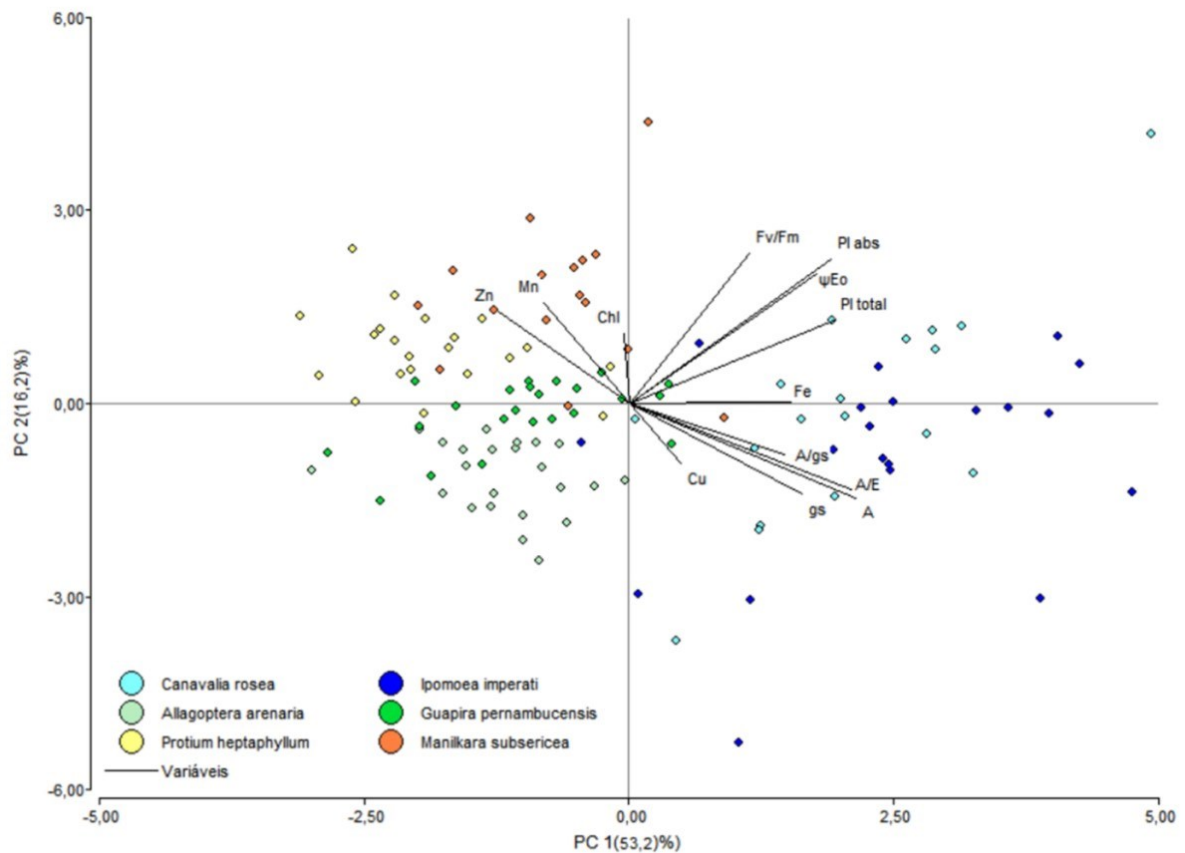
Por outro lado, nas espécies arbóreas embora a resposta das trocas gasosas tenha mostrado ajuste as variações de Ferro, principalmente para *Protium heptaphyllum*, os elementos manganês e cobre também determinam as variações dessas variáveis ($R^2 \geq 0,6$ para g_s e A/g_s).

2.4.6 Relação entre os parâmetros obtidos

A fim de determinar possíveis indicadores ao impacto integrado entre elementos presentes no solo nas variáveis fotossintéticas das espécies analisadas foi utilizado a Análise de Componentes Principais (PCA). A partir desses dados, foi possível constatar que Fe, Mn, Cu e Zn são responsáveis por explicar mais de 50% da variação total dos dados.

A PCA mostra que os elementos Mn, Zn e índices de clorofila (Chl) estão correlacionados positivamente entre si (Figura 17), enquanto estão negativamente correlacionados com os demais, principalmente com as variáveis de trocas gasosas (A, g_s , A/g_s e A/E) e Cu.

Figura 17: Mapa percentual da relação entre teores de elementos no solo e parâmetros ecofisiológicos pela Análise de Componentes Principais (Principal Component Analysis - PCA) em seis espécies de Restinga. Ferro (Fe); manganês (Mn); cobre (Cu); zinco (Zn); índice de clorofila (Chl); rendimento quântico máximo potencial do FSII (F_v/F_m); índice de desempenho fotoquímico do FSII (P_{labs}); índice de desempenho total da cadeia de transporte de elétrons (PI_{TOTAL}); taxa fotossintética líquida do carbono (A); condutância estômática (g_s); eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s); eficiência instantânea do uso da água (A/E).



Fonte: Autoria própria.

A Análise de Componentes Principais também permite visualizar agrupamento entre as fitofisionomias, sendo observada uma clara distinção entre as espécies herbáceas (*Canavalia rosea* e *Ipomoea imperati*) das demais. Nestas espécies, o Fe correlaciona-se positivamente aos parâmetros de fluorescência da clorofila a (F_v/F_m , ψE_0 , P_{labs} , PI_{TOTAL}) e trocas gasosas, sendo observadas maiores correlações com PI_{TOTAL} e A/g_s . Os valores dos coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis encontram-se na (Tabela 5).

Na Restinga, as plantas se utilizam de uma gama variada de mecanismos adaptativos que as possibilita habitar os diferentes ambientes influenciados por fatores abióticos em gradiente (MELO JÚNIOR; BOEGER, 2016) e, para isso, exibem respostas plásticas funcionais (BÄCHTOLD; MELO JÚNIOR 2015; AMORIN; MELO JÚNIOR, 2017).

No entanto, espécies adaptadas a determinado fator abiótico podem ser mal adaptados a outros fatores, em que respostas muito plásticas às condições momentâneas, especialmente desfavoráveis, podem produzir um fenótipo “desequilibrado” (mal-adaptado) ou oneroso para se manter quando houver alterações rápidas das condições do ambiente (TREWAVAS, 2005; CAVATTE, 2011), principalmente quando considerados ambientes heterogêneos. Dessa forma, espécies bem adaptadas às condições abióticas limitantes, como as presente no ecossistema Restinga, podem ser suscetíveis a estresses adicionais, e poderia explicar a ausência de determinadas espécies nas parcelas amostrais de estações coletadas, como observados para algumas espécies herbáceas.

Tabela 5: Coeficiente de Correlação de Pearson entre teores de elementos no solo e valores médios de parâmetros fotossintéticos em plantas da Restinga, do Anexo 5 do PMBA. ns P > 0,05, *P < 0,05, ** P < 0,01 e ***P < 0,001.

	Mn	Cu	Zn	Chl	Fv/F _M	ψE ₀	PI _{abs}	PI _{total}	A	g _s	A/g _s	A/E
Fe	-0,04 ^{ns}	0,22 ^{***}	-0,37 ^{***}	-0,06 ^{ns}	0,2 ^{***}	0,34 ^{***}	0,56 ^{***}	0,35 ^{***}	0,36 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,51 ^{***}	0,23 [*]
Mn		0,06 ^{ns}	0,52 ^{***}	-0,11 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,34 [*]	-0,33 [*]	-0,01 ^{***}	-0,25 [*]
Cu			0,16 [*]	-0,12 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,22 [*]	0,19 [*]	0,33 ^{***}	0,22 [*]
Zn				0,08 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,18 [*]	-0,19 ^{**}	-0,30 ^{***}	-0,42 ^{ns}	-0,40 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,35 ^{ns}
Chl					0,14 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,00 ^{ns}	-0,24 ^{**}	-0,14 ^{ns}
Fv/F_M						0,60 ^{***}	0,56 ^{***}	0,35 ^{***}	0,15 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,15 ^{ns}
ψE₀							0,81 ^{***}	0,66 ^{***}	0,38 ^{***}	0,30 ^{***}	0,18 [*]	0,33 ^{***}
PI_{abs}								0,92 ^{***}	0,35 ^{***}	0,20 [*]	0,28 ^{***}	0,35 ^{***}
PI_{total}									0,43 ^{***}	0,26 ^{***}	0,33 ^{***}	0,43 ^{***}
A										0,80 ^{***}	0,42 ^{***}	0,88 ^{***}
g_s											0,81 ^{***}	0,52 ^{***}
A/g_s												0,70 ^{***}

Fonte: Autoria própria.

Em ambientes contaminados, algumas plantas possuem a capacidade de aclimatar-se às condições adversas, por meio de estratégias de resistência à elevada concentração de metais no substrato. Pereira (2009) avaliou em um período de um ano plantas de *Clusia spiritu-sanctensis* e *Aspidosperma parvifolium* próximas a uma usina de beneficiamento de minério de ferro, e constataram que o teor de Fe (ferro) e S (enxofre) nos tecidos foliares dessas espécies foram maiores que espécies em ambiente referência, provocando a redução a taxa fotossintética, condutância estomática, rendimento quântico efetivo do fotossistema II, quenching fotoquímico e taxa aparente de transporte de elétrons.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As avaliações fitossociológicas apresentaram uma estrutura de vegetação, para cada formação vegetal, semelhante ao descrito em trabalhos anteriores. Possíveis discordâncias atuais na composição florística podem ser explicadas por fatores naturais, como distribuição longitudinal de espécies, baixa densidade e frequência de populações, ciclo de vida e diferentes metodologias para as Restingas brasileiras. Entretanto, a continuidade do monitoramento permitiria a detecção de modificações futuras da estrutura da vegetação em consequência do impacto resultado da contaminação pelo rejeito de mineração liberado no rompimento da barragem de Fundão. Possíveis indícios do impacto foram observados. Altas concentrações de Ferro e Manganês chamam atenção por estarem acima do encontrado na literatura para os solos de Restinga. Associados a isso, as análises ecofisiológicas mostram uma clara redução dos teores de clorofila nas plantas analisadas, inclusive com sintomas visuais de clorose. As espécies herbáceas apresentam os parâmetros fotossintéticos PI_{TOTAL} e A/g_s fortemente influenciados pelas variações dos teores de Fe, sugerindo estes como potenciais indicadores ecofisiológicos de alterações de disponibilidade ambiental deste elemento. Por outro lado, em plantas arbustivas e arbóreas as variações nas trocas gasosas e índices de clorofila estariam mais fortemente relacionadas aos teores de Mn e Zn. O inventário da flora das espécies vegetais presentes nas oito estações amostrais da Restinga mostrou aumento de novas ocorrências para áreas já coletadas, entretanto, a presença de espécies com floração, mas ausência de frutificação, ausência de espécies em estações amostrais e baixa taxa de germinação de sementes podem ser possíveis indícios do impacto.

Portanto, os resultados obtidos até o momento sugerem perspectivas futuras de direcionamento do monitoramento da Restinga. Dentre eles, ensaios de viabilidade de sementes poderiam elucidar se as baixas taxas de germinação estariam relacionadas ou não a contaminação por substâncias tóxicas provenientes do rejeito. Embora um isolamento inicial de bactérias de amostras de solo tenha sido realizado os dados obtidos apontam para uma população bacteriana surpreendentemente elevada. Estudos quanto à capacidade de colonizar o sistema radicular das espécies das diferentes fitofisionomias, bem como sua capacidade de reduzir o estresse destas plantas quando crescidas em solos contaminados por Fe e outros metais pesados poderiam ser realizados. Adicionalmente, o isolamento da microbiota do solo, possibilitaria o estudo de possíveis linhagens de interesse em plantas bioacumuladoras e subsidiaria sua aplicação em uma fase de recuperação da Restinga por meio de produção de mudas em cultivo protegido. Estas análises associadas a um aprofundamento de análises do metabolismo antioxidante e secundários são algumas perspectivas ecofisiológicas que auxiliariam a determinar padrões de comportamento que não são inerentes da própria espécie e sim a resposta a estresses em decorrência do impacto. Estas análises permitiriam também o conhecimento de espécies com aplicação econômica, favorecendo uma exploração racional, consciente e sustentável da Restinga pela população adjacente, também afetada pelo rejeito da barragem de Fundão.

4 REFERÊNCIAS

- AMORIM, M.W.; MELO JÚNIOR, J.C.F. Plasticidade morfoanatômica foliar de *Tibouchina clavata* (Melastomataceae) ocorrente em duas formações de restinga. *Rodriguésia*, v.68, p.545-555, 2017.
- ARAUJO, D.S.D. Análise florística e fitogeografia das restingas do estado do Rio de Janeiro. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
- ARAUJO, T. O. Mechanisms of tolerance and localization of iron excess in two tropical grass species. Dissertação (Doutorado em Botânica) – Departamento de Botânica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.
- ARAUJO, W.L.; DIAS, P.C.; MORAES, G.A.B.K.; CELIN, E.F.; CUNHA, R.L.; BARROS, R.S.; DAMATTA, F.M. Limitations to photosynthesis in coffee leaves from different canopy positions. *Plant Physiol Biochem.*, v.46, p.894-890, 2008.
- ASSIS, A.M., THOMAZ, L.D. & PEREIRA, O.J. Fitossociologia de uma floresta de restinga no Parque Estadual Paulo César Vinha, Setiba, município de Guarapari (ES). *Revista Brasileira de Botânica*, v.27, n.2, p.349-361. 2004.
- BFG. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. *Rodriguésia*, v.66, n.4, p.1085-1113. 2015.
- BÄCHTOLD, B.A.; MELO JUNIOR, J.C.F. Plasticidade morfológica de *Calophyllum brasiliense* Camb. (Calophyllaceae) em duas formações de restinga no sul do Brasil. *Acta Biológica Catarinense*, v.2, p. 21-32, 2015.
- BROADLEY, M; BROWN, P; ÇAKMAK, I; RENGEL, Z; ZHAO, F. Function of nutrients: Micronutrients. Marschner, P. (Ed). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic Press, San Diego, p. 191-248, 2012.
- BRODRIBB, T.J.; JORDAN, G.J. Internal coordination between hydraulics and stomatal control in leaves. *Plant Cell Environ.*, v.31, p.1557-1564, 2008.
- CAVATTE, P.C. Variações morfofisiológicas na aclimatação e reaclimatação do cafeeiro à disponibilidade de luz e de água. Minas Gerais: UFV. 2011. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, 2011.
- CHAVES MM, PEREIRA JS, MAROCO JP, RODRIGUES ML, RICARDO CPP, OSORIO ML, CARVALHO I, FARIA T, PINHEIRO C. How plants cope with water stress in the field. *Photosynthesis and growth*. *Ann Bot*, v.89, p.907-916, 2002.
- CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.

CHAVES, M.M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanism underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany*, v. 55, p. 2365-2384, 2004.

COLODETTI, M.F. Análise fitossociológica de uma área arbustiva aberta de restinga de Regência no município de Linhares, ES. 2004, 60fl. Monografia (Bacharel em Biologia), Vitória, Faculdade Integrada São Pedro, FAESA, 2004.

CASTELLANI, T.T. e SANTOS, F.A.M. Abundância de ramos reprodutivos e produção de sementes em populações de *Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Br. na Ilha de Santa Catarina, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, n.19, v.2, p. 251-264, 2005.

CASTELLANI, T.T.; CAUS, C.A. e VIEIRA, S. Fenologia de uma comunidade de duna frontal no sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v.13, n.1, p.99-114, 1999.

DUTRA, V.F., GARCIA, F.C.P.; LIMA, H.C. Mimosoideae (Leguminosae) nos campos rupestres do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, v.59, n.3, p.573-585. 2008.

FABRIS, L.C.; CÉSAR, O. Estudos florísticos em uma mata litorânea no sul do Estado do Espírito Santo. *Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão*, v.5, p.15-46. 1996.

FLEXAS J, BARBOUR MM, BRENDEL O, CABRERA HM, CARRIQUÍ M, DÍAZ-ESPEJO A, DOUTHE C, DREYER E, FERRIO JP, GAGO J, *ET AL.* Mesophyll diffusion conductance to CO₂: an unappreciated central player in photosynthesis. *Plant Science*, v.193-194, p.70-84, 2012.

FLORA DO BRASIL 2020, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/PrincipalUC/PrincipalUC.do#CondicaoTaxonCP>>

HENDRY, G. A. F.; PRICE, A. H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. *In*: HENDRY, G.A.F; GRIME, J.P. *Methods in comparative plant ecology: A laboratory manual*, 1993.

INCT, Herbário Virtual da Flora e dos Fungos. FAPESP, GBIF, JRS Foundation, MCTI, CNPq, FINEP, RNP e CRIA. Disponível em: <<http://smlink.cria.org.br/>>.

IUCN. IUCN red list categories and criteria version 3.1. Ed. 2. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN. 2012.

KUSTER, V.C. Anatomia e aspectos ecológicos de espécies vegetais ocorrentes na restinga do Parque Estadual Paulo César Vinha (ES). Viçosa: UFV, 2010. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

LANI, J.L. Atlas dos ecossistemas do Espírito Santo. Viçosa: Sema, 504p. 2008.

LI, X.; ZHANG, L. Endophytic infection alleviates Pb²⁺ stress effects on photosystem II functioning of *Oryza sativa* leaves. *Journal of Hazardous Materials*, v. 295, p. 79–85, 2015.

- LOURENÇO JUNIOR, J.; CUZZUOL, G. R. F. Caracterização de solos de duas formações de restinga e sua influência na constituição química foliar de *Passiflora mucronata* Lam. (Passifloraceae) e *Canavalia rosea* (Sw.) DC. (Fabaceae). Acta Bot. Bras. v.23, n.1, p.239-246, 2009.
- MANIOS, T.; STENTIFORD, E.I.; MILLNER, P. Removal of heavy metals from a metaliferous water solution by *Typha latifolia* plants and sewage sludge compost. Chemosphere, n.53, p.487-494, 2003.
- MARQUES, M. C.; DO NASCIMENTO, C. W. A. Analysis of chlorophyll fluorescence spectra for the monitoring of Cd toxicity in a bio-energy crop (*Jatropha curcas*). Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, v. 127, p. 88–93, 2013.
- MARQUES, T. C. L. L. DE S. E; MOREIRA, F. M. DE S.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, n. 1, p. 121–132, 2000.
- MATIAS, L.Q. E NUNES, E.N. Levantamento florístico da área de Proteção Ambiental de Jericoacoara, Ceará. Acta Botanica Brasílica, v.15, n.1, p.35-43, 2001.
- MELO JUNIOR, J. C. F.; BOEGER, M. R. T. Riqueza, estrutura e interações edáficas em um gradiente de restinga do Parque Estadual do Acaraí, Estado de Santa Catarina, Brasil. Hoehnea, v.42, n.2, p.207-232, 2015.
- MELO JUNIOR, J.C.F.E BOEGER, M.R.T. Riqueza e estrutura de uma comunidade vegetal de dunas na planície costeira de Santa Catarina. Iheringia, Série Botânica, v.73, n.3, p.290-297, 2018.
- NAKAJIMA, J.N.; SEMIR, J. The Asteraceae in the Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais, Brazil. Brazilian Journal of Botany, v.24, n.4, p.471-478. 2001.
- PANOSO, L.A. ET AL. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Espírito Santo. Rio De Janeiro: Embrapa, Boletim Técnico 45. 1978.
- PEREIRA, S. V. Análise fitossociológica nas formações halófila psamófila e praias graminóide com arbustos na restinga da Reserva Biológica De Comboios/ Linhares (ES). 1995, 64f. Monografia (Especialização Ecologia e Recursos Naturais), Vitória, Departamento Ecologia – Universidade Federal Do Espírito Santo, 1995.
- PEREIRA, E. G. Efeitos tóxicos do ferro: alterações fisiológicas e morfológicas em plantas cultivadas e de Restinga. Viçosa: UFV, 2009. 118f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Viçosa, 2009.
- PEREIRA, M.C.A.; CORDEIRO, S.Z.; ARAUJO, D.S.D. Estrutura do estrato herbáceo na formação aberta de *Clusia* do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, RJ, Brasil. Acta Botanica Brasílica. v. 18, n. 3, p. 677-687, 2004.
- PEREIRA, O. J.; ARAUJO, D.S.D. Estrutura da vegetação de entre moitas da formação aberta de Ericaceae no Parque Estadual de Setiba, ES. Oecol. Bras. v.1, p.245-257, 1995.

PEREIRA, O. J.; GOMES, J. M. L. Levantamento florístico das comunidades vegetais de restinga no município de Conceição da Barra-ES. In: Anais do III Simpósio de Ecossistemas da Costa Brasileira. Subsídios a um gerenciamento ambiental. ACIESP: São Paulo, v. 3, p. 67-78 1994.

PEREIRA, O.J. Caracterização fitofisionômica da restinga de Setiba, Guarapari, ES. In: Anais Do II Simpósio de Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira: Estrutura, Função e Manejo. v. 3. ACIESP, Águas de Lindóia. p. 207-219, 1990.

PEREIRA, O.J. Levantamento florístico e fitossociológico de uma área de restinga do Estado de Espírito Santo. Rio de Janeiro: UFRJ, 1990. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas - Botânica) - Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990.

PEREIRA, O.J.; ASSIS, A.M. Florística da restinga de Camburi, Vitória, ES. Acta Botânica Brasileira, v.14, p. 99-111, 2000.

PEREIRA, O.J.; ASSIS, A.M.; SOUZA, R.L.D. Vegetação da restinga de Pontal do Ipiranga, Município de Linhares (ES). In: Anais do IV Simpósio de Ecossistemas Brasileiros. v.3. ACIESP, São Paulo. P.117-128, 1998.

PEREIRA, O. J.; THOMAZ, L. D.; ARAUJO, D. S. D. Fitossociologia da vegetação de ante dunas da restinga de Setiba/Guarapari e em Interlagos, Vila Velha, ES. Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão, v. 1, p. 65-75, 1992.

PUGH, R. E.; DICK, D. G.; FREDEEN, A. L. Heavy metal (Pb, Zn, Cd, Fe and Cu) contents of plant foliage near the Anvil Range lead/zinc mine, Faro, Yukon. Territory. Ecotoxicology and Environmental Safety, v.52, n.3, p. 273-279, 2002.

REIS-DUARTE, R. M.; CASAGRANDE, J. C. A interação solo-planta na recuperação de áreas degradadas. In: Barbosa, L.M. (coord.). Manual para recuperação de áreas degradadas do Estado de São Paulo: Matas Ciliares do Interior Paulista. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006.

REIS-DUARTE, R.M. Estrutura da floresta de restinga do Parque Estadual da Ilha Anchieta (SP): bases para promover o enriquecimento com espécies arbóreas nativas em solos alterados. Rio Claro: UNESP, 2004. 230f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Biologia Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

RIOS, C. O. Respostas fisiológicas de gramíneas ao déficit hídrico visando a revegetação de pilha de estéril. Florestal: UFV, 2017.99f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários) – Universidade Federal de Viçosa, Florestal, 2017.

ROMERO, R.; MARTINS, A.B. Melastomataceae do Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais, Brasil. Revista Brasileira de Botânica, v.25, n.1, p.19-24. 2002.

SALDUCCI, M-D, FOLZER, H., ISSARTEL, J., RABIER, J., MASOTTI, V., PRUDENT, P., AFFRE, L., HARDION, L., TATONI, T., LAFFONT-SCHWOB, I. How can a rare protected plant cope with the metal

and metalloids soil pollution resulting from past industrial activities? Phytometabolites, antioxidant activities and root symbiosis involved in the metal tolerance of *Astragalus tragacantha*. *Chemosphere*, v. 217, p.887-896, 2019.

SANTOS, V. A. H. F., NELSON, B. W., RODRIGUES, J. V. F. C., GARCIA, M. N., CERON, J. V. B., FERREIRA, M. F. Fluorescence parameters among leaf photosynthesis-related traits are the best proxies for CO₂ assimilation in Central Amazon trees. *Brazilian Journal of Botany*, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40415-019-00533-2>>

SILVA, M. M.; MELO JR. J.C. F. Composição florística e estrutural de uma comunidade herbáceo-arbustiva de restinga em Balneário Barra do Sul, Santa Catarina. *R. Bras. Bioci.*, v.14, n.4, p.207-214, 2016.

SIMONELLI M, FRAGA CN. Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção do Espírito Santo. IPEMA, Vitória, Brasil: 144 pp., 2007.

STRASSER, B. J. Donor side capacity of Photosystem II probed by chlorophyll *a* fluorescence transients. *Photosynthesis Research*, v. 52, p.147-155, 1997.

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*. *Biochemistry Biophysica Acta*, v.1797, p.1313-26, 2010.

THOMAZ, L. D. Distribuição e diversidade de espécies na vegetação hálófila-psamófila no litoral do Espírito Santo. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1991.

TREWAVAS, A. Green plants as intelligent organisms. *Trends in Plant Science*, v.10, p.413-419, 2005.

TSIMILLI-MICHAEL, M.; STRASSER, R. In vivo assessment of stress impact on plants' vitality: applications in detecting and evaluating the beneficial role of Mycorrhization on host plants. In: VARMA, A (Ed.). *Mycorrhiza: state of the art, genetics and molecular biology, ecofunction, biotechnology, eco-physiology, structure and systematic*. Uttar Pradesh: Springer, 2008. p. 679-703

VIBRANS, A.C., GASPER, A.L.; MÜLLER, J.J.V. Para que inventariar florestas? Reflexões sobre a finalidade do inventário florístico florestal de Santa Catarina. *Revista de estudos ambientais*, v.14, n.1, p.6-13. 2012.

XU, Z., ZHOU, G., SHIMIZU, H. Are plant growth and photosynthesis limited by predrought following rewatering in grass? *Journal of Experimental Botany*, p. 216, 2009.