

MARCUS VINICIUS LOCATELLI

VEGETAÇÃO, CICLAGEM DE NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO DE
SOLOS ORNITOGÊNICOS DA ILHA DA TRINDADE, E DA ANTÁRTICA

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
graduação em Solos e Nutrição de
Plantas, para obtenção do título de
Doctor Scientiae

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2013

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da
Biblioteca Central da UFV

T

L811v Locatelli, Marcus Vinicius, 1983-
2013 Vegetação, ciclagem de nutrientes e carbono orgânico de solos
 ornitogênicos da Ilha da Trindade, e da Antártica / Marcus Vinicius
 Locatelli. - Viçosa, MG, 2013.
 124f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Carlos Ernesto Goncalves Reynaud Schaefer.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Geomorfologia. 2. Solos - Composição. 3. Solos ornitogênicos.
4. Solos - Ilha da Trindade. 5. Solos - Antártica. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Solos. Programa de Pós-graduação em Solos e
Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.4

MARCUS VINICIUS LOCATELLI

VEGETAÇÃO, CICLAGEM DE NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO DE
SOLOS ORNITOGÊNICOS DA ILHA DA TRINDADE, E DA ANTÁRTICA

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Aprovada:

Carlos Eduardo Pacheco Lima

Fernando Antônio Vieira Rodrigues

Felipe Nogueira Bello Simas
(Coorientador)

Leonardus Vergutz

Carlos Ernesto Gonçalves R. Schaefer
(Orientador)

*Aos meus pais, Marta e João Marcos, e
a minha irmã Mariana, dedico.*

“Quem de manhã compreendeu os ensinamentos da sabedoria, de noite pode morrer contente.” (Confúncio)

AGRADECIMENTOS

Meu muito obrigado,

A minha mãe Marta, ao meu pai João Marcos, e minha irmã Mariana pelo apoio de sempre, tornando possível não só esta etapa, mas absolutamente toda a trajetória até aqui, e aos demais familiares pelo incentivo.

A minha família “adotiva” de Viçosa, os Espeschit, nas pessoas de Cláudio, Maria Márcia, Ana Cristina e Ana Cláudia pelo acolhimento, amizade, companheirismo, almoços, cafés da tarde e uma infinidade de outras coisas.

Aos amigos de infância Guilherme Ribeiro, Ricardo Lima e Wilson Povinha, e suas respectivas esposas, Daniele Gomes, Carla Roberta e Carolina del Bel, pela amizade refletida como apoio, incentivo, descontração e companheirismo.

Aos amigos que conheci na UFV, alguns no meu primeiro mês de graduação outros já no doutorado, mas ambos me fazendo sentir honrados por tê-los fazendo parte da minha vida até hoje, tornando-a mais fácil, agradável e, universalmente mais enriquecedora, e que especialmente vieram incentivando, torcendo e orgulhosos no meu doutorado, são eles Joalex Vialli, Michelle Almeida, Débora Corrêa, Walcrislei Luz, Carlos Lima, Guilherme Correa, Kleberson Souza, Dodora Carvalho, Romeu da Mata, Cenira Fialho, Elton Valente, Diego Rodrigues, Sheila Castro, Adonides Gomes, Simone Bhering, prof. Benedito Vital, Lenise Assis, Adriana Gouveia, Flavia Noronha, Flávia Valadares, Niccolo Clemente, Cleverson Pires, Ludmila Randow, Diogo Spinola, Eugênia Freitas, Paulo Cezar e, especialmente nas etapas finais do doutorado, seja com auxílios nas análises ou hospedagem provisória entre uma viagem e outra, Thais Euclides, Aline Fontes, Sandra Araújo, Raquel Portes, Francesco Valenza, Karoline Delpupo, e Caio e Rafaela Lins.

Ao professor Victor Hugo Alvarez V. pela amizade, incentivo, conversas e conselhos muito racionais acerca dos percalços acadêmicos e da vida.

Às amigas Gertrud e Maria Verônia Edler pela amizade, ajuda, torcida e momentos de descontração.

Aos bons amigos que fiz durante meu tempo na Jari Celulose, e que particularmente também muito incentivaram e torceram no meu doutorado, Marcelo Yoneda, José Jussian, Docicleide Castro, Vinicius Gontijo, Alexandre

Pansini, Gilderlon Soares, Enersson e Vanessa Cruziniani, Daiana Fontes, Mayla Sema, Odilávio Gomes, e especialmente para a minha ex chefe, a gerente em Pesquisa e Desenvolvimento Florestal Kátia Regina Silva, por autorizar minha liberação da empresa por várias datas para regressar a Viçosa com o intuito de resolver as pendências do doutorado.

Ao professor orientador Carlos Schaefer pela oportunidade do doutorado e ensinamentos.

À Luciana Freitas que é uma amiga que ouve, apoia, e dá soluções para qualquer problema.

À Claudinha pela amizade, incentivo e também por ser uma grande facilitadora para se superar os meandros burocráticos da pós-graduação.

Ao Capitão de Fragata, coordenador do PROTRINDADE, Rodrigo Otoch Chaves, por todo apoio necessário no que diz respeito à parte de pesquisa na Ilha da Trindade.

Aos membros da Estação Antártica Polonesa Henryk Arctowski pelo imensurável apoio e hospitalidade.

Às professoras e pesquisadoras Juçara Bordin e Roberta Piuco, pela amizade e pelas conversas técnico-filosóficas sobre algas e aves da Antártica.

Aos membros da banca de qualificação pela disponibilidade e contribuições no trabalho: Débora Corrêa, prof. Felipe Simas, Bruno Mendonça e prof. Elpídio Filho.

Aos membros da banca de defesa de tese prof. Leonardus Vergutz, prof. Felipe Simas, Fernando Rodrigues e Carlos Lima, também pela disponibilidade em participar e pelas boas contribuições ao trabalho.

Ao Programa Antártico Brasileiro.

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

À Universidade Federal de Viçosa.

Ao CNPq.

Marcus V. Locatelli

SUMÁRIO

RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	2
GERAL – VEGETAÇÃO, CICLAGEM DE NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO DE SOLOS ORNITOGÊNICOS DA ILHA DA TRINDADE, E DA ANTÁRTICA.....	1
1. INTRODUÇÃO GERAL	2
2. CONCLUSÃO GERAL	3
3. REFERÊNCIAS CITADAS	4
CAPÍTULO 1 – PRODUTIVIDADE, ACÚMULO, UTILIZAÇÃO E EQUILÍBRIO DA COMPOSIÇÃO MINERAL DE PLANTAS EM ECOSSISTEMAS ORNITOGÊNICOS DA ILHA DA TRINDADE, BRASIL.....	5
RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
2.1. A ÁREA DE ESTUDO	10
2.2. COLETA DE MATERIAIS	10
2.3. PROCESSAMENTO E ANÁLISES DAS AMOSTRAS	14
2.4. ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	15
3. RESULTADOS.....	17
4. DISCUSSÕES.....	26
5. CONCLUSÕES	32
6. REFERÊNCIAS CITADAS	33
CAPÍTULO 2 – PRODUTIVIDADE, ACÚMULO, UTILIZAÇÃO E EQUILÍBRIO DA COMPOSIÇÃO MINERAL DE PLANTAS EM ECOSSISTEMAS ORNITOGÊNICOS DA ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA MARÍTIMA.....	36
RESUMO	37
ABSTRACT	38
1. INTRODUÇÃO	39
2. MATERIAS E MÉTODOS.....	42
2.1. ÁREA DE ESTUDO	42
2.2. COLETA DE MATERIAIS	42
2.3. PROCESSAMENTO E ANÁLISES DAS AMOSTRAS	46
2.4. ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	47
3. RESULTADOS.....	50

4. DISCUSSÕES.....	60
5. CONCLUSÕES.....	70
6. REFERÊNCIAS CITADAS	71
CAPÍTULO 3 – ESTIMATIVAS DE ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO E TERMOANÁLISES DOS SOLOS DA ILHA DA TRINDADE, ATLÂNTICO SUL, BRASIL	74
RESUMO	75
ABSTRACT	76
1. INTRODUÇÃO	77
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	81
2.1. A ÁREA DE ESTUDO.....	81
2.2. BASE DE DADOS UTILIZADA PARA ESTIMATIVAS DO ETOQUE E CONTEÚDO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL.....	82
2.3. ESTIMATIVAS DO ESTOQUE E CONTEÚDO DE CARBONO ORGÂNICO NOS SOLOS	83
2.4. TERMOANÁLISES.....	84
3. RESULTADOS.....	87
3.1. ESTOQUE E CONTEÚDO DE CARBONO ORGÂNICO NOS SOLOS	87
3.2. FRACIONAMENTO DA MOS E TERMOANÁLISES	96
4. DISCUSSÕES.....	100
4.1. ESTOQUE E CONTEÚDO DE CARBONO ORGÂNICO NOS SOLOS	100
4.2. FRACIONAMENTO DA MOS E TERMOANÁLISES	102
5. CONCLUSÕES.....	104
6. REFERÊNCIAS CITADAS	105
ANEXO 1 – Mapa de solos, conteúdo e estoque de carbono orgânico da Ilha da Trindade.....	109
ANEXO 2 – Quadros dos resultados das amostras de solos da Ilha da Trindade ..	110

RESUMO

LOCATELLI, Marcus Vinicius. D. S.c. Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2013. **Vegetação, ciclagem de nutrientes e carbono orgânico de solos ornitogênicos da Ilha da Trindade, e da Antártica.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves R. Schaefer. Co-orientador: Felipe Nogueira Bello Simas.

A Ilha da Trindade e a Antártica possuem litologia vulcânica e solos muito variáveis, e em ambas as localidades ocorrem aves marinhas endêmicas ou migratórias que, com seus dejetos, fertilizam alguns trechos de sua extensão, onde ocorrem espécies vegetais adaptadas a essas condições. Através do estudo das espécies vegetais mais representativas e dos solos, ou substratos, superficiais em diferentes sítios dessas localidades, procurou-se estimar o potencial produtivo de massa de matéria seca da parte aérea por unidade de área dos vegetais dessas áreas, bem como a variação dos teores de minerais acumulados e a eficiência de utilização de nutrientes pelas plantas. Foram estudadas, também, as relações entre as composições minerais das plantas e as características dos solos/substratos associados. Encontrou-se diferenças em produtividade, acúmulo, eficiência de utilização e equilíbrio de minerais entre as espécies estudadas, e entre uma mesma espécie ocorrendo em diferentes sítios amostrados, mesmo em localidades próximas. As espécies de plantas superiores antárticas tendem a acumular mais nutrientes como N e P, e as de Trindade, no entanto, são mais produtivas. Ainda, para a Ilha de Trindade estimou-se o estoque de carbono orgânico (EC) para os solos de toda a ilha, além disso, as amostras de solos coletadas tiveram suas substâncias húmicas fracionadas e foram submetidas a estudos relacionados à degradabilidade dos constituintes com o aumento de temperatura. Solos com atributos ornitogênicos apresentaram as maiores estimativas de EC e, com o aumento de temperatura, muitas amostras de solos perderam mais do que as formas de carbono orgânicas que foram detectadas nas análises.

ABSTRACT

LOCATELLI, Marcus Vinicius. D. S.c. Universidade Federal de Viçosa, september de 2013. **Vegetation, nutrient cycling and organic carbon in ornithogenic soil of the Trindade Island, and the Antarctic.** Adviser: Carlos Ernesto Gonçalves R. Schaefer. Co-adviser: Felipe Nogueira Bello Simas.

The Trindade Island and Antarctica have volcanic soils and very variable lithology, and in both stretches are fertilized with waste of endemic and migratory seabirds that occurs in its territories, where adapted plant species to these conditions occur. The study of vegetation and soil or surface substrates at different sites on the Trindade Island and Antarctic, tried to estimate the potential yield of dry matter of aerial part per unit area of the mentioned species, as well as changes in the levels of accumulated minerals, the efficiency of nutrients utilization by plants, and the most limiting factors for higher yields. Relations between the mineral compositions of plants and soil characteristics / associated substrates were also studied. Differences were found in productivity, accumulation, efficiency utilization and mineral balance among species, and among the same species occurring at different sites. Antarctic species of higher plants tend to accumulate more nutrients such as N and P, and Trindade, however, are more productive. Still, for the Trindade Island estimated the stock of organic carbon (EC) for the soils of the island, in addition, soil samples collected had their fractionated humic substances and subjected to the degradation of constituents related studies increasing temperature . Soils with ornithogenics attributes presented with the highest predicted EC and, with the increased temperature, many soil samples lost more than the forms of organic carbon were detected in the analysis.

**GERAL – VEGETAÇÃO, CICLAGEM DE NUTRIENTES E CARBONO
ORGÂNICO DE SOLOS ORNITOGÊNICOS DA ILHA DA TRINDADE, E DA
ANTÁRTICA**

1. INTRODUÇÃO GERAL

Desde que MacArthur & Wilson (1967) publicaram sua teoria sobre biogeografia de ilhas, a qual preconiza, basicamente, que a riqueza e a abundância dos seres vivos aumentam em função do tamanho da área, estudos sobre a riqueza e a abundância das floras e faunas insulares ocuparam cada vez mais espaço na comunidade científica.

Muitas vezes essas pesquisas foram justificadas pela ideia de que um profundo conhecimento dos ecossistemas insulares, irregulares ou de outra maneira fragmentados, posteriormente permitiria um melhor conhecimento de ecossistemas mais complexos (Watson, 2002).

O trabalho aqui apresentado aborda dois distintos ecossistemas insulares, com particular foco em um dos processos que lhes é comum: a fosfatização dos solos via atividade ornitogênica.

Conforme Schaefer *et al.* (2004), a fosfatização dos solos via atividade ornitogênica consiste na adição e acúmulo de materiais ricos em fósforo nos solos, o que de maneira natural ocorre, especialmente, pela atividade de aves marinhas que se refugiam e/ou nidificam em alguns trechos de extensões insulares.

Tal atividade resulta em um elevado aporte de resíduos dessas aves, enriquecendo de elementos e transformando profundamente os ecossistemas.

As ilhas compreendidas neste trabalho são a Ilha da Trindade, sob território brasileiro e com o clima do tipo tropical oceânico, e a Ilha Rei George, na Antártica Marítima, que por sua vez está sob o clima subpolar marítimo.

Como temas centrais deste estudo estão a produtividade e a nutrição mineral dos vegetais que se desenvolvem em áreas sob diferentes níveis de fosfatização.

Ainda, para a Ilha da Trindade, apresenta-se aqui uma estimativa de estocagem de formas orgânicas de carbono em seus solos, bem como da degradabilidade dos constituintes dos solos em função dos tratamentos térmicos, e o fracionamento da matéria orgânica dos solos e substratos associados.

2. CONCLUSÃO GERAL

As ilhas estudadas possuem em comum o acentuado aporte de nutrientes e de outros elementos nos solos pelas aves marinhas que ali se refugiam, embora em alguns pontos na Antártica este aporte pode ser considerado maior devido a maior densidade demográfica de aves.

Em relação às espécies de plantas da Antártica, as espécies de plantas superiores possuem uma relação mais estreita com ambientes ornitoênicos do que as plantas remanescentes na Ilha da Trindade após séculos de degradação.

Os solos da Ilha da Trindade possuem grande capacidade de estocarem carbono orgânico em relação a solos de outras localidades.

A matéria orgânica dos solos da Ilha da Trindade parece protegida da termodegradação mais pela sua própria natureza molecular do que pela associação com minerais de argila, agregados ou metais.

3. REFERÊNCIAS CITADAS

- MACARTHUR, R. H. & WILSON, E. O. 1967. The theory of island biogeography. Princeton Univ. Press. 224p.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; MICHEL, R. F. M.; VIANA, J. H. M. & TATUR, A. 2004. Capítulo 7 - Fosfatização: processo de formação de solos na Baía do Almirantado e implicações ambientais. p. 47 – 58. In: SCHAEFER, C. E. G. R.; FRANCELINO, M. R.; SIMAS, F. N. B. & ALBUQUERQUE FILHO, M. R. (eds). 2004. Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima – Baía do Almirantado, Ilha Rei George. Neput, Viçosa, 192p.
- WATSON, D. M. 2002. A conceptual framework for the study of species composition in islands, fragments and other patchy habitats. J. Biogeogr., 29:823–834.

**CAPÍTULO 1 – PRODUTIVIDADE, ACÚMULO, UTILIZAÇÃO E EQUILÍBRIO
DA COMPOSIÇÃO MINERAL DE PLANTAS EM ECOSISTEMAS
ORNITOGÊNICOS DA ILHA DA TRINDADE, BRASIL**

RESUMO

LOCATELLI, Marcus Vinicius. D. S.c. Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2013. **Produtividade, acúmulo, utilização e equilíbrio da composição mineral de plantas em ecossistemas ornitogênicos da Ilha da Trindade, Brasil.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves R. Schaefer. Co-orientador: Felipe Nogueira Bello Simas.

A Ilha da Trindade é uma pequena ilha oceânica, a mais distante da costa brasileira, e possui litologia vulcânica e solos muito variáveis. É território de ocorrência de aves marinhas endêmicas e migratórias que, com seus dejetos, fertilizam alguns trechos de sua extensão. Embora bastante degradada ao longo dos últimos quatro séculos, a ilha abriga algumas espécies vegetais adaptadas em suas áreas fosfatizadas, sendo as mais abundantes as ciperáceas *Bulbostylis nesiotis* e *Cyperus atlanticus*. Através do estudo da vegetação e dos solos ou substratos superficiais em diferentes sítios da ilha, procurou-se estimar o potencial produtivo de massa de matéria seca da parte aérea por unidade de área das espécies citadas, bem como a variação dos teores de minerais acumulados e a eficiência de utilização de nutrientes pelas plantas. Foram estudadas também as relações entre as composições minerais das plantas e as características dos solos/substratos associados. Encontrou-se diferenças em produtividade, acúmulo, eficiência de utilização e equilíbrio de minerais entre as espécies estudadas, e entre uma mesma espécie ocorrendo em diferentes sítios amostrados. A *C. atlanticus* foi a espécie mais produtiva em massa de matéria seca por aérea. Os resultados aqui apresentados também indicam que utilizar-se de informações de teores, eficiência de utilização e equilíbrio da composição mineral das plantas, acrescida de informações de análises de solos ou substratos, proporciona uma abordagem mais abrangente da nutrição das plantas e de seus potenciais produtivos nos diferentes ambientes.

ABSTRACT

LOCATELLI, Marcus Vinicius. D. S.c. Universidade Federal de Viçosa, september de 2013. **Productivity, accumulation, utilization and equilibrium of composition mineral plant's in ornithogenic ecosystems in Trindade Island, Brazil.** Adviser: Carlos Ernesto Gonçalves R. Schaefer. Co-adviser: Felipe Nogueira Bello Simas.

The Trindade Island is a small oceanic island, farthest from Brazilian coast, has volcanic lithology and very variable soils. Some stretches of island are fertilized with waste of endemic and migratory seabirds that occurs in its territory. Although so degraded in last four centuries, the island boasts some plant species adapted in phosphatized areas, the most abundant is *Cyperaceae*: *Bulbostylis neosiotis* and *Cyperus atlanticus*. The study of vegetation and soil or surface substrates at different sites on the island, tried to estimate the potential yield of dry matter of aerial part per unit area of the mentioned species, as well as changes in the levels of accumulated minerals, the efficiency of nutrients utilization by plants, and the most limiting factors for higher yields. Relations between the mineral compositions of plants and soil characteristics / associated substrates were also studied. Differences were found in productivity, accumulation, efficiency utilization and mineral balance among species, and among the same species occurring at different sites. In less productive sites aluminum predominated as excess limiting, according to indexes of mineral balance. The *C. atlanticus* was the most productive species in dry matter of aerial part. The results presented indicate that use of levels information, efficiency utilization and balance of the mineral composition of plants, plus information from soil surveys or substrates, provides a more comprehensive approach to plant nutrition and its productive potential in different sites.

1. INTRODUÇÃO

A fosfatização de alguns trechos de territórios insulares altera o equilíbrio químico dos substratos atingidos, proporcionando, assim, ecossistemas bastante distintos diante dos contextos gerais em que se inserem, o que muitas vezes adaptam elevadas riquezas e abundâncias vegetais que estão intimamente associadas a essas áreas, tal como Tatur & Myrcha (1989) e Schaefer *et al.* (2004b), dentre outros autores, mencionam em seus trabalhos realizados nos trechos fosfatizados de ilhas na Antártica Marítima.

Há poucas informações sobre a ecologia dos ecossistemas ornitogênicos insulares em regiões tropicais e subtropicais do planeta, como a Ilha da Trindade, especialmente no que tange aos aspectos mais específicos da relação solo – planta - ornitofauna.

Sabe-se, no entanto, a partir dos trabalhos de Clemente *et al.* (2009) e de Sá (2010) que a fosfatização em ambientes terrestres pela atividade de aves marinhas na referida ilha é bastante expressiva, tendo ambos os autores encontrado elevados teores de fósforo em amostras coletadas de alguns perfis de solos distribuídos em sua extensão.

Fonseca Neto (2004) relatando a riqueza e a abundância das aves marinhas residentes e migratórias que nidificam na Ilha da Trindade, destaca em abundância o endêmico petrel-de-trindade (*Pterodroma arminjoniana*), que, na ocasião do levantamento, participava com cerca de 6500 indivíduos nidificando em escarpas por toda a ilha; o atobá-grande (*Sula dactylatra*) com cerca de 600 indivíduos nidificando; o trinta-réis-escuro (*Anous stolidus*); a andorinha-do-mar-escuro (*Sterna fuscata*) com cerca de 2000 indivíduos; e a grazina (*Gygis alba*) com cerca de 800 indivíduos nidificando em penhascos por toda ilha. Considerando os 10,2 km² de extensão do território da Ilha (PROTRINDADE, 2013), esta abundância de aves proporciona uma densidade demográfica de 1029,41 aves por km².

Quanto à riqueza de espécies vegetais da ilha, Alves (2006), citado por Serafini *et al.* (2010), reporta a existência de 130 espécies de plantas vasculares, ponderando as espécies que foram introduzidas pelo homem.

Atualmente espécies vegetais herbáceas dominam a superfície da ilha, sendo as mais comuns *Pityrogramma calomelanos* Link (*Pteridaceae*), *Bulbostylis nesiotis* C.B.Clarke (*Cyperaceae*) e *Cyperus atlanticus* Hemsl. (*Cyperaceae*) (Serafini *et al.*, 2010), ambas espécies endêmicas.

Vale mencionar que desde o ano de 1783 iniciaram-se intervenções antrópicas na Ilha da Trindade, dentre as quais a soltura e a criação de animais domésticos de maneira extensiva são consideradas as intervenções mais impactantes à flora da ilha, pois resultaram em um intenso desflorestamento, e imensurável comprometimento à sua riqueza vegetal (Martins & Alves, 2007), de maneira que, atualmente, a Ilha da Trindade é considerada uma das ilhas oceânicas brasileiras que mais foram degradadas por atividades antrópicas ao longo dos anos (Serafini *et al.*, 2010), pois além da perda da sua biodiversidade vegetal nativa, a erosão acelerada do solo desprovido de cobertura vegetal tem sido responsável pela formação de ravinas e voçorocas por toda a ilha. Também a erosão laminar vem removendo intensamente o material superficial dos solos, dificultando, assim, o reestabelecimento vegetal (Clemente *et al.*, 2011).

Estudos de produtividade de massa de matéria seca por unidade de área, capacidade de acúmulo e eficiência de utilização de nutrientes em plantas são muito comuns em algumas linhas de pesquisa da ciência do solo, e são importantes para fornecerem informações aplicáveis ao manejo dessas espécies e para o entendimento da ciclagem biogeoquímica dos nutrientes nos sistemas.

Não há na literatura informações sobre a produtividade e a capacidade de acúmulo e de utilização de nutrientes por parte das plantas de ambientes insulares ornitogênicos, e o presente estudo aferiu que diferentes espécies de plantas insulares, bem como as mesmas espécies ocorrendo em sítios diferentes, possuem capacidades diferentes de produção de biomassa e de composição nutricional.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. A ÁREA DE ESTUDO

A Ilha da Trindade situa-se entre os paralelos de 20° 29' e 20° 32' S, e os meridianos de 29° 17' e 29° 21' W, distando-se 620 milhas (997,79 km) da cidade de Vitória/ES, e 800 milhas (1287,48 km) da cidade do Rio de Janeiro/RJ, em direção ao Continente Africano (PROTRINDADE, 2013).

Predominantemente a litologia é composta por rochas vulcânicas básicas, como escórias vulcânicas, fonolitos, tufos e ankaratitos (Alves, 1998), havendo ainda calcarenitos ao longo das praias da ilha que formam plataformas planas e restritas a até 3 m de altura acima do nível do mar (Clemente *et al.*, 2009).

Os solos, segundo Clemente *et al.* (2009) e Sá (2010), são muito variáveis, distribuindo-se nas classes dos Neossolos, Organossolos e Cambissolos.

O clima é do tipo tropical oceânico, com temperatura média anual do ar de 24 °C, sendo o mês de fevereiro o mais quente do ano (média de 27 °C), e o de setembro o mês mais frio (média de 21 °C) (PROTRINDADE, 2013).

Na ilha anualmente as precipitações pluviométricas somam mais que 1.200 mm anuais (Gasparini & Floeter, 2001), e quase todos os dias, principalmente no verão, ocorrem rápidas precipitações de chuvas, em geral com menos de 5 minutos de duração cada uma, essas precipitações recebem a denominação local de "Pirajá" (PROTRINDADE, 2013).

2.2. COLETA DE MATERIAIS

Por meio de vários indicadores ambientais como geoforma do terreno, tipo de solo/substrato, densidade da cobertura vegetal e comportamentos das aves, foram reconhecidas fitofisionomias distintas ao longo do caminhar pela face oriental da ilha, de modo que oito sítios foram amostrados, dos quais sete deles apresentaram-se vegetados (Figura 1).



Figura 1 - Ilha da Trindade: caminhamento e pontos amostrados neste estudo.

O quadro 1 apresenta a descrição de cada sítio amostrado.

Quadro 1 – Denominação, código, descrição, latitude, longitude e altitude dos sítios amostrados na Ilha da Trindade.

Denominação	Código	Descrição	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Sítio Trindade 1	ST1	Borda da Praia dos Andradas, SE da Ilha da Trindade, vegetação dominada por <i>Cyperus atlanticus</i> e sem ninhais de aves à montante	S 20° 30' 50,9"	O 29° 18' 24,7"	6,0
Sítio Trindade 2	ST2	Borda da Praia das Tartarugas, SE, vegetação dominada por <i>Cyperus atlanticus</i> e com ninhais e dormitórios de aves bastante ativos nas escarpas rochosas à sua montante	S 20° 31' 05,5"	O 29° 18' 23,6"	15,0

Continua...

Continuação do quadro 1...

Denominação	Código	Descrição	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Sítio Trindade 3	ST3	Platô na borda do Vulcão do Paredão, SE, sem cobertura vegetal, em meio ao ninhal desativado de aves de pequeno porte, provavelmente graminas. Abundantes fragmentos de ossos de peixe	S 20° 31' 08,0"	O 29° 18' 03,3"	52,0
Sítio Trindade 4	ST4	Borda do sítio 3, cobertura dominada por <i>Cyperus atlanticus</i> , acentuada influência ornitogênica	S 20° 31' 07,9"	O 29° 18' 03,4"	56,0
Sítio Trindade 5	ST5	Terço superior da encosta do platô de ST3, <i>Bulbostylis nesiotes</i> dominando a cobertura vegetal	S 20° 31' 10,0"	O 29° 18' 05,1"	58,0
Sítio Trindade 6	ST6	Borda da mancha de vegetação mais setentrional no Platô do Noroeste, a NO da Ilha da Trindade, dominada por <i>Cyperus atlanticus</i> no centro. Intensamente fosfatizada, com casais de atobás-grande pousados no local	S 20° 29' 56,4"	O 29° 20' 09,0"	389,0
Sítio Trindade 7	ST7	Borda da mancha de vegetação setentrional ao Platô do Noroeste, próximo do ST6, porém em meio ao caminho da drenagem, amostrado <i>Bulbostylis nesiotes</i> e <i>Cyperus atlanticus</i>	S 20° 29' 56,3"	O 29° 20' 09,2"	389,0
Sítio Trindade 8	ST8	Platô do Noroeste, posição pouco mais meridional em relação ao ST6 e ST7, intensamente fosfatizado e também com atobás-grande pousados nas proximidades, vegetação menos adensada, <i>Bulbostylis nesiotes</i> dominando a parcela amostrada	S 20° 29' 58,2"	O 29° 20' 08,7"	391,0

Dispondo de um gabarito quadrado com área interna de 625 cm² (25 × 25 cm), foram coletadas todos os órgãos acima da superfície do solo das espécies vegetais *Bulbostylis nesiotes* e de *Cyperus atlanticus* ali contidas (Figura 2), e o solo/substrato mineral até 10 cm de profundidade.

Para as duas espécies, os órgãos aéreos, ou seja, acima da superfície do solo, constituíram nos bulbos, bainhas dos bulbos, folhas secas ainda aderidas às plantas, e folhas verdes.



Figura 2 - Parcelas amostradas na Ilha da Trindade.

A quantidade de amostras coletadas foi limitada pela constante preocupação em causar o mínimo de impacto possível, diante da baixa resiliência relatada em alguns trabalhos, e também percebida em campo, além das restrições logísticas inerentes do terreno muitas vezes escarpado que dificultou o percurso durante o tempo disponibilizado para a excursão.

Assim, como critérios de amostragens, houve a identificação de uma parcela que visualmente apresentava a maior produtividade vegetal potencial para cada fitofisionomia reconhecida.

2.3. PROCESSAMENTO E ANÁLISES DAS AMOSTRAS

Nos mesmos dias em que foram coletadas as amostras vegetais, as mesmas foram devidamente lavadas em água deionizada, e seguiram para a secagem em estufa a aproximadamente 65 °C, onde ficaram até atingirem massa constante.

Após a secagem as amostras foram pesadas, e delas foram cuidadosamente separadas as folhas verdes das demais partes, de modo que essas foram submetidas à moagem, homogeneização e análises posteriores nos laboratórios.

Frações das amostras vegetais secas e moídas foram submetidas à mineralização por calcinação em mufla, despendendo-se, em ordem, os binômios de temperatura e tempo de 200 °C por 1 h, 300 °C por 1/2 h, 400 °C por 1/2 h e 500 °C por 3 h. Após isso foram deixadas para esfriar por 12 h dentro da mufla desligada até o equilíbrio com a temperatura ambiente externa.

Em seguida, as cinzas resultantes das amostras calcinadas foram diluídas em solução de HCl 0,1 mol/L. As soluções resultantes foram pipetadas e filtradas, em filtros de passagem lenta, para tubos do tipo falcon, onde foram acrescidos 17 mL de água deionizada.

A solução resultante seguiu para o espectrofotômetro de emissão em plasma induzido, onde os teores de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, B, Mo, Cu, Al e Ni foram determinados.

Para a determinação de N o método utilizado foi o Kjeldahl (Kjeldahl, 1883), o qual envolve a digestão das amostras por H₂SO₄ aquecido, utilizando-se Se como catalizador, com os extratos passando pelo destilador Kjeldahl, e os teores de N total obtidos por titulometria da solução resultante.

Todas as amostras de solos/substratos foram submetidas às análises químicas de rotina de acordo com Defelipo & Ribeiro (1997), e as análises

texturais foram executadas conforme alterações propostas por Ruiz (2005), como medida de se aumentar a exatidão na determinação de silte, em relação ao exposto em EMBRAPA (1997).

2.4. ANÁLISES DOS RESULTADOS

Dispondo dos resultados analíticos dos teores dos elementos da matéria seca das partes aéreas das plantas, foram obtidas as médias, os erros-padrões das médias e os índices de variação (IV) dos teores acumulados em cada espécie.

Segundo Pimentel Gomes (1991) o IV pode ser calculado por meio da equação:

$$IV = CV / n^{0,5}$$

Em que,

CV = coeficiente de variação (%), e;

n = número de observações.

Foram obtidos os coeficientes de correlação de Spearman entre cada elemento químico e a produtividade de biomassa aérea das duas espécies amostradas na Ilha da Trindade.

A partir da massa total de matéria seca da parte aérea mensurada, e o conteúdo de nutrientes alocados nas plantas, esses calculados a partir dos teores encontrados nas folhas verdes, obteve-se uma estimativa da Eficiência de Utilização dos Nutrientes (EUN) de cada amostra, o que se deu a partir de metodologia proposta por Barros *et al.* (1986):

$$EUN = W / Q$$

Em que,

EUN = estimativa da eficiência utilização do nutriente, expresso em massa de matéria seca por massa de elemento químico (kg/kg),

W = massa de matéria seca da parte área (kg), e;

Q = conteúdo total do nutriente nas folhas verdes (kg).

Com o intuito de efetivar os estudos de equilíbrio de elementos químicos, ou equilíbrio dos minerais, alocados na biomassa vegetal, adapta-se neste

trabalho uma modificação nos índices de equilíbrios nutricionais do Sistema Integrado de Diagnóstico e de Recomendação (DRIS) proposto por Beaulfils (1973), tornando-os índices de equilíbrios absolutos, assim ficando:

$$(A/B) = [(A/B)' - (a/b)] / C$$

Em que,

(A/B) = diferença da relação quociente entre o elemento A e o B da amostra em análise e a relação da amostra de referência;

(A/B)' = relação quociente direta entre os teores dos elementos A e B na amostra vegetal em análise (g/kg e mg/kg, respectivamente para macronutrientes, e micronutrientes mais o Al);

(a/b) = relação dual direta entre os teores dos elementos A e B da amostra com maior produtividade, ou de referência, dentro de cada espécie em análise (g/kg e mg/kg, respectivamente para macronutrientes, e micronutrientes mais o Al), e;

C = coeficiente de aproximação, no presente trabalho considerou-se C como igual a 100, cuja finalidade foi obter valores de menores magnitudes, facilitando assim a visualização dos resultados.

Em seguida calculou-se o análogo ao índice DRIS para cada elemento em análise a partir da equação:

$$\ln A = [(A/B) + (A/C) + \dots + (A/N) - (B/A) - (C/A) - \dots - (N/A)] / 2(n-1)$$

Em que,

$\ln A$ = Índice de Equilíbrio Mineral para o elemento A;

A, B, C... e N = elementos envolvidos no diagnóstico, e;

n = número de elementos envolvidos no diagnóstico.

3. RESULTADOS

Durante a coleta das amostras ambas as espécies de ciperáceas apresentaram folhas secas e folhas verdes em uma mesma touceira, aparentemente em proporções equivalentes, nenhuma das espécies apresentava sinais reprodutivos como espigas de flores ou já de sementes.

Pode-se considerar que a *C. atlanticus* é a espécie com maior potencial de produção de matéria seca de parte aérea por unidade de área, havendo, no entanto, grande variabilidade de produção entre os sítios amostrados, conforme demonstrado pelos relativos grandes índices de variação (IV) (Figura 3), tendo alguns sítios desta espécie, inclusive, apresentado uma relativa baixa produção (Quadro 2).

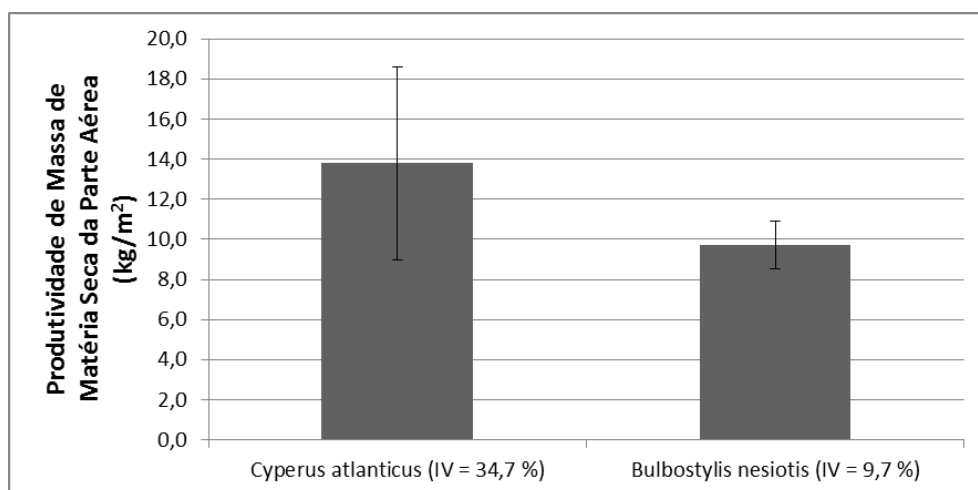


Figura 3 – Produtividade média e IV das duas espécies abrangidas neste estudo. As linhas nas barras representam os erros-padrão da média.

Nos quadros 3 e 4 os elevados IV dos teores de alguns nutrientes e alumínio demonstram o quão acentuada é a variabilidade de acúmulo potencial desses elementos pelas espécies de plantas que se desenvolvem em diferentes sítios, mesmo alguns deles estando bastante próximos entre si, tal como ocorre entre os sítios distanciados por poucos metros como ST4 e ST5, igualmente para ST6, ST7 e ST8.

Quadro 2 – Teores de nutrientes e de Al nas folhas verdes maduras, e produtividades de cada espécie vegetal nos sítios amostrados. Em destaque, sublinhado, estão as populações de referência, utilizadas nas análises de equilíbrio mineral a seguir.

Espécie/sítio	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Mn	B	Cu	Ni	Mo	Al	Produtividade
	(g/kg)					(mg/kg)					(kg/m ²)				
<u>BN/ST5</u>	<u>8,25</u>	<u>0,53</u>	<u>0,56</u>	<u>2,07</u>	<u>2,03</u>	<u>0,43</u>	<u>128,12</u>	<u>6,00</u>	<u>10,47</u>	<u>22,98</u>	<u>3,15</u>	<u>0,46</u>	<u>0,08</u>	<u>186,64</u>	<u>2,28</u>
BN/ST7	4,26	0,87	4,77	2,67	1,68	0,38	102,69	4,64	54,51	14,79	1,63	0,77	0,02	227,50	1,66
BN/ST8	2,62	0,88	1,57	2,30	0,81	0,30	149,14	10,28	22,07	18,07	1,08	0,37	0,08	224,64	1,46
CA/ST1	9,55	1,20	9,62	3,18	1,69	0,47	70,32	6,44	19,25	15,69	5,25	0,50	0,21	115,73	4,96
<u>CA/ST2</u>	<u>1,85</u>	<u>1,23</u>	<u>10,14</u>	<u>3,08</u>	<u>1,72</u>	<u>0,67</u>	<u>16,83</u>	<u>4,99</u>	<u>2,30</u>	<u>13,99</u>	<u>1,80</u>	<u>0,32</u>	<u>0,01</u>	<u>22,22</u>	<u>7,25</u>
CA/ST4	7,79	2,43	12,72	4,22	2,31	0,61	51,89	7,24	26,40	19,30	4,00	0,51	0,26	32,67	1,31
CA/ST6	4,44	3,35	10,85	2,00	2,17	0,53	47,67	11,66	29,07	16,29	3,16	0,56	0,02	31,52	3,20
CA/ST7	7,02	2,41	9,04	2,39	2,52	0,68	36,99	7,51	22,10	14,18	1,90	0,34	0,07	29,83	2,56

Em que BN = *Bulbostylis nesiotis*, e; CA = *Cyperus atlanticus*.

Quadro 3 – Teores médios, erros-padrão das médias e IV de macronutrientes acumulados em folhas verdes maduras das espécies em estudo.

Macronutriente	<i>Bulbostylis neosiotis</i>				<i>Cyperus atlanticus</i>			
	Teor médio		IV		Teor médio		IV	
	(g/kg)		(%)		(g/kg)		(%)	
N	5,04	± 1,67	33,20		6,13	± 1,35	22,01	
P	0,76	± 0,11	15,01		2,12	± 0,41	19,19	
K	2,30	± 1,27	55,07		10,47	± 0,64	6,07	
Ca	2,35	± 0,17	7,42		2,97	± 0,38	12,77	
Mg	1,51	± 0,36	24,09		2,08	± 0,16	7,91	
S	0,37	± 0,04	10,64		0,59	± 0,04	6,76	

Quadro 4 – Teores médios, erros-padrão das médias e IV de micronutrientes e alumínio acumulados em folhas verdes maduras das espécies em estudo.

Elemento químico	<i>Bulbostylis neosiotis</i>				<i>Cyperus atlanticus</i>			
	Teor médio		IV		Teor médio		IV	
	(mg/kg)		(%)		(mg/kg)		(%)	
Fe	126,65	± 13,43	10,60		44,74	± 8,81	19,70	
Zn	6,98	± 1,70	24,35		7,57	± 1,11	14,70	
Mn	29,02	± 13,18	45,42		19,83	± 4,70	23,69	
B	18,62	± 2,38	12,78		15,89	± 0,96	6,03	
Cu	1,95	± 0,62	31,59		3,22	± 0,65	20,19	
Ni	0,53	± 0,12	22,56		0,45	± 0,05	10,95	
Mo	0,06	± 0,02	34,81		0,11	± 0,05	45,19	
Al	212,92	± 13,17	6,19		46,39	± 17,43	37,57	

Analisando as correlações de Spearman entre as produtividades e os teores de elementos acumulados na biomassa vegetal, não houveram correlações significativas para a espécie *B. nesiotis* sob nível-p de 10 %, para a *C. atlanticus* no entanto, houveram correlações significativas e positivas entre N e Fe, Cu, Mo e Al, Mn com P, Zn e Ni, e Ni com B (Quadro 5).

C. atlanticus mostrou-se destacadamente a maior acumuladora de macronutrientes na sua massa de matéria seca aérea (Figura 4), e a *B. nesiotis* foi a maior acumuladora de Fe e de Al (Figura 5).

Para a amostra mais produtiva de *B. nesiotis* (ST5) os macronutrientes que proporcionaram as maiores EUN são: S > P > K > Mg > Ca > N. Já para a amostra mais produtiva de *C. atlanticus* (ST2), a ordem decrescente de EUN dos macronutrientes foi: S > P > Mg > N > Ca > K (Quadro 6).

Embora o Al não seja nutriente, foi calculado seu índice de equilíbrio na composição mineral das amostras vegetais, tendo-se observado que em todas as amostras menos produtivas do que as referências para cada espécie ele se encontra em condição de limitante por excesso na produtividade vegetal (Quadro 7).

Em relação às referências de amostras mais produtivas para cada espécie vegetal compreendida neste estudo, as figuras 6 e 7 apresentam os desvios por meio dos índices adaptados de equilíbrio dos nutrientes e do Al.

Quanto aos solos e substratos amostrados, nota-se que as produtividades de *C. atlanticus* foram maiores em ambientes de praia (ST1 e ST2), onde a espécie domina. Os substratos apresentaram-se saturados por bases, e com pH em água acima de 8,0, sendo ST1 de textura franco-arenosa e ST2 de textura areia-franca (Quadro 8).

Quadro 5 – Coeficientes de correlação de Spearman entre os teores de nutrientes e alumínio e as produtividades da vegetação em todos os sítios amostrados na Ilha da Trindade.

Variáveis	<i>Bulbostilis nesiotis</i>														
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Mn	B	Cu	Ni	Mo	Al	Prod.
N		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K	ns	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ca	ns	ns	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mg	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S	ns	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Fe	0,900	ns	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Zn	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mn	ns	0,900	ns	ns	ns	ns	ns	0,900		ns	ns	ns	ns	ns	ns
B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns	ns	ns
Cu	0,900	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns	ns
Ni	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,900	ns		ns	ns	ns
Mo	0,900	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		ns	ns
Al	0,900	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,900	ns		ns
Prod.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
<i>Cyperus atlanticus</i>															

Valores apresentados correspondem a correlações significativas sob nível-p de 10 %.

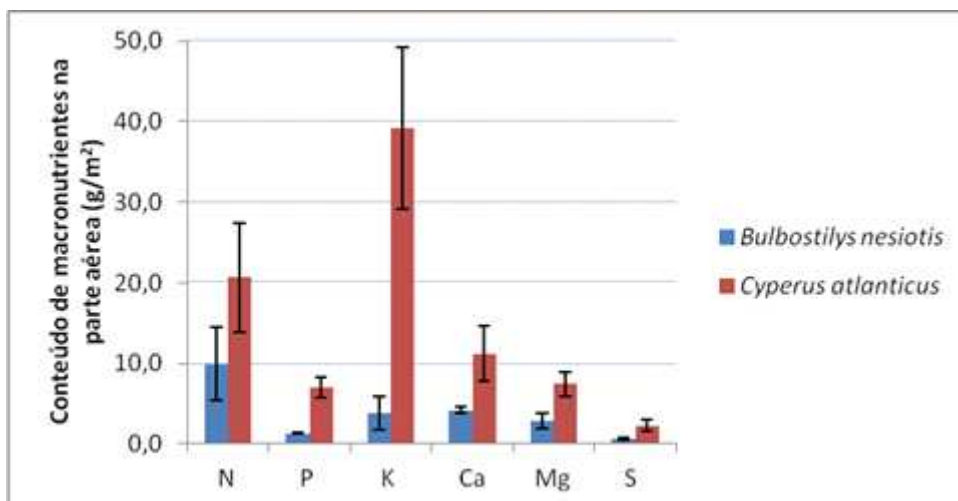


Figura 4 - Conteúdo de macronutrientes na massa de matéria seca de parte aérea das plantas estudadas.

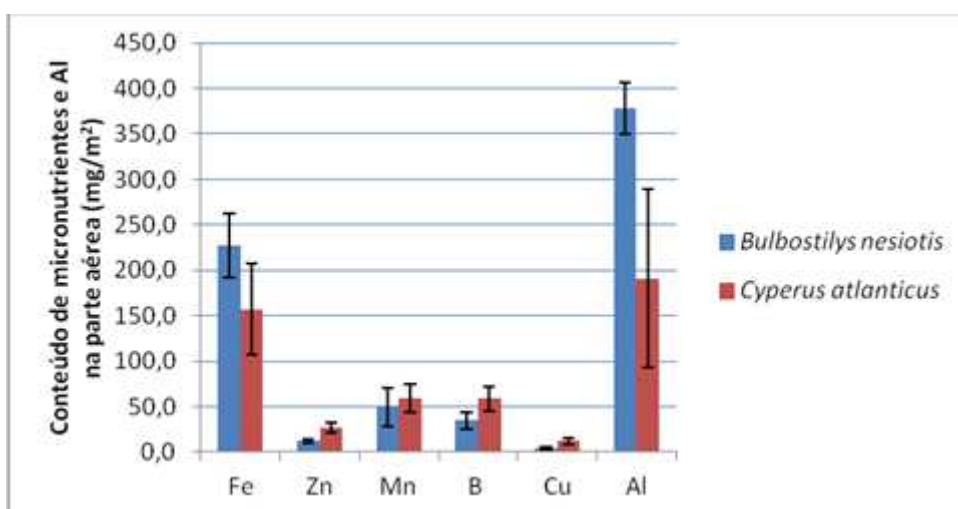


Figura 5 - Conteúdo de micronutrientes e de Al na massa de matéria seca de parte aérea das plantas estudadas.

Quadro 6 – Eficiência de Utilização de Nutrientes (EUN) de cada espécie em cada sítio amostrado. Em destaque as populações de referência como as mais produtivas.

Espécie/Sítio	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Mn	B	Cu
	(kg/kg).....										
<u>BN/ST5</u>	<u>121,17</u>	<u>1874,74</u>	<u>1775,10</u>	<u>482,22</u>	<u>492,18</u>	<u>2310,50</u>	<u>7804,96</u>	<u>166603,14</u>	<u>95507,16</u>	<u>43511,00</u>	<u>317964,89</u>
BN/ST7	234,90	1143,03	209,54	374,33	596,15	2649,48	9738,36	215370,19	18344,26	67592,19	612220,42
BN/ST8	382,35	1138,83	635,16	435,15	1234,68	3361,86	6705,11	97273,73	45305,47	55340,57	925471,89
CA/ST1	104,76	831,48	103,95	314,68	592,14	2118,37	14221,46	155357,06	51950,44	63725,50	190595,34
<u>CA/ST2</u>	<u>541,84</u>	<u>815,13</u>	<u>98,66</u>	<u>324,94</u>	<u>582,10</u>	<u>1501,71</u>	<u>59430,80</u>	<u>200406,40</u>	<u>434177,56</u>	<u>71456,62</u>	<u>554373,97</u>
CA/ST4	128,38	411,09	78,61	237,21	432,49	1644,61	19271,74	138040,05	37873,90	51800,63	250244,91
CA/ST6	224,98	298,92	92,14	499,13	461,35	1880,33	20979,23	85788,51	34396,17	61405,24	316695,66
CA/ST7	142,38	415,61	110,57	419,25	396,21	1463,24	27035,52	133104,21	45248,67	70524,97	526193,34

Em que BN = *Bulbostylis nesiotis*, e; CA = *Cyperus atlanticus*.

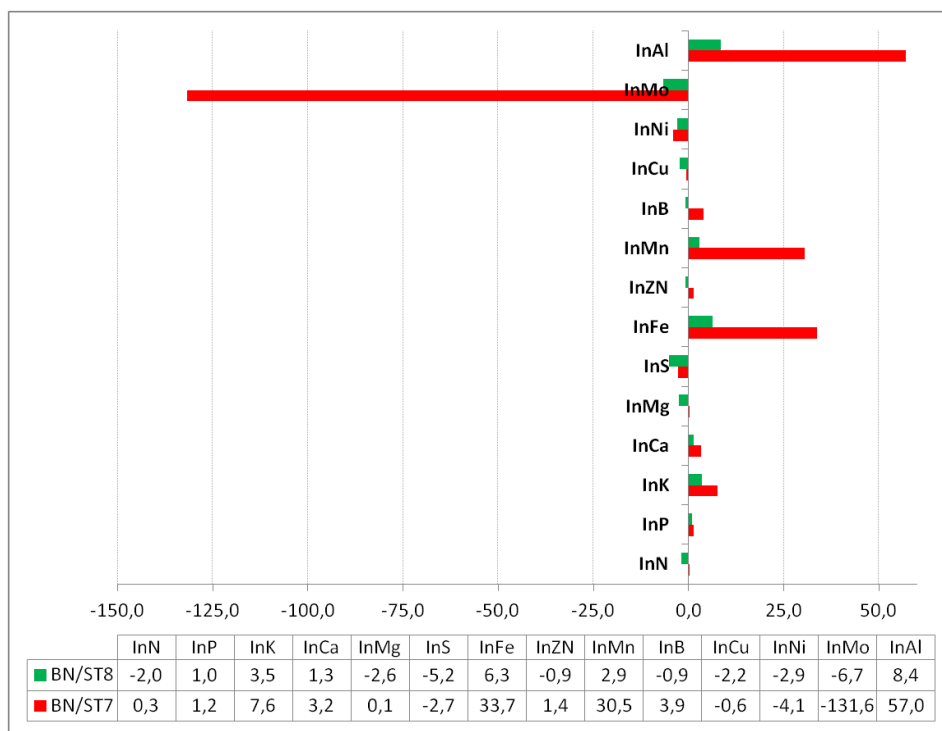


Figura 6 – Índices de equilíbrio mineral na composição de *Bulbostylis nesiotis* nos sítios ST8 e ST7.

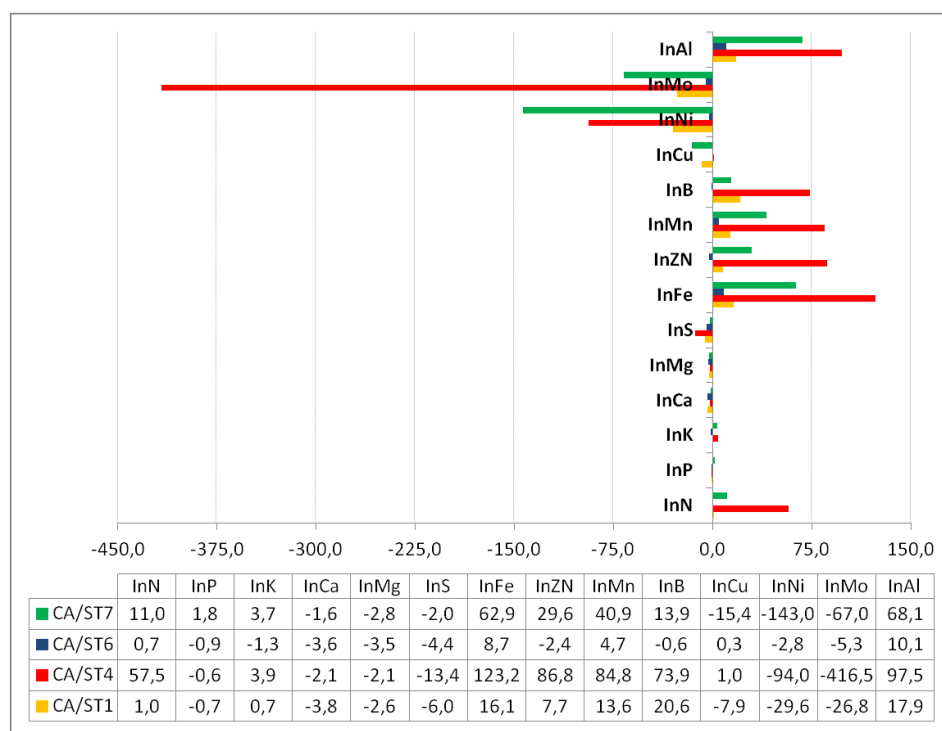


Figura 7 - Índices de equilíbrio mineral na composição de *Cyperus atlanticus* nos sítios ST1, ST4, ST6 e ST7.

Quadro 7 – Resultados das análises químicas das amostras de solos nos sítios estudados na Ilha da Trindade. Sublinhado está o sítio com maior produtividade vegetal.

Sítio	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H + Al)	SB	ctc	CTC
			(mg/dm ³).....					(cmol _e /dm ³).....				
ST1	8,1	7,5	376,4	409,0	928,9	13,4	4,4	0,0	0,0	22,9	22,9	22,9
<u>ST2</u>	<u>8,2</u>	<u>7,6</u>	<u>374,9</u>	<u>73,0</u>	<u>442,7</u>	<u>10,7</u>	<u>2,1</u>	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>	<u>14,9</u>	<u>14,9</u>	<u>14,9</u>
ST3	5,1	4,6	1978,8	853,0	680,8	11,2	3,2	0,4	17,9	19,6	20,0	37,5
ST4	5,6	5,2	1881,9	597,0	1851,6	8,1	3,2	0,1	7,2	20,9	21,0	28,1
ST5	6,3	5,0	343,2	537,0	1762,3	2,3	2,1	0,0	4,7	13,5	13,5	18,2
ST6	6,2	5,0	1074,9	340,0	343,5	15,9	13,4	0,2	6,8	31,6	31,8	38,4
ST7	6,2	5,1	1280,2	203,0	492,3	13,1	14,5	0,1	6,1	30,2	30,3	36,3
ST8	6,9	5,2	1323,0	171,0	323,6	13,7	12,4	0,0	3,4	28,0	28,0	31,4

Sítio	V	m	ISNa	MOS	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
	(%).....		(dag/kg)	(mg/L)		(mg/dm ³).....			
ST1	100,0	0,0	17,6	4,0	23,7	1,6	3,5	29,9	0,3
<u>ST2</u>	<u>100,0</u>	<u>0,0</u>	<u>12,9</u>	<u>4,6</u>	<u>30,2</u>	<u>12,6</u>	<u>152,6</u>	<u>19,3</u>	<u>0,9</u>
ST3	52,2	2,0	14,8	2,0	65,6	10,5	81,0	6,3	0,6
ST4	74,4	0,5	38,4	5,9	52,4	0,8	47,8	23,2	0,6
ST5	74,1	0,0	56,9	3,0	24,1	1,9	24,4	39,6	0,5
ST6	82,3	0,6	4,7	4,9	36,0	2,4	30,1	8,1	0,5
ST7	83,2	0,3	7,1	5,3	35,9	1,2	24,7	102,7	0,6
ST8	89,2	0,0	5,0	2,0	28,8	1,1	74,4	98,5	0,2

Quadro 8 – Resultados das análises texturais das amostras de solos nos sítios estudados na Ilha da Trindade. Sublinhado está o sítio com maior produtividade vegetal.

Sítio	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classe textural
	(dag/kg).....				
ST1	38,0	14,0	26,0	22,0	Franco-Argilo-Arenosa
<u>ST2</u>	<u>59,0</u>	<u>26,0</u>	<u>4,0</u>	<u>11,0</u>	<u>Areia-Franca</u>
ST3	49,0	12,0	22,0	17,0	Franco-Arenosa
ST4	29,0	24,0	27,0	20,0	Franco-Arenosa
ST5	27,0	26,0	33,0	14,0	Franco-Arenosa
ST6	32,0	17,0	26,0	25,0	Franco-Argilo-Arenosa
ST7	25,0	22,0	28,0	25,0	Franco
ST8	25,0	19,0	30,0	26,0	Franco

4. DISCUSSÕES

O fato de nenhuma das espécies apresentarem sinais reprodutivos foi observado com cautela, pois do contrário seria um indicativo de que os teores de nutrientes nas folhas estão relativamente reduzidos em relação ao que pode ser na fase que precede a reprodução, desta maneira, é plausível considerar que os teores de minerais obtidos na matéria seca nas amostras encontram-se próximo do seu máximo potencial para as espécies em cada condição de sítio.

Segundo Martins & Alves (2007) a *C. atlanticus* é a espécie vegetal mais agressiva na colonização de novas áreas, outrora degradadas pela erosão acentuada, o que, conforme constatado, durante a excursão de campo relativa a este trabalho, abrange também os trechos intensamente fosfatizados em meio aos ninhais de aves marinhas.

Do ponto de vista produtivo, a *C. atlanticus* potencialmente pode servir muito bem acondicionando os solos ou substratos para que uma posterior maior diversidade de espécies vegetais se estabeleça na ilha, pois esta espécie possui as características de elevada produção de matéria seca, vigoroso sistema radicular adventício e promoção de grande recobrimento vegetativo na superfície do solo, tal como preconizado para a escolha de espécies pioneiras na recuperação de diversas áreas degradadas.

Vale ressaltar que o interesse na restauração vegetal na ilha vai de encontro aos interesses citados por Clemente *et al.* (2011) na proposta de zoneamento ambiental para a Ilha da Trindade, que indica, dentre outras oportunidades interessantes de pesquisas na ilha, estudos sobre a ciclagem biogeoquímica de nutrientes e o potencial de aproveitamento de espécies nativas na recuperação e restauração das áreas criticamente degradadas.

Em um passado recente houve esforços de recomposição da flora nativa por diversos órgãos e entidades. Mais recentemente, um acordo firmado em setembro de 2011 pela Marinha do Brasil, Museu Nacional do Rio de Janeiro e a ONG SOS Mata Atlântica visa restaurar parte da vegetação nativa da ilha¹.

¹Informação pessoal transmitida pelo Capitão de Fragata Rodrigo Otoch Chaves, Marinha do Brasil, coordenador do Programa de Pesquisas Científicas na Ilha da Trindade (PROTRINDADE).

Segundo Reis *et al.* (2007) efetivos projetos de restauração ambiental devem respeitar a ordem ecológica sucessional do ambiente em particular, pela qual, inicialmente, algumas espécies vegetais possuem a capacidade de melhorar o substrato de modo a permitirem o desenvolvimento posterior de um maior número de espécies vegetais.

No entanto, apesar de se vislumbrar o potencial de uso de *C. atlanticus* pelas características citadas, é interessante cautela no incentivo ao desenvolvimento desta ciperácea até que estudos mais aprofundados de sua importância sucessional sejam conduzidos, pois como bem se conhece em outras espécies do gênero *Cyperus*, como mencionado no trabalho de Drost & Doll (1980) para *C. esculentus*, pode haver uma intensa ação alelopática exercida por esta para inibir o desenvolvimento de plantas concorrentes. Na ilha há indícios de que isto já esteja ocorrendo dada a monodominância da *C. atlanticus* em alguns trechos.

Para *C. atlanticus* amostrada nos sítios ST6 os teores de N, P, Fe, Zn, Mn, B, Cu e Ni foram destacadamente superiores ao encontrado em ST7. Como apresentado no quadro 1, ST6 localiza-se na borda do território de pouso de atobás-grande, havendo constante suprimento de nutrientes por meio de resíduos dessas aves, enquanto ST7 está em um fração mais declivosa do terreno, no caminho da drenagem do referido trecho de pouso, onde os resíduos escoam de maneira mais rápida em um solo raso e pedregoso.

Vale ainda ressaltar que em ambos os sítios o substrato das plantas é bastante raso e pedregoso, favorecendo o argumento de que há restrições hídricas impostas pelos solos às plantas que ali se desenvolvem, e neste caso, a movimentação e absorção de nutrientes pelas plantas também podem ser comprometidas.

Os teores médios de N e P encontrados na parte aérea das plantas de *C. atlanticus* (respectivamente, 6,13 e 2,12 g/kg) e *B. nesiotis* (5,04 e 0,76 g/kg) podem ser considerados baixos em relação aos teores médios encontrados por Kyambadde *et al.* (2004) em brotações da ciperácea aquática *C. papyrus*, respectivamente 17 e 5 g/kg. No entanto, os teores relativamente elevados de N na ciperácea do trabalho de Kyambadde *et al.* (2004) justificam-se pela presença de bactérias nitrificantes colonizando os tecidos da referida planta, e

pelo fato de terem sido obtidos a partir dos brotos das plantas, com tecidos em pleno desenvolvimento e com maiores atividades metabólicas em relação às folhas verdes, porém já maduras das amostras coletadas neste estudo.

Em outro estudo envolvendo nutrição de ciperáceas, Barko & Smart (1979) cultivando *C. esculentus* em hidroponia, encontraram o que consideraram teores ótimos de N e P para uma maior produção de massa de matéria seca de brotos, sendo, respectivamente 5,9 e 0,79 g/kg. Esses valores se aproximam dos teores médios encontrados para as espécies neste estudo.

Contudo, em relação aos teores determinados nas amostras de sítios mais produtivos de *C. atlanticus* e de *B. neosiotis*, os teores de N e P foram bastante destoantes, indicando que os teores nutricionais, embora sirvam indicativos de uma produção de biomassa esperada, podem proporcionar predições imprecisas de produção de massa de matéria seca.

Autores como Bataglia et al. (1992) e Alvarez V. & Leite (1999) também postulam que, informações apenas dos teores de nutrientes para diagnósticos nutricionais de plantas podem acarretar equívocos, pois em algumas situações poderá vir a ocorrer um aparente super acúmulo de nutrientes, ou ainda, uma diluição da concentração do nutriente na matéria seca.

A ideia de equilíbrio nutricional, de certo modo, resgata a Lei do Mínimo proposta por Liebig (1840), a qual preconiza que mesmo que os nutrientes estejam em níveis satisfatórios na planta, se houver um deles aquém do seu nível crítico, a produtividade será limitada por este, e de forma análoga temos a Lei do Máximo, onde o limitante da produção é o nutriente em nível mais elevado em relação ao seu limite superior considerado adequado, resultando, assim, em toxidez.

E em relação aos equilíbrios nutricionais apresentados é possível notar a mesma tendência de desvios para cada nutriente das amostras de sítios menos produtivos, ou seja, os desvios de um dado nutriente em relação à referência mais produtiva tendem a serem positivos, ou negativos, para todas as demais amostras, variando por vezes abruptamente sua magnitude, indicando que o desequilíbrio nutricional esteve limitando a produtividade nas amostras em relação à referência.

Devido ao grande isolamento da Ilha da Trindade potencialmente existe um reduzido contingente de pragas vegetais, sejam elas entomológicas ou microbiológicas, o que reforça a ideia de que os maiores limitantes para a produtividade vegetal na ilha são alta taxa de remoção do solo superficial sob intensa erosão laminar, a nutrição mineral das plantas e a disponibilidade hídrica, pois ao longo da ilha há muitos trechos de solos rasos, compactados ou pedregosos, com baixa capacidade de retenção de água, de modo que a ocorrência dos pirajás parece ser fundamental para o fornecimento de água para a vegetação que ocupa um solo com baixa capacidade de armazenamento de água.

Para as amostras mais produtivas tanto de *C. atlanticus* quanto de *B. nesiotis* o S e o P apresentaram os maiores valores de EUN em relação a outros sítios. Portanto, aparentemente a alta produção de massa de matéria seca da parte aérea está atrelada à boa eficiência de utilização desses nutrientes, muito embora esses solos tendam a serem ricos nesses elementos.

A riqueza desses elementos nos solos pode não corresponder, necessariamente, a alta disponibilidade desses para as plantas, pois os mesmos estão sujeitos a complexarem-se com outros íons, e também a possíveis baixas mobilidade e absorção pelas raízes, por se tratarem de solos predominantemente com baixa capacidade de retenção de água, e desfavoráveis a um desenvolvimento radicular vigoroso.

Atualmente as duas espécies estudadas são consideradas endêmicas da Ilha da Trindade, o que pode representar que foram extintas no território continental de onde originaram, e de onde também partiram transportadas pelas aves marinhas que colonizaram a ilha. Desta maneira as já comentadas limitações à colonização vegetal na ilha vieram a selecionar essas espécies em detrimento de outras mais agressivamente competidoras, que as teriam suprimido caso as condições fossem mais favoráveis a essas, tal como como pode ter ocorrido no continente.

O maior valor de EUN de P encontrado nas espécies estudadas foi 1874,74 kg/kg em *B. nesiotis*, enquanto que em literatura trabalhos com este foco, mencionam, por exemplo, EUN médio para parte aérea de 30 híbridos de milho igual a 518,13 kg/kg (adaptado de trabalho de Fernandes & Muraoka, 2002), e

para espécies arbóreas como *Eucalyptus saligna* EUN de 8942 kg/kg no tronco de (Santana *et al.*, 2002).

A EUN entre as espécies muito variaram ao longo dos sítios amostrados, Santana *et al.* (2002) relatando a variação na EUN em eucalipto cultivado em diferentes localidades, expõe que isto pode ocorrer por várias razões, destacando as limitações hídricas, características intrínsecas do material genético, e a não-obtenção do equilíbrio nutricional ótimo, havendo neste caso a limitação por um ou mais nutrientes.

Conforme já comentado, o índice de equilíbrio do Al na composição mineral das amostras vegetais situou predominantemente na condição de limitante por excesso para produtividade vegetal, indicando uma sensibilidade alta das plantas em relação a níveis maiores deste elemento nos seus órgãos, muito embora analiticamente nos solos/substratos, os teores de Al trocável foram praticamente nulos em todas as amostras, o que é plausível diante dos altos valores de pH.

Em relação aos solos e substratos amostrados, observou-se também que as produtividades de *C. atlanticus* foram maiores em ambientes de praia (ST1 e ST2), com solos relativamente ricos em P devido ao aporte de resíduos das aves, conforme observado em campo.

Especialmente em ST2, devido ao elevado pH do substrato impondo restrições na disponibilidade dos micronutrientes Fe, Zn, B e Cu, a amostra de *C. atlanticus* apresentou os maiores valores de EUN desses micronutrientes.

Observa-se que o sítio mais produtivo (ST2) apresentou a menor soma de bases em relação aos demais sítios (exceto ST5) e, além disso, embora a os maiores teores de Fe, Zn e Cu tenham ocorrido no substrato do ST2, as demais amostras de *C. atlanticus* encontraram-se desequilibradas por excesso deste nutriente em relação à amostra de referência coletada neste sítio.

O solo do sítio de maior teor de P amostrado (ST3) foi o único completamente desvegetado, o que possivelmente se deve ao fato deste se encontrar em meio a um ninhal ativo de aves, sofrendo perturbações intensas por parte delas, especialmente na forma de pisoteio das plântulas recém germinadas, ou, ainda, pela presença de elementos em níveis tóxicos. Ainda, boa parte das formas de Ca e de P determinados analiticamente neste solo

pode ter sido oriunda de resíduos como ossos, escamas e cascas de ovos solubilizadas pelo extrator, e que estavam indisponíveis para as plantas em condições *in loco*.

Algo notável por ser raramente observado em solos de condições tropicais é o fato da solução rica em P (60 mg/L), utilizada para a análise do P remanescente (P-rem), extraiu valor de P superior ao inicialmente adicionado pelo tratamento em ST3 (65 mg/L), permitindo concluir uma alta labilidade do P neste solo ornitogênico.

Os resultados aqui apresentados permitem inferir que a produção vegetal nos trechos fosfatizados da Ilha da Trindade está não somente atrelada a oferta dos nutrientes nos solos, mas também à boa eficiência de utilização de alguns nutrientes obtida para cada espécie nos diferentes sítios amostrados.

A produção vegetal depende também do equilíbrio nutricional adequado dos minerais acumulados na sua parte aérea, sem que haja, portanto, limitações por parte de um ou mais nutrientes estarem excessivos ou faltosos diante do contexto dos demais, em especial destaque a limitação de Al por excesso na composição mineral das plantas.

5. CONCLUSÕES

Observaram-se diferenças no acúmulo, eficiência de utilização e equilíbrio de minerais entre as espécies estudadas, e entre os sítios amostrados, sendo a *B. nesiotis* a espécie menos produtiva em massa de matéria seca de parte aérea por unidade de área, a mais acumuladora de nutrientes, e predominantemente a menos eficiente em transformar o nutriente assimilado em biomassa produzida.

Utilizar-se de informações de teores, eficiência de utilização e equilíbrio da composição mineral das plantas, acrescida de informações de análises de solos e substratos, proporciona uma abordagem mais abrangente da nutrição das plantas e de seus potenciais produtivos nos diferentes ambientes.

6. REFERÊNCIAS CITADAS

- ALVAREZ V., VH. & LEITE, R.A. 1999. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculo dos índices DRIS. B. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo, 24:20-25.
- ALVES, R. J. V. 1998. Ilha da Trindade & Arquipélago Martin Vaz: Um Ensaio Geobotânico. Serviço de Documentação da Marinha, DHN, 144 p., Niterói, RJ, Brasil.
- ALVES, R. J. V. 2006. Terrestrial vascular floras of Brazil's oceanic archipelagos. In: ALVES, R. J. V. & CASTRO, J. O. A. (orgs.). Ilhas oceânicas brasileiras: da pesquisa ao manejo. MMA - Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília. p.83-104.
- BARKO, J. W. & SMART, R. M. 1979. The nutritional ecology of *Cyperus esculentus*, an emergent aquatic plant, grown on different sediments. Aquatic Botany, 6:13-28.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; CARMO, D. N. & NEVES, J. C. L. 1986. Classificação nutricional de sítios florestais - Descrição de uma metodologia. Revista Árvore, 10:112-120.
- BATAGLIA, O.C. DECHEN, A.R. & SANTOS, W.R. 1992. Diagnose visual e análise de plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1002. Anais dos simpósios. Piracicaba, Fundação Cargil, p.369-393.
- BEAULFILS, E.R. 1973. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS): a general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. Soil Science Bulletin, n.1, Pietermaritzburg, 132 p
- CLEMENTE, E. de P.; SCHAEFER, C. E. G. R.; OLIVEIRA, F. S.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALVES, R. V.; SÁ, M. M. F.; MELO, V. de F. & CORRÊA, G. R. 2009. Topossequência de solos na Ilha da Trindade, Atlântico Sul. R. Bras. Ci. Solo, 33:1357-1371.
- CLEMENTE, E. P.; SCHAEFER, C. E. R. G. & OLIVEIRA, F. S. 2011. Proposta de Zoneamento Ambiental para a Ilha da Trindade (ES). Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 28p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 171).

- DEFELIPO, B. V. & RIBEIRO, A. C. 1997. Análises químicas dos solos – metodologia. 2 ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 26p.
- DROST, D. C. & DOLL, J. D. 1980. The Allelopathic Effect of Yellow Nutsedge (Cyperus esculentus) on Corn (Zea mays) and Soybeans (Glycine max). *Weed Science*, 28:229-233.
- EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análises de solos. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 212 p.
- FERNANDES, C. & MURAOKA, T. 2002. Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solo de cerrado. *Scientia Agricola*, 59:781-787.
- FONSECA NETO, F. P. 2004. Aves marinhas da ilha Trindade. p.119-146. In: BRANCO, J. O. (org.). Aves marinhas insulares brasileiras: bioecologia e conservação. UNIVALI, Itajaí. (<http://www.avesmarinhas.com.br/Capítulo6.pdf>). Acessado em 20/05/2011.
- FRANCELINO, M. R.; PEREIRA, A.B.; SÁ, M. M. F; SPIELMENN, A. A.; BREMER, U. F.; TONIN, A. & SCHAEFER, C. E. G. R. 2007. Influência da radiação solar na distribuição das comunidades vegetais nas áreas livres de gelo da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica. p. 2637-2642. Anais de XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis. INPE.
- KJELDAHL, J. 1883. "Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern." *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22:366-382.
- KYAMBADDE, J.; KANSIIME, F.; GUMAELIUS, L. & DALHAMMAR, G. 2004. A comparative study of Cyperus papyrus and Miscanthidium violaceum-based constructed wetlands for wastewater treatment in a tropical climate. *Water Research*, 38:475-485.
- LIEBIG, J. 1840. "Organic chemistry in its application in agriculture and physiology." (1 ed). Playfair, London.
- MARTINS, L. S. G. & ALVES, R. J. V. 2007. Regeneração Natural do Morro Vermelho, Ilha da Trindade. *Revista Brasileira de Biociências*, 5:39-41.
- PIMENTEL GOMES, F. 1991. O índice de variação, um substituto vantajoso do coeficiente de variação. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Circular Técnica n° 178.

- PROTRINDADE – Programa de Pesquisas Científicas na Ilha da Trindade. 2013. Disponível em <<https://www.mar.mil.br/secirm/p-trindade.html>>. Acesso em 01/07/2013.
- REIS, A.; TRES, D. R. & SCARIOT, E. C. 2007. Restauração na floresta ombrófila mista através da sucessão natural. *Pesq. Flor. Bras.*, 55:67-73.
- RUIZ, H. A. 2005. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:297-300.
- SÁ, M. M. F. 2010. Caracterização ambiental, classificação e mapeamento dos solos da Ilha da Trindade, Atlântico Sul. UFV, Viçosa, Minas Gerais, 58p. (Dissertação de Mestrado).
- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F. & NEVES, J. C. L. 2002. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. *R. Árvore*, 26:447-457.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; MICHEL, R. F. M.; VIANA, J. H. M. & TATUR, A. 2004c. Capítulo 7 - Fosfatização: processo de formação de solos na Baía do Almirantado e implicações ambientais. p. 47 – 58. In: SCHAEFER, C. E. G. R.; FRANCELINO, M. R.; SIMAS, F. N. B. & ALBUQUERQUE FILHO, M. R. (eds). 2004. *Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima – Baía do Almirantado, Ilha Rei George*. Neput, Viçosa, 192p.
- TATUR, A. & MYRCHA, A. 1989. Soil and vegetation in abandoned penguin rookeries (Maritime Antarctic). *Proc. NIPR Symp. Polar Biology*, 2:181-189.

**CAPÍTULO 2 – PRODUTIVIDADE, ACÚMULO, UTILIZAÇÃO E EQUILÍBRIO
DA COMPOSIÇÃO MINERAL DE PLANTAS EM ECOSISTEMAS
ORNITOGÊNICOS DA ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA MARÍTIMA**

RESUMO

LOCATELLI, Marcus Vinicius. D. S.c. Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2013. **Produtividade, acúmulo, utilização e equilíbrio da composição mineral de plantas em ecossistemas ornitogênicos da Ilha Rei George, Antártica Marítima.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves R. Schaefer, Co-orientador: Felipe Nogueira Bello Simas.

Na Antártica Marítima as áreas fosfatizadas por aves marinhas são ecossistemas bastante diferenciados em relação à riqueza química, diversidade de minerais e de vegetação. Com o presente estudo buscou-se compreender melhor os aspectos nutricionais de quatro espécies vegetais ocorrentes na Antártica Marítima: duas plantas superiores (*Deschampsia antarctica* e *Colobanthus quintensis*), o musgo *Sanionia uncinata* e o líquen *Usnea aurantiaco-atra*. Foram determinados a concentração, acúmulo, eficiência e equilíbrio da composição mineral das plantas e do líquen, além de se estimar, pela primeira vez, a capacidade de produção *in loco* de matéria seca por unidade de área na Antártica. As produtividades variaram muito em função das espécies e dos sítios amostrados, assim como os teores de nutrientes e do Al. As eficiências de utilização dos nutrientes comportaram-se da mesma forma que a produtividade. O musgo foi a espécie mais produtiva e acumuladora de nutrientes em sua biomassa nos ambientes ornitogênicos antárticos; o líquen, em contrapartida, foi a menos produtiva e menor acumuladora. A *D. antarctica* mostrou-se mais produtiva e mais acumuladora de nutrientes do que a *C. quintensis*.

ABSTRACT

LOCATELLI, Marcus Vinicius. D. S.c. Universidade Federal de Viçosa, september de 2013. **Productivity, accumulation, use and balance of plant's mineral composition in ornithogenic ecosystems of George King Island – Maritime Antarctic.** Adviser: Carlos Ernesto Gonçalves R. Schaefer, Co-adviser: Felipe Nogueira Bello Simas.

In Maritime Antarctic the phosphatize areas for seabirds are different ecosystem in chemical richness, minerals diversity and vegetation. The present study sought to understand nutritional aspects of four plants that occurring in Maritime Antarctic: two higher plants (*Deschampsia antarctica* e *Colobanthus quintensis*), moss *Sanionia uncinata* and lichen *Usnea aurantiaco-atra*. Were determined the concentration, accumulation, efficiency and balance of mineral composition in plants and lichen. For the first time were estimated the production capacity *in situ* of dry matter per area unit in Antarctica Yields varied in the study depending of species and sites, the nutrient content of Al. The efficiencies of nutrient utilization like as productivity. Moss was most productive and most accumulator of nutrients in their biomass in Antarctic's ornithogenics environments. Lichen was less productive and less accumulator. The *D. antarctica* was more productive and accumulating nutrients than *C. quintensis*.

1. INTRODUÇÃO

Em alguns trechos de territórios insulares o aporte de nutrientes pelas aves marinhas propicia ecossistemas únicos, o que muitas vezes condiciona alta riqueza vegetal associada.

Na Antártica Marítima ocorre uma formação vegetal do tipo tundra antártica, a qual é constituída, essencialmente, por cianobactérias, algas, fungos, líquens, musgos, e por duas espécies de plantas superiores nativas, a *Deschampsia antarctica* Desv. (*Poaceae*) e *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. (*Caryophyllaceae*) (Tatur *et al.*, 1997). Uma terceira espécie de planta superior, a *Poa annua* L. (*Poaceae*), foi introduzida acidentalmente por atividades humanas e também já pode ser encontrada em várias localidades da Antártica Marítima (Chwedorzewska, 2008).

A tundra antártica possui estreita associação com diversas variáveis ambientais, tais como luminosidade, temperatura, vento, precipitação, disponibilidade de água líquida, solos, geomorfologia, fauna e proximidade com o mar (Tatur *et al.*, 1997; Cañadas, 2003; Simas, 2006), e de maneira mais específica, autores como Tatur & Myrcha (1984), Tatur *et al.* (1997), Schaefer *et al.* (2004b) e Simas (2006), relataram a associação entre as duas espécies de plantas superiores nativas da antártica com as áreas fosfatizadas por aves marinhas, das quais destacam-se as pinguineiras, que são as colônias formadas por pinguins durante sua época de reprodução, da primavera até o verão.

As pinguineiras caracterizam-se pelas elevadas densidades populacionais de pinguins, nas quais integram casais adultos e filhotes, resultando em grande aporte de resíduos nos solos, tais como fezes, cascas de ovos e animais mortos.

Tatur *et al.* (1997) citam que na porção ativa das pinguineiras ocorre uma baixa riqueza e abundância de vegetais, o que é devido à presença de níveis tóxicos de diversos elementos. Há apenas algumas espécies de líquens nitrofilicos revestindo as superfícies das rochas que afloram em meio a esses trechos, e também fora do alcance do pisoteio dos pinguins, e eventualmente

touceiras de *D. antactica* são observadas desenvolvendo-se nas frestas dessas rochas em meio às pinguineiras.

Tatur & Myrcha (1984) e Tatur *et al.* (1997) consideraram as zonas marginais das pinguineiras como ideais para o desenvolvimento vegetal da tundra antártica, por propiciarem um fornecimento adequado de nutrientes.

Schaefer *et al.* (2004b) mencionam também as áreas colonizadas por aves marinhas voadoras, como skuas e petréis, como importantes mantedoras da vegetação, pois essas aves expandem as áreas fosfatizadas a maiores distâncias das praias, e em maiores altitudes dos terrenos.

Tatur *et al.* (1997) verificaram grande variação na composição química de *D. antarctica* em função dos ambientes por eles amostrados, sendo que nas proximidades de pinguineiras ativas e das relicárias houve tendência desta planta possuir maiores teores de elementos como o N, P, K, Ca, Zn, Mn, Na e Sr, que por sua vez ocorrem em altas concentrações no guano dos pinguins. Os referidos autores consideram as áreas de entorno das pinguineiras como as mais favoráveis ao estabelecimento e desenvolvimento desta espécie de planta, em virtude do que seria uma alta demanda nutricional da mesma. No entanto, estes autores não dispunham de dados de produtividade, portanto, tendo realizado ponderações visuais de sua produtividade.

Tatur & Myrca (1989) encontraram altos teores de Zn e de P em amostras de *D. antarctica* coletadas em alguns sítios de seus trabalhos, permitindo que a planta fosse usada como indicadora para a identificação dos solos de antigas pinguineiras, mas que hoje não possuem nidificação apesar de ainda possuírem teores elevados de nutrientes que permitem o desenvolvimento de vegetação abundante.

Simas (2006), utilizando plantas como bioindicadoras de contaminações ambientais na Baía do Almirantado, constatou que teores de elementos acumulados na matéria seca de *D. antactica*, *C. quintensis*, musgos e líquens seguem alguns padrões de acordo com os diferentes grupos vegetais, apresentando o que seria uma seletividade preferencial de acúmulo de elementos em função da espécie ou do grupo de plantas.

Em outras áreas da ciência do solo comumente se empregam diferentes informações, além dos teores dos elementos, para avaliações da composição

mineral das plantas, e essas ferramentas permitem ponderações mais refinadas quanto aos nutrientes mais ou menos limitantes para o desenvolvimento vegetal, além de proporcionarem uma melhor ideia de um importante componente da ciclagem biogeoquímica de elementos, que é o conteúdo mineral alocado nos vegetais vivos para uma dada unidade de área.

Existem muitos trabalhos envolvendo o desenvolvimento vegetal na Antártica sob influencia de variáveis metereológicas, tal como os de Smith (1994) para com temperatura, mas poucos estudos no que tange à composição mineral das plantas.

Buscou-se, assim, compreender melhor a relação entre os nutrientes com a produtividade das espécies vegetais mais representativas da Antártica Marítima.

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi realizado no entorno da Estação Antártica Polonesa Henryk Arctowski, localizada entre os paralelos 62° 09' S e 62° 10' S, e os meridianos 58° 27' O e 58° 28' O, na margem da Baía do Almirantado, por sua vez localizada na Ilha Rei George, Antártica Marítima.

Na Baía do Almirantado a temperatura do ar nos últimos 30 anos variou entre -7,3 °C (média do inverno) e 2,3 °C (média do verão), com precipitações pluviométricas anuais, de água líquida, somando cerca 510 mm (Rakusa-Suszczewski *et al.*, 1993).

A litologia predominante da região é o basalto e o andesito (Simas, 2006), com solos ornitogênicos em muitos trechos de sua extensão.

Quanto ao histórico de ocupação das aves na área de estudo, Antarctic Special Protected Area 128 (ASPAs – 128), Chwedorzewska & Korczak (2010) no ano de 1978 contaram 10140 ninhos de pinguins-de-adelia (*Pygoscelis adeliae*), 638 ninhos de pinguins-antárticos (*Pygoscelis antarctica*), 783 ninhos de pinguins-papua (*Pygoscelis papua*) e 38 ninhos de skuas (*Catharacta* sp.), e em 2006 contaram 4471 ninhos de *Pygoscelis adeliae* (queda para 55,9 % do contado inicialmente), 1 de *Pygoscelis antarctica* (aproximadamente 100 % de queda), 129 de *Pygoscelis papua* (83,5 % de queda) e 73 de skuas (aumento de 192 % em relação a população inicial).

Ainda na ASPA 128 há um antigo ninhal de petrel-gigante-do-sul (*Macronectes giganteus*), onde no qual, segundo Chwedorzewska & Korczak (2010), haviam 32 ninhos no verão de 2006, e no verão de 2011 durante a execução deste trabalho, foram contados 30 ninhos.

2.2. COLETA DE MATERIAIS

As amostras de plantas e de solos/substratos foram coletadas durante o mês de fevereiro de 2011 nas mediações da ASPA 128.

Buscou-se por meio de vários indicadores ambientais como geoforma do terreno, tipo de solo/substrato, tipo e densidade da vegetação, além do comportamento das aves, estratificar fitofisionomias distintas na área de abrangência de estudo, de modo que nove sítios foram amostrados, sendo que um deles amostrados em duas ocasiões diferentes, considerando-o como décimo sítio amostrado (Figura 1).



Figura 1 – Sítios amostrados nos arredores da ASPA – 128.

A quantidade de amostras coletadas foi limitada pela constante preocupação em se causar o mínimo possível de impacto, diante da baixa resiliência da vegetação, já relatada na literatura, e facilmente percebida em campo.

Assim, as amostragens foram feitas a partir da identificação de uma parcela que visualmente apresentou uma maior produtividade vegetal para uma dada fitofisionomia.

As espécies vegetais escolhidas para a amostragem foram aquelas consideradas mais abundantes e abrangentes entre as diversas fitofisionomias, sendo as duas plantas superiores nativas, *Deschampsia antarctica* e *Colobanthus quitensis*, o musgo *Sanionia uncinata*, e o líquen *Usnea aurantiaco-atra*. Coletou-se somente a parte aérea dos vegetais superiores, e no caso dos musgos, coletou-se o talo superior com estrutura rígida e túrgida acima do solo. Apesar de não serem plantas, os líquens integraram as

amostragens de vegetação, tendo sido recolhido todos os talos completos dos indivíduos para as análises.

Utilizando um gabarito quadrado de área interna de 625 cm² (25 × 25 cm) coletou-se os órgãos acima do solo das espécies vegetais ali existentes, e o solo/substrato mineral na camada de 0 a 10 cm de profundidade.

Os sítios amostrados são devidamente descritos no quadro 1, e ilustrados na figura 2.

Quadro 1 – Denominação, código, descrição, latitude, longitude e altitude dos sítios amostrados.

Denominação	Código	Descrição	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Sítio Antártica 1	AN1	Praia próxima ao Glaciar Ecology, cobertura mista de <i>Deschampsia antarctica</i> e <i>Colobanthus quintensis</i>	S 62° 10' 08,7"	O 58° 27' 43,7"	0,5
Sítio Antártica 2	AN2	Cobertura monodominada por <i>Sanionia uncinata</i> , no terço inferior de uma acentuadamente inclinada encosta de moraina, onde havia um ninhal ativo de petreus-gigantes no topo	S 62° 09' 55,8"	O 58° 77' 37,4"	6,0
Sítio Antártica 3	AN3	Topo de moraina, a 1 m de distância do ninhal ativo de petrêis-gigantes, cobertura vegetal mista, dominada por <i>Deschampsia antarctica</i> mas com indivíduos de <i>Colobanthus quintensis</i>	S 62° 09' 54,7"	O 58° 27' 40,2"	25,0
Sítio Antártica 4	AN4	Região denominada de Green Valley, geoforma côncava com acentuado hidromorfismo, cobertura vegetal monodominada por <i>Sanionia uncinata</i>	S 62° 09' 50,0"	O 58° 28' 04,8"	40,0
Sítio Antártica 5	AN5	Quarto inferior de encosta moderadamente inclinada do morro da cruz, cobertura vegetal bastante rica em líquens e musgos, amostrando-se somente <i>Deschampsia antarctica</i> e <i>Usnea aurantiaco-atra</i>	S 62° 09' 49,8"	O 58° 28' 06,2"	41,0

Continua...

Continuação do quadro 1...

Denominação	Código	Descrição	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Sítio Antártica 5	AN5	Quarto inferior de encosta moderadamente inclinada do morro da cruz, cobertura vegetal bastante rica em líquens e musgos, amostrando-se somente <i>Deschampsia antarctica</i> e <i>Usnea aurantiaco-atra</i>	S 62° 09' 49,8"	O 58° 28' 06,2"	41,0
Sítio Antártica 6	AN6	Terço médio de encosta moderadamente inclinada do morro da cruz, cobertura vegetal bastante rica em líquens e musgos, amostrando-se <i>Deschampsia antarctica</i> , <i>Usnea aurantiaco-atra</i> e <i>Colobanthus quintensis</i>	S 62° 09' 49,5"	O 58° 77' 06,3"	42,0
Sítio Antártica 7	AN7	Afloramento rochoso à jusante da pinguineira principal (maior) da ASPA 128, a cerca de 3 m do mar, cobertura vegetal monodominada por <i>Deschampsia antarctica</i> que está diretamente sobre delgada camada de resíduos orgânicos sobre a rocha	S 62° 09' 44,2"	O 58° 27' 43,3"	1,0
Sítio Antártica 8	AN8	Similar ao AN4, porém, amostrado cerca de 1 mês após AN4	S 62° 09' 50,1"	O 58° 28' 04,9"	40,0
Sítio Antártica 9	AN9	Uma amostra composta por oito amostras simples de indivíduos do líquen <i>Usnea aurantiaco-atra</i> sobre as rochas, a uma altura maior do que 20 cm do solo, abrangendo AN5 e AN6	Arredores de AN5 e AN6		
Sítio Antártica 10	AN10	Cobertura vegetal mista em topo de morro nas proximidades de uma rocha muito utilizada como ponto de observação de skuas, foram amostrados <i>Usnea aurantiaco-atra</i> , <i>Deschampsia antarctica</i> e <i>Colobanthus quintensis</i>	S 62° 09' 49,6"	O 58° 27' 57,0"	42,0

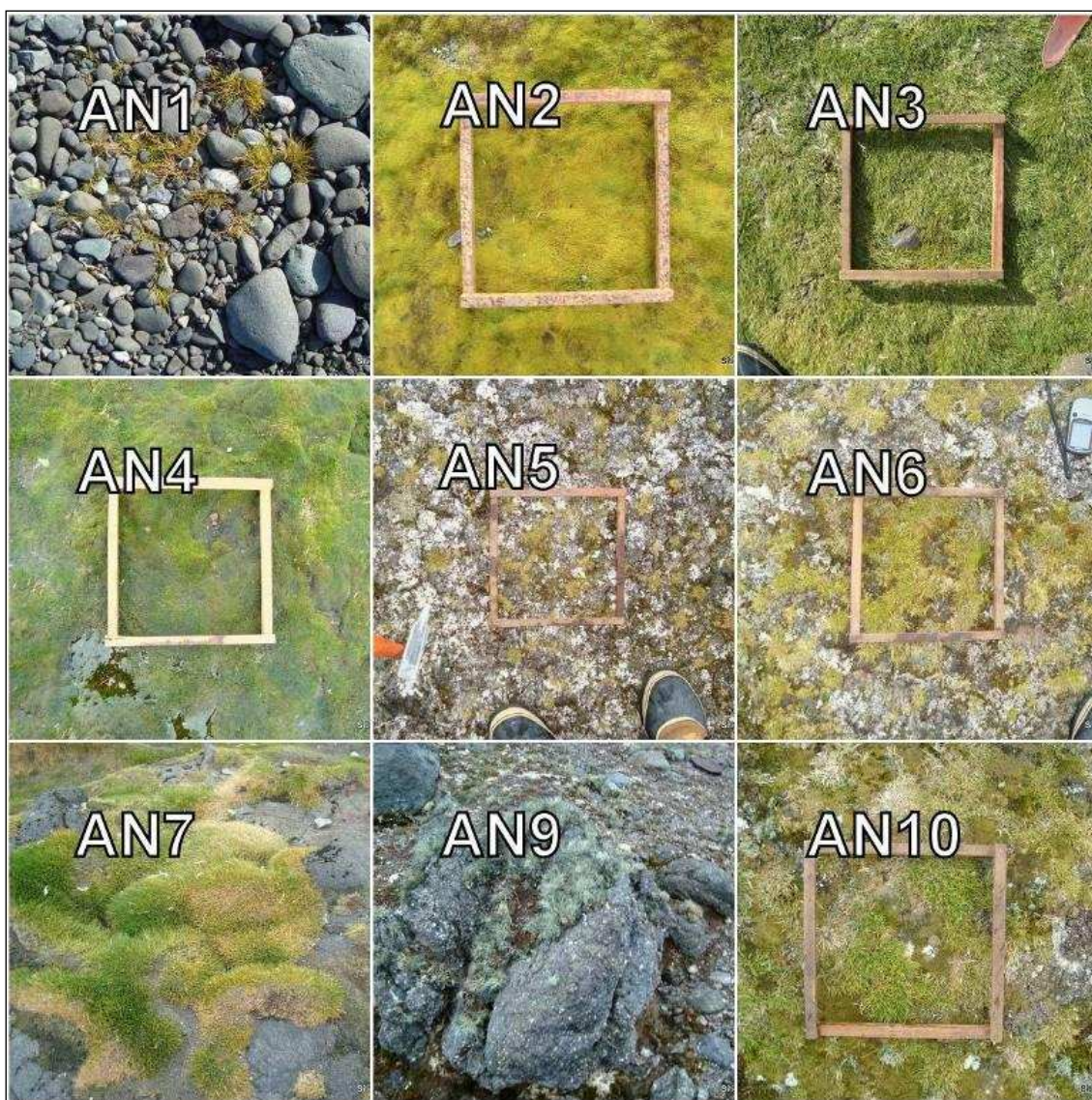


Figura 2 - Parcelas amostradas em cada sítio.

Foram coletadas, ainda, 10 amostras simples de guano fresco na superfície de pinguineira ativa que formaram uma amostra composta, 15 montículos intactos e frescos de fezes frescas de skuas que formaram uma amostra composta, e 7 exemplares vivos de kril que também formaram uma amostra composta. Os exemplares de kril foram coletados ao longo das praias durante os dias de campo.

2.3. PROCESSAMENTO E ANÁLISES DAS AMOSTRAS

No mesmo dia de coleta de cada amostras vegetal e de kril, as mesmas foram devidamente lavadas em água deionizada, e seguiram para a secagem em estufa a 65 °C onde ficaram até adquirir massa constante. As massas de matéria seca da vegetação foram aferidas, obtendo-se assim dados de produção por unidade de área para cada espécie e em cada sítio amostrado.

Frações dessas amostras vegetais foram trazidas ao Brasil, e analisadas nos laboratórios do Departamento de Solos da UFV.

As amostras de vegetais, fezes de aves e kril foram moídas e submetidas à mineralização por calcinação em mufla, despendendo, em ordem cronológica, os binômios de temperatura e tempo de 200 °C por 1 h, 300 °C por 1/2 h, 400 °C por 1/2 h e 500 °C por 3 h. Após a queima, foram deixadas esfriando por 12 h dentro da mufla desligada.

As cinzas das amostras calcinadas foram diluídas em solução de HCl 0,1 mol/L, e as soluções resultantes foram deixadas por 3 horas para atingir equilíbrio ainda nos respectivos cadinhos que foram levados à mufla. Essas soluções foram pipetadas e filtradas em filtros de passagem lenta para tubos do tipo falcon, onde foram adicionados 17 mL de água deionizada em cada um.

A solução resultante seguiu para o espectrofotômetro de emissão em plasma induzido, determinando-se assim os teores de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, B, Mo, Cu, Al e Ni.

Para o N-total as análises foram feitas pelo método Kjeldahl (Kjeldahl, 1883), o qual envolve a digestão das amostras por H₂SO₄ aquecido, e Se como catalisador, e posteriormente com os extratos passando pelo destilador Kjeldahl, assim os teores de N totais foram obtidos por titulometria da solução resultante.

Todas as amostras de solos/substratos foram submetidas às análises químicas de rotina, de acordo com Defelipo & Ribeiro (1997), e as análises texturais foram executadas conforme alterações propostas por Ruiz (2005) ao método descrito em EMBRAPA (1997).

2.4. ANÁLISES DOS RESULTADOS

Dispondo dos resultados analíticos dos teores dos elementos da matéria seca das partes aéreas das plantas, foram obtidas as médias, os erros-padrões das médias e os índices de variação (IV) dos teores acumulados em cada espécie.

Segundo Pimentel Gomes (1991) o IV é calculado por meio da equação:

$$IV = CV / n^{0,5}$$

Em que,

CV = coeficiente de variação (%), e;

n = número de observações.

A partir da massa total de matéria seca da parte aérea e do conteúdo de nutrientes alocados nas plantas, obteve-se uma estimativa da Eficiência de Utilização dos Nutrientes (EUN) em cada amostra, o que se deu a partir da metodologia apresentada por Barros *et al.* (1986):

$$EUN = W / Q$$

Em que,

EUN = estimativa da eficiência utilização do nutriente, expresso em massa de matéria seca por massa de elemento químico (kg/kg),

W = massa de matéria seca da parte área (kg), e;

Q = conteúdo total do nutriente (kg).

Com o intuito de atender os estudos de equilíbrio de elementos químicos, ou equilíbrio dos minerais alocados na biomassa vegetal, adaptou-se neste trabalho uma modificação nos índices de equilíbrios nutricionais do Sistema Integrado de Diagnóstico e de Recomendação (DRIS), que foi proposto por Beaulfils (1973), tornando índices de equilíbrios absolutos, assim ficando:

$$(A/B) = [(A/B)' - (a/b)] / C$$

Em que,

(A/B) = diferença da relação quociente entre o elemento A e o B da amostra em análise e a relação da amostra de referência;

(A/B)' = relação quociente direta entre os teores dos elementos A e B na amostra vegetal em análise (g/kg e mg/kg, respectivamente para macronutrientes, e micronutrientes mais o Al);

(a/b) = relação dual direta entre os teores dos elementos A e B da amostra com maior produtividade, ou de referência, dentro de cada

espécie em análise (g/kg e mg/kg, respectivamente para macronutrientes, e micronutrientes mais o Al), e;

C = coeficiente de aproximação, no presente trabalho considerou-se C como igual a 100, cuja finalidade foi obter valores de menores magnitudes, facilitando assim a visualização dos resultados.

Em seguida calculou-se o análogo ao índice DRIS para cada elemento em análise a partir da equação:

$$\text{InA} = [(A/B) + (A/C) + \dots + (A/N) - (B/A) - (C/A) - \dots - (N/A)] / 2(n-1)$$

Em que,

InA = Índice de Equilíbrio Mineral para o elemento A;

A, B, C... e N = elementos envolvidos no diagnóstico, e;

n = número de elementos envolvidos no diagnóstico.

3. RESULTADOS

Dentre as espécies estudadas destacou-se como a mais produtiva em matéria seca aérea o musgo *S. uncinata*, e na sequência, com produtividades bem menores, a *D. antactica* e a *C. quintensis*, com valores próximos entre si, seguidas pela *U. aurantiaco-atra*. Todas as espécies apresentaram grande variabilidade na sua produção entre sítios amostrados, o que pode ser notado pelos altos IV obtidos (Figura 3).

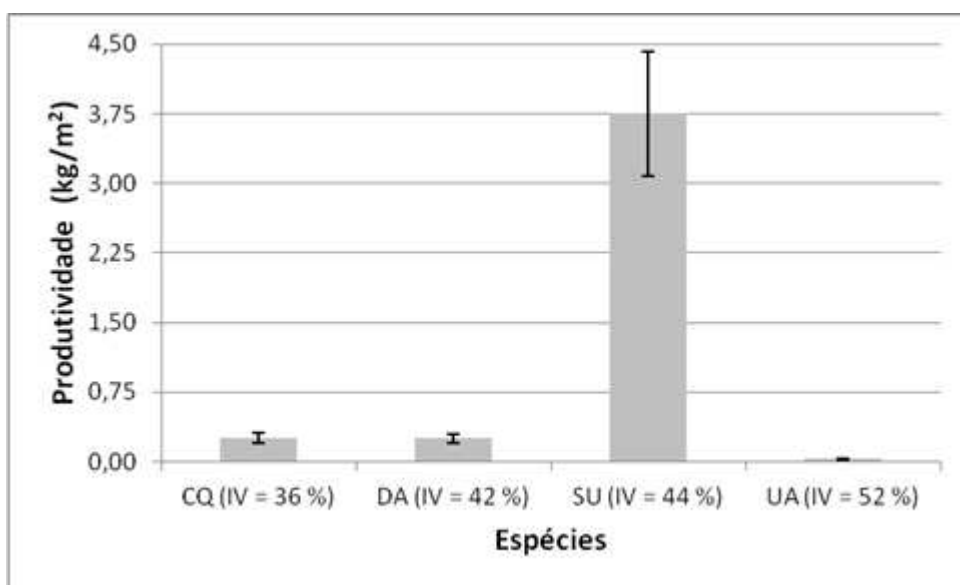


Figura 3 – Produtividades médias e IV das quatro espécies abrangidas neste estudo. As linhas nas barras representam os erros-padrões das médias. Em que: CQ = *Colobanthus quintensis*; DA = *Deschampsia antarctica*; SU = *Sanionia uncinata*, e; UA = *Usnea aurantiaco-atra*.

Os sítios mais produtivos amostrados neste trabalho ocorreram sobre solos hidromórficos no Green Valley, AN4 e AN8, com monodominância de *S. uncinata*, que produziram, respectivamente, 5,45 e 5,65 kg/m² de matéria seca (Quadro 2).

Os teores de nutrientes das amostras mais produtivas foram apresentadas e destacadas no quadro 2, de maneira que se tem uma primeira inferência do que seriam os teores ótimos dos nutrientes para cada uma das espécies desenvolvendo-se *in loco*.

Quadro 2 – Teores e produtividades individuais de cada espécie vegetal nos sítios amostrados. Em destaque, sublinhado, estão as referências mais produtivas utilizadas nas análises de equilíbrio mineral.

Espécie / sítio	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Mn	B	Cu	Ni	Mo	Al	Produtividade
	g/kg					mg/kg					(kg/m ²)				
CQ/AN1	8,76	3,01	18,14	1,69	2,41	0,77	128,03	62,72	80,55	148,63	10,04	0,15	0,12	165,38	0,17
CQ/AN3	28,97	4,98	13,66	4,86	2,39	1,98	194,29	74,55	97,36	60,71	3,01	0,01	0,31	248,60	0,25
<u>CQ/AN6</u>	<u>93,95</u>	<u>2,97</u>	<u>11,75</u>	<u>3,24</u>	<u>2,94</u>	<u>0,64</u>	<u>211,48</u>	<u>149,59</u>	<u>139,37</u>	<u>129,50</u>	<u>10,27</u>	<u>0,27</u>	<u>0,02</u>	<u>349,36</u>	<u>0,35</u>
DA/AN1	9,43	2,00	13,05	1,21	1,31	0,70	136,58	12,47	49,02	45,03	11,36	0,42	0,21	157,28	0,16
<u>DA/AN3</u>	<u>30,06</u>	<u>5,89</u>	<u>16,61</u>	<u>3,29</u>	<u>1,88</u>	<u>1,95</u>	<u>185,99</u>	<u>86,47</u>	<u>111,26</u>	<u>52,28</u>	<u>4,44</u>	<u>0,03</u>	<u>0,24</u>	<u>205,61</u>	<u>0,41</u>
DA/AN5	12,84	3,33	10,71	2,07	1,75	1,06	264,35	39,29	138,07	21,09	7,26	0,21	0,20	411,75	0,21
DA/AN6	11,18	3,29	10,89	2,06	1,64	0,95	153,60	44,73	118,92	34,07	8,05	0,25	0,09	229,88	0,23
DA/AN7	31,30	4,66	17,04	1,52	1,52	1,39	146,47	37,58	45,42	18,85	8,80	0,17	0,40	80,07	n.d.
DA/AN10	19,28	3,80	12,19	2,40	1,71	1,03	108,63	54,92	79,86	27,61	5,91	0,48	0,12	153,11	0,15
SU/AN2	7,99	1,86	1,89	4,06	1,76	0,56	1075,86	33,52	35,36	41,12	14,35	1,11	0,11	3567,03	3,38
SU/AN4	13,32	4,12	2,81	5,53	1,78	1,08	1249,84	74,43	66,76	41,29	9,73	1,68	0,43	5451,83	5,45
<u>SU/AN8</u>	<u>6,00</u>	<u>2,29</u>	<u>2,37</u>	<u>2,65</u>	<u>0,58</u>	<u>0,46</u>	<u>887,54</u>	<u>16,53</u>	<u>29,88</u>	<u>16,52</u>	<u>9,87</u>	<u>0,50</u>	<u>0,12</u>	<u>5645,55</u>	<u>5,65</u>
SU/AN10	19,28	3,79	3,18	5,88	2,86	0,84	329,93	58,19	66,05	42,61	1,04	0,43	0,25	1257,96	1,26
UA/AN5	2,72	0,71	1,98	13,13	0,46	0,34	101,77	62,19	7,16	81,24	4,04	0,04	0,68	34,13	0,03
<u>UA/AN6</u>	<u>60,54</u>	<u>0,98</u>	<u>3,38</u>	<u>6,13</u>	<u>0,46</u>	<u>0,26</u>	<u>95,26</u>	<u>41,92</u>	<u>10,40</u>	<u>55,81</u>	<u>4,60</u>	<u>0,17</u>	<u>0,42</u>	<u>45,99</u>	<u>0,05</u>
UA/AN9	2,48	0,73	1,73	6,20	0,30	0,22	61,63	29,36	4,38	33,54	2,69	0,04	0,23	24,51	n.d.
UA/AN10	n.d.	1,41	2,29	5,73	0,39	0,31	49,11	31,83	9,92	76,72	1,59	0,02	0,49	13,53	0,01

Em que: CQ = *Colobanthus quintensis*; DA = *Deschampsia antarctica*; SU = *Sanionia uncinata*, e; UA = *Usnea aurantiaco-atra*.

Como medida de variabilidade entre os teores de nutrientes e Al ao longo das amostras de uma mesma espécie, foram calculados índices de variação (IV), que de acordo com Pimentel Gomes (1991) é uma estatística mais adequada do que o CV para a correta avaliação de amostragens que não possuem o mesmo número de repetições (Quadro 3).

Quadro 3 – Índice de variação (IV) dos teores dos nutrientes e do Al nas espécies estudadas.

Elemento químico	CQ	DA	SU	UA
	%			
N	101,4	50,7	51,1	152,7
P	31,4	34,7	36,7	34,2
K	22,6	20,7	21,9	30,9
Ca	48,5	34,8	32,6	45,7
Mg	12,1	12,2	53,6	18,9
S	65,2	37,1	37,9	19,7
Fe	24,8	32,7	45,0	33,2
Zn	49,3	53,0	56,3	36,1
Mn	28,6	42,4	39,7	34,9
B	40,9	40,2	35,6	35,4
Cu	53,0	31,4	63,7	42,0
Ni	90,4	63,4	63,1	106,8
Mo	97,7	50,9	65,5	40,4
Al	36,2	54,8	51,3	46,8

Em que CQ = *Colobanthus quintensis*; DA = *Deschampsia antarctica*; SU = *Sanionia uncinata*, e; UA = *Usnea aurantiaco-atra*.

Os teores médios de nutrientes e de Al em função da espécie são apresentados nas figuras 4 e 5, e o conteúdo médio de nutrientes e de Al são apresentados nas figuras 6, 7 e 8.

Interessante notar que as amostras mais produtivas de massa de matéria seca da parte aérea de *C. quintensis* e *D. antarctica* foram as menos eficientes em produzir a biomassa mensurada em relação à massa de N assimilado e alocado nos seus tecidos, o que se nota pelas mais baixas eficiências de utilização deste nutriente (EUN) (Quadro 4).

Em relação ao equilíbrio dos nutrientes e do Al concentrados nas plantas, as figuras 9, 10, 11 e 12 mostram os desvios dos equilíbrios minerais das amostras em relação àquelas mais produtivas de cada espécie.

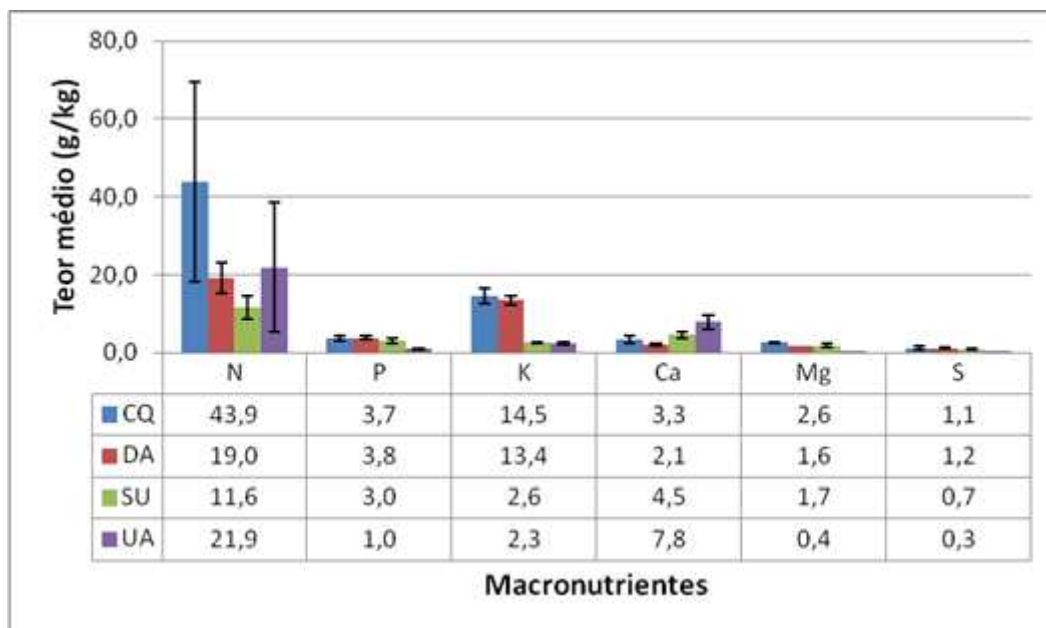


Figura 4 – Teores médios de macronutrientes encontrados nas quatro espécies de plantas estudadas. A linha na barra significa o erro-padrão da média. Em que CQ = *Colobanthus quintensis*; DA = *Deschampsia antarctica*; SU = *Sanionia uncinata*, e; UA = *Usnea aurantiaco-atra*.

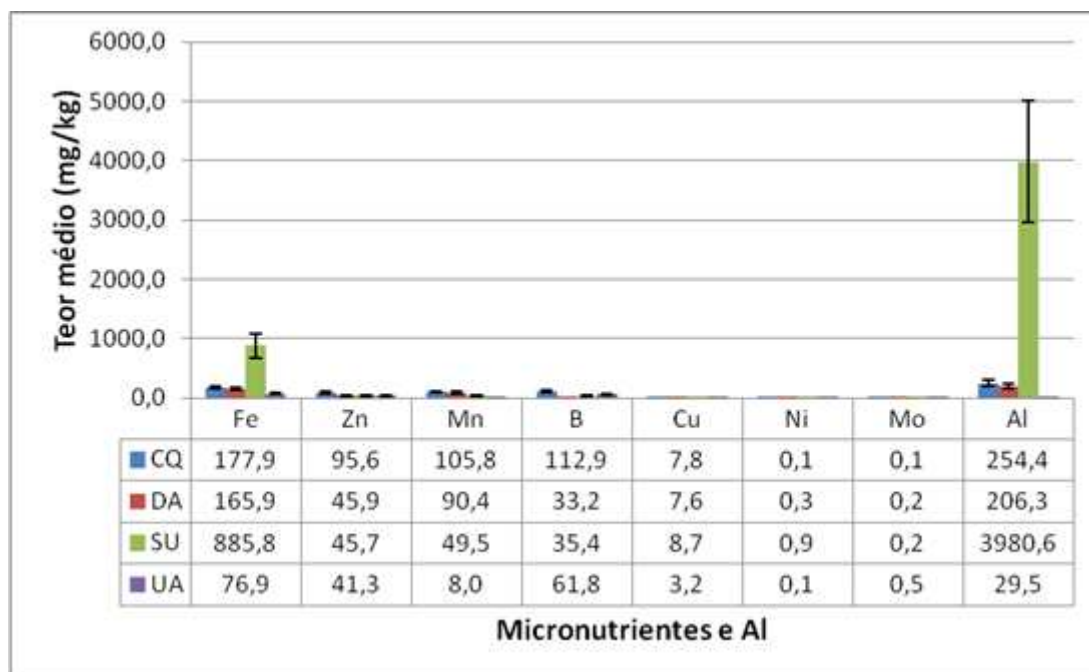


Figura 5 – Teores médios de micronutrientes e de Al encontrados nas quatro espécies de plantas estudadas. A linha na barra significa o erro-padrão da média. Em que CQ = *Colobanthus quintensis*; DA = *Deschampsia antarctica*; SU = *Sanionia uncinata*, e; UA = *Usnea aurantiaco-atra*.

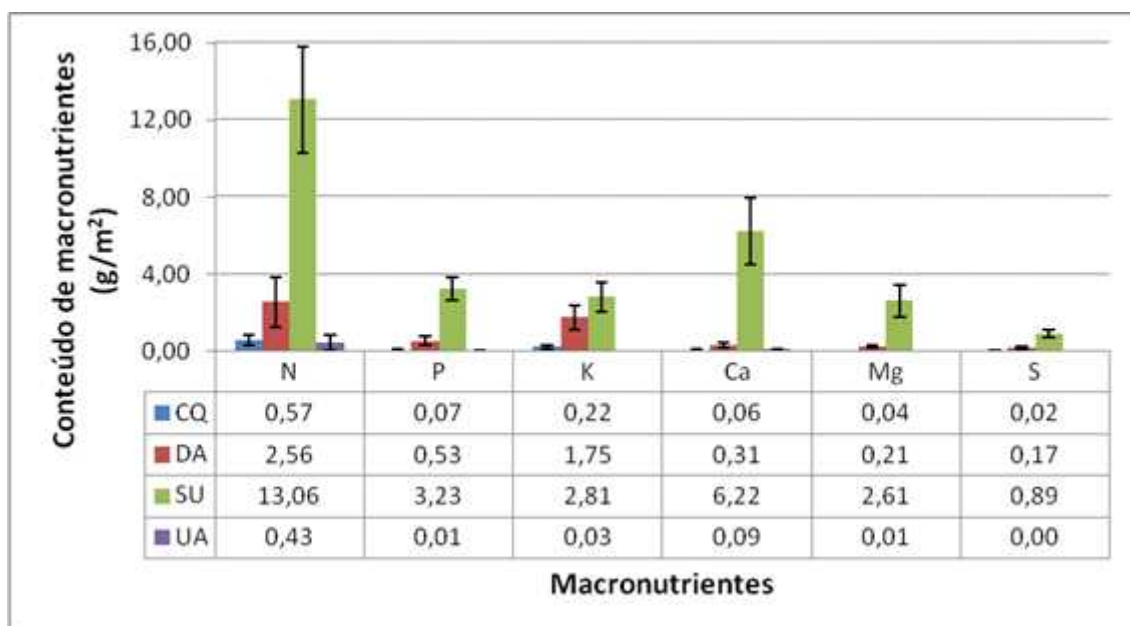


Figura 6 – Conteúdo médio de macronutrientes na massa de matéria seca das quatro espécies estudadas. A linha na barra significa o erro-padrão da média. Em que CQ = *Colobanthus quintensis*; DA = *Deschampsia antarctica*; SU = *Sanionia uncinata*, e; UA = *Usnea aurantiaco-atra*.

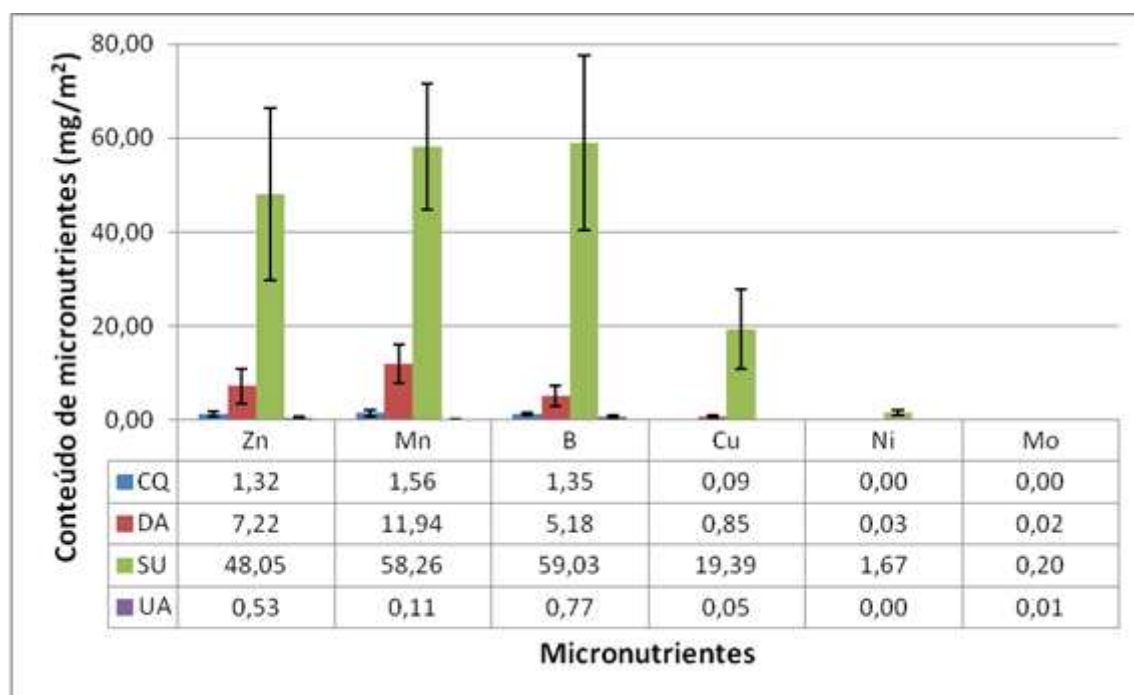


Figura 7 – Conteúdo médio de micronutrientes na massa de matéria seca das quatro espécies estudadas. A linha na barra significa o erro-padrão da média. Em que CQ = *Colobanthus quintensis*; DA = *Deschampsia antarctica*; SU = *Sanionia uncinata*, e; UA = *Usnea aurantiaco-atra*.

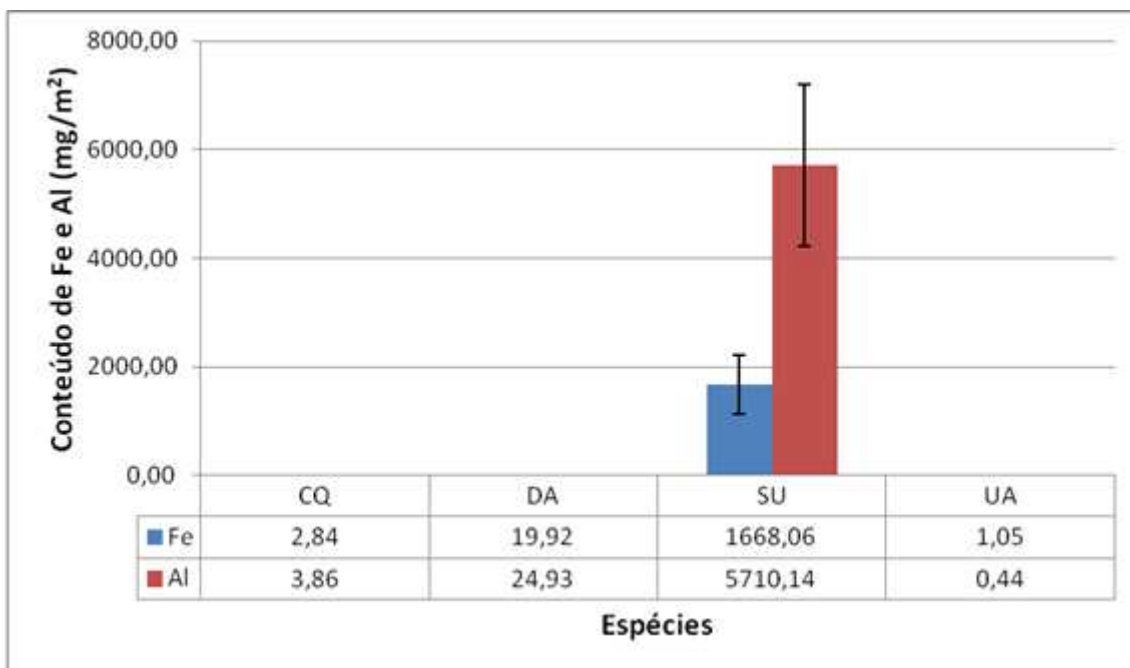


Figura 8 – Conteúdo médio de Fe e Al acumulados na de matéria seca das quatro espécies estudadas. A linha na barra significa o erro-padrão da média. Em que CQ = *Colobanthus quintensis*; DA = *Deschampsia antarctica*; SU = *Sanionia uncinata*, e; UA = *Usnea aurantiaco-atra*.

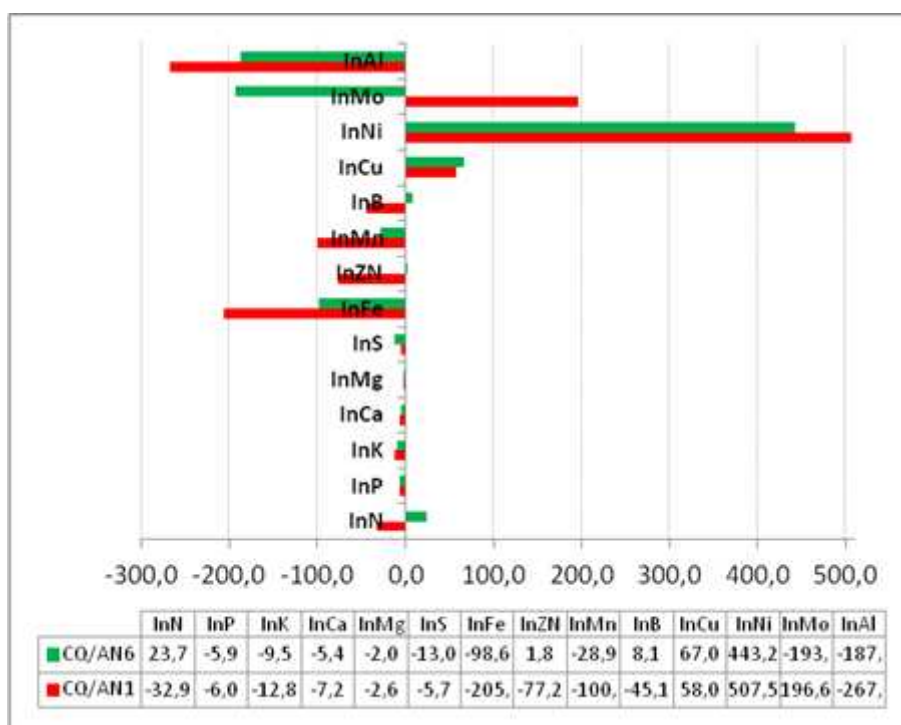


Figura 9 – Índices de equilíbrio mineral na composição de *Colobanthus quintensis* nos sites AN1 e AN6.

Quadro 4 – Eficiência de utilização de nutrientes (EUN) de cada espécie nos diferentes sítios amostrados. Sublinhadas as amostras mais produtivas em massa de matéria seca por área de cada espécie.

Espécie / Sítio	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Mn	B	Cu	Ni	Mo
	kg/kg												
CQ/AN1	114,2	332,5	55,1	590,9	414,6	1294,2	7810,4	15942,8	12415,1	6728,2	99567,6	6505242,8	8132491,3
CQ/AN3	34,5	201,0	73,2	205,7	418,9	505,7	5146,9	13414,4	10270,8	16472,5	331740,2	112368579,8	3270262,5
<u>CQ/AN6</u>	<u>10,6</u>	<u>337,0</u>	<u>85,1</u>	<u>308,5</u>	<u>340,2</u>	<u>1559,8</u>	<u>4728,5</u>	<u>6685,1</u>	<u>7175,3</u>	<u>7721,7</u>	<u>97377,9</u>	<u>3737149,6</u>	<u>54800000,0</u>
DA/AN1	106,0	500,0	76,6	829,2	764,2	1433,3	7321,5	80194,2	20399,5	22209,7	88005,2	2377039,0	4756711,2
DA/AN10	51,9	263,1	82,0	417,3	585,6	969,0	9205,9	18207,8	12521,6	36220,0	169198,2	2073206,4	8025348,4
<u>DA/AN3</u>	<u>33,3</u>	<u>169,8</u>	<u>60,2</u>	<u>303,6</u>	<u>531,0</u>	<u>513,3</u>	<u>5376,6</u>	<u>11564,5</u>	<u>8988,1</u>	<u>19129,6</u>	<u>225163,4</u>	<u>31234567,9</u>	<u>4120463,8</u>
DA/AN5	77,9	300,0	93,3	482,8	571,5	942,8	3782,9	25449,6	7242,7	47417,4	137661,6	4814319,1	4923556,3
DA/AN6	89,5	304,1	91,8	485,5	611,4	1056,1	6510,6	22358,5	8408,7	29348,5	124217,9	3924561,1	11118978,7
SU/AN10	51,9	264,2	314,0	170,0	349,2	1197,3	3031,0	17185,9	15141,0	23469,7	965048,4	2346499,3	4073520,9
SU/AN2	130,8	559,2	899,9	260,4	584,4	1876,5	907,9	51205,0	29290,9	24925,2	88802,6	964790,1	9372528,0
SU/AN4	75,1	242,5	356,1	180,9	561,9	928,0	800,1	13435,7	14978,3	24219,0	102730,0	594623,3	2340076,0
<u>SU/AN8</u>	<u>166,5</u>	<u>437,4</u>	<u>421,9</u>	<u>377,0</u>	<u>1737,7</u>	<u>2167,5</u>	<u>1126,7</u>	<u>60501,7</u>	<u>33465,4</u>	<u>60527,5</u>	<u>101340,1</u>	<u>1983843,5</u>	<u>8607557,7</u>
UA/AN10	n.d.	708,4	437,0	174,6	2582,7	3190,8	20361,1	31416,0	100843,2	13033,8	629707,2	59161968,1	2033969,0
UA/AN5	367,9	1412,4	503,8	76,2	2168,3	2948,9	9826,2	16080,3	139689,0	12309,0	247819,2	26400000,0	1470897,5
<u>UA/AN6</u>	<u>16,5</u>	<u>1024,8</u>	<u>296,3</u>	<u>163,1</u>	<u>2167,2</u>	<u>3869,6</u>	<u>10498,1</u>	<u>23857,0</u>	<u>96187,5</u>	<u>17918,0</u>	<u>217318,8</u>	<u>5818671,9</u>	<u>2372139,7</u>

Em que CQ = *Colobanthus quintensis*; DA = *Deschampsia antarctica*; SU = *Sanionia uncinata*, e; UA = *Usnea aurantiaco-atra*.

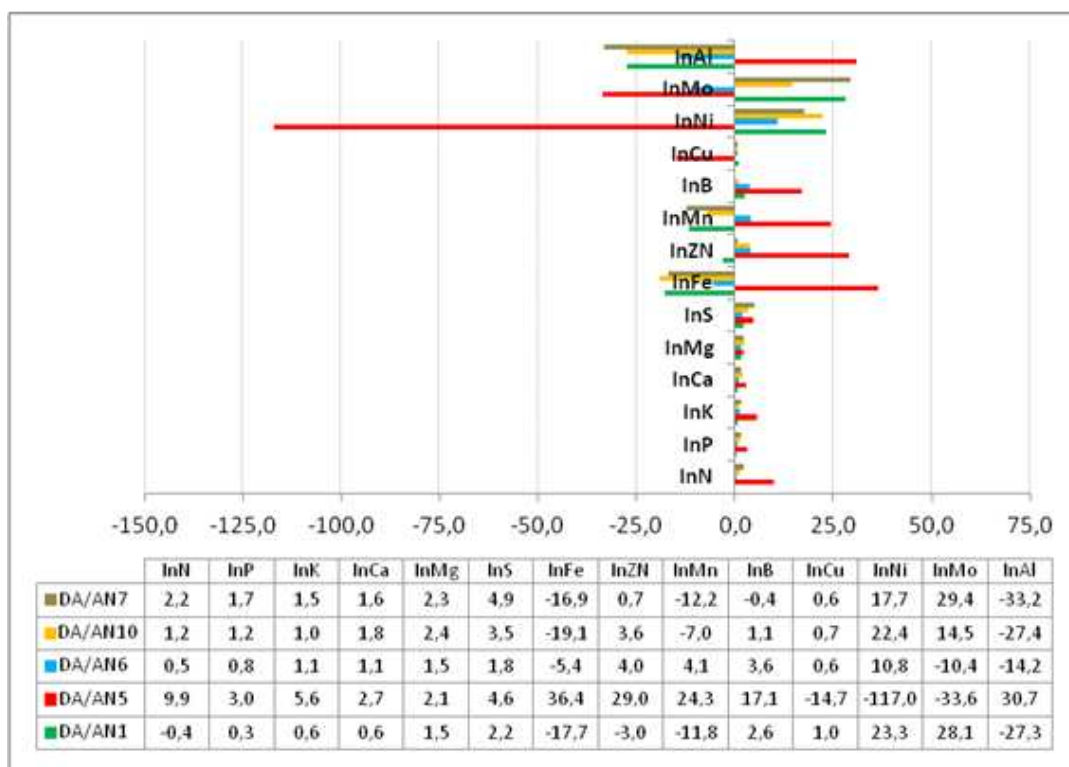


Figura 10 - Índices de equilíbrio mineral na composição de *Deschampsia antarctica* nos sítios AN1, AN5, AN6, AN7 e AN10.

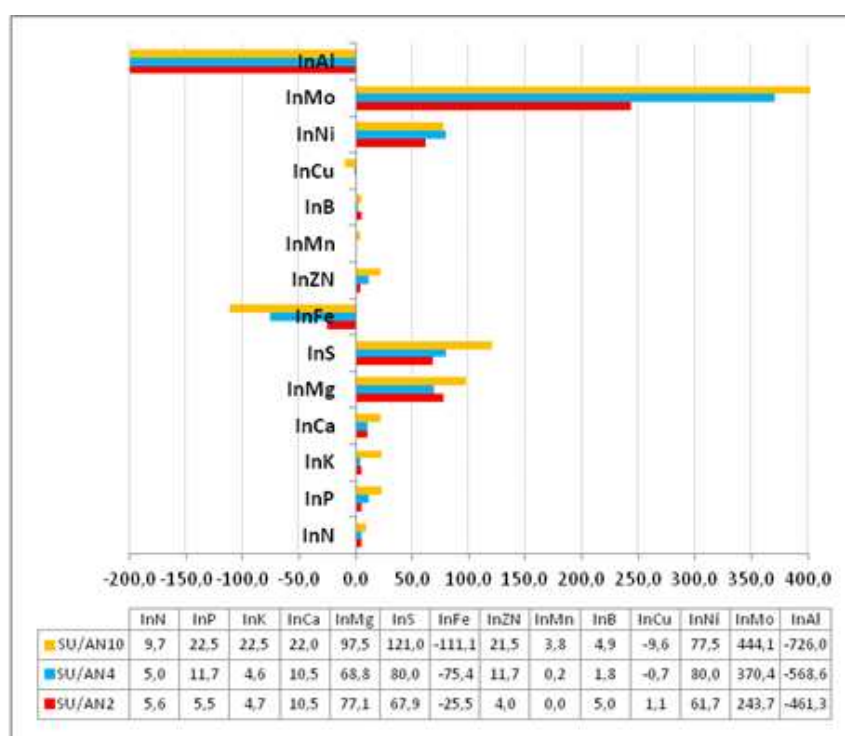


Figura 11 - Índices de equilíbrio mineral na composição de *Sanionia uncinata* nos sítios AN2, AN4 e AN10.

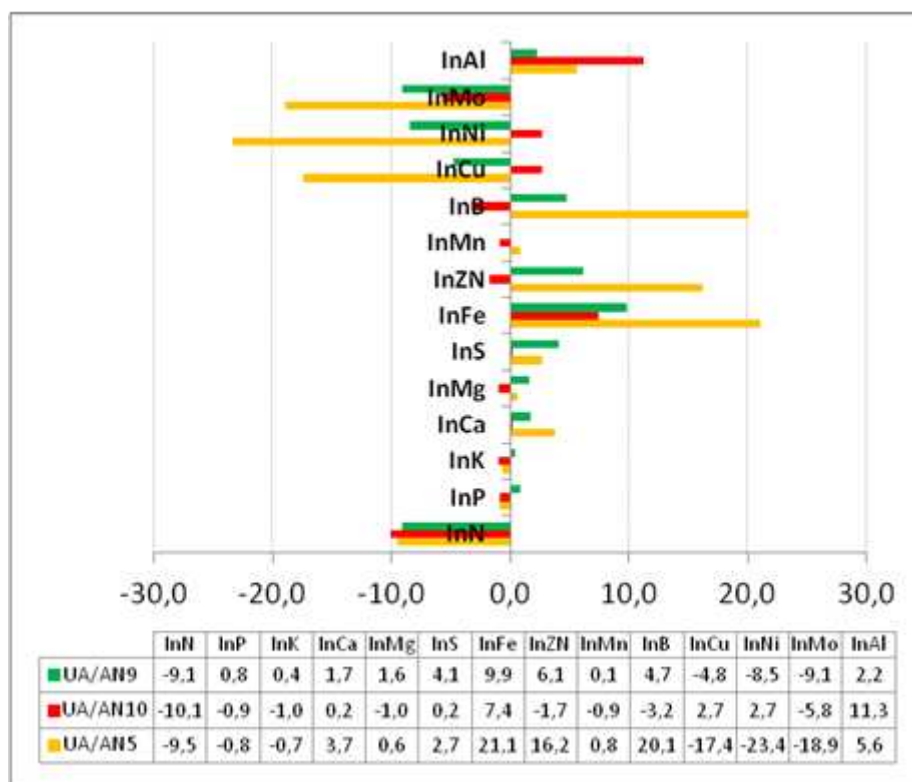


Figura 12 - Índices de equilíbrio mineral na composição de *Usnea aurantiaco-atra* nos sítios AN5, AN9 e AN10.

Na amostra do solo do sítio mais produtivo de *D. antarctica*, AN3 (beira de ninhal de petréis-gigante), foi onde se observou menor valor de pH em água (sendo 4,6) (Quadro 5).

Os sítios mais produtivos de *D. antarctica* (AN3) e de *C. quintensis* (AN6) foram os mais argilosos em relação aos demais (Quadro 6).

Como esperado, as amostras de fezes de skua e de pinguim-de-adelia mostraram-se ricas em nutrientes. Exceto pelo S e Zn, a amostra de fezes de pinguim esteve mais concentrada em todos os nutrientes analisados, e também em Al, e também os teores de K, Ca e Ni na amostra de kril foram maiores do que na amostra de fezes de skuas (Quadro 7).

Quadro 5 – Resultados das análises químicas das amostras de solos e substratos nos sítios estudados.

Sítio	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H + Al)	SB	ctc	CTC
			(mg/dm ³).....			(cmol _e /dm ³).....						
AN1	6,2	4,6	164,4	557,0	1980,6	3,7	4,4	0,0	1,1	18,0	18,0	19,1
AN2	6,7	4,8	150,7	537,0	2050,1	3,0	3,3	0,0	0,6	16,5	16,5	17,1
AN3	4,6	3,5	1019,8	399,0	661,0	5,2	2,6	3,0	16,1	11,7	14,7	27,8
AN4	5,0	3,2	1063,0	202,0	432,8	2,3	1,3	4,3	18,5	5,9	10,2	24,4
AN5	4,7	3,2	811,1	280,0	393,1	1,7	1,2	4,0	20,6	5,3	9,3	25,9
AN6	5,0	3,6	1368,1	359,0	661,0	4,0	2,2	2,7	17,2	10,0	12,8	27,2
AN10	4,5	3,6	1929,0	359,0	690,8	4,6	3,1	2,2	19,3	11,6	13,8	30,9

Sítio	V	m	ISNa	MOS	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
	(%).....		(dag/kg)		(mg/L)	(mg/dm ³).....			
AN1	94,3	0,0	47,7	0,0	46,7	1,1	191,0	29,1	9,3
AN2	96,5	0,0	54,1	0,3	54,6	1,1	180,1	36,0	9,0
AN3	42,1	20,5	19,5	4,9	29,0	5,7	256,2	27,2	8,7
AN4	24,2	42,0	18,4	2,0	31,1	1,0	278,6	14,4	6,6
AN5	20,4	43,1	18,4	2,9	33,4	0,9	270,6	13,0	6,7
AN6	36,9	21,4	22,5	4,9	27,6	3,9	143,1	3,5	5,5
AN10	37,5	16,2	21,8	8,6	29,3	15,3	244,1	4,3	12,8

Quadro 6 – Resultados das análises texturais das amostras de solos nos sítios estudados na Antártica e na Ilha da Trindade. Sublinhados estão os sítios mais produtivos em cada uma das localidades.

Sítio	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classe textural
	(dag/kg).....				
AN1	92,0	2,0	3,0	3,0	Areia
<u>AN2</u>	<u>93,0</u>	<u>2,0</u>	<u>3,0</u>	<u>2,0</u>	<u>Areia</u>
AN3	49,0	19,0	22,0	10,0	Franco-Arenosa
AN4	83,0	6,0	5,0	6,0	Areia
AN5	85,0	6,0	3,0	6,0	Areia
AN6	73,0	8,0	9,0	10,0	Areia-Franca
AN10	61,0	16,0	11,0	12,0	Franco-Arenosa

Quadro 7 – Resultados das análises químicas das amostras de fezes de pinguim e de skua, e de kril inteiro.

Amostra	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
	(dag/kg).....						
fezes pinguim	16,82	2,66	0,77	3,83	0,70	0,28	0,11137
fezes skua	10,31	1,34	0,16	2,42	0,63	0,93	0,01394
kril	9,69	1,23	0,28	2,56	0,35	0,18	0,00011

Amostra	Zn	Mn	B	Cu	Ni	Mo	Al
	(dag/kg).....						
fezes pinguim	0,01456	0,00321	0,00491	0,00556	0,00005	0,00011	0,07310
fezes skua	0,01770	0,00032	0,00354	0,00025	0,00002	0,00007	0,01029
kril	0,00259	0,00021	0,00357	0,00011	0,00003	0,00007	0,00367

4. DISCUSSÕES

A maior produtividade vegetal entre os sítios foram observados no Green Valley (AN8), caracterizados pela monodominância do musgo *S. uncinata*.

Na região denominada de Alto Ártico, a 79° de latitude Norte, Uchida *et al.* (2002) encontraram médias de produções de matéria seca de 17 g/m² de *S. uncinata*, considerando nas somas desta massa o que chamaram de partes verdes e partes marrons do referido musgo, o que proporciona constituintes do vegetal semelhante ao que se avaliou neste estudo. Os sítios de Uchida *et al.* (2002) apresentaram produtividades variando de 1 a 30 g/m² e, embora não tendo feito análises relacionadas à nutrição mineral, acreditam que o fator de produção de maior influência para a *S. uncinata* seja a disponibilidade de água líquida, que requerem em abundância.

Neste trabalho, mesmo o sítio menos produtivo de *S. uncinata* amostrado, o sítio AN10 localizado próximo à base de rocha aflorante, utilizada como ponto de observação das skuas, em solo bem drenado, apresentou produtividade estimada de 1,26 kg/m² (Quadro 2), ou seja, bastante superior ao encontrado nas amostras mais produtivas de Uchida *et al.* (2002), o que provavelmente se deve ao fato da localização da Antártica Marítima proporcionar condições menos austeras ao desenvolvimento da espécie em relação ao Alto Ártico.

No Green Valle os solos são hidromórficos, o que colabora para a monodominância do musgo e aparente suprimento de água para atender a alta demanda esperada para essas plantas, visto que em AN10 a produção de *S. uncinata* foi limitada pela não saturação de água no solo, o que permitiu também que outras espécies, como as plantas superiores, ali competissem agressivamente por recursos com o musgo. O sítio AN2 também possui monodominância de *S. uncinata*, embora tenha apresentado uma produtividade menor do que AN4 e AN8, fato que provavelmente se deve ao solo ser bem drenado, por tanto, colaborando com a premissa de que o maior limitante para a produtividade do musgo seja a disponibilidade de água.

Conforme mencionado, no período de tempo em que foram coletadas duas amostras de musgos no Green Valley não houve diferença muito grande entre as produtividades esperadas, no entanto, a amostra coletada um mês antes

(AN4), na fase inicial do verão, e provavelmente mais próxima de uma maior atividade de crescimento, se apresentou mais concentrada de teores de nutrientes como N (aproximadamente 2 vezes mais), P (~ 2 ×), Ca (~ 2 ×), Mg (~ 3 ×), S (~ 2 ×), Fe (~ 2 ×), Zn (~ 2 ×), Mn (~ 2 ×), B (~ 2 ×), Ni (~ 3 ×) e Mo (~ 3 ×), enquanto que para os nutrientes K e Cu, e o elemento Al os teores mensurados foram semelhantes.

O sítio mais produtivo de *D. antarctica* foi o AN3, na borda do ninhal ativo de petréis-gigantes, sob influência direta do excremento dessas aves, em solo pedregoso e de boa drenagem, onde também a *Poaceae* concentrou maiores teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, B e Mo. E o sítio com menor produtividade de *D. antarctica* (AN10) ocorreu associado ao musgo *S. uncinata*, e pode ter tido sua produção diminuída por efeito da competição entre essas plantas, sendo o referido musgo capaz de produzir elevada biomassa por unidade de área, aumentando a competição interespecífica, e quiçá alelopáticos.

Este efeito da competição já foi mencionado por Krna *et al.* (2009) que, ao estudarem o desenvolvimento da *D. antarctica* em ilhas da costa oeste da Península Antártica, notaram que esta se desenvolveu mais, em termos de biomassa e número de folhas por indivíduo, quando ocorriam sozinhos, em relação aos indivíduos que tinham musgos, *C. quintensis* e até mesmo outros indivíduos de *D. antarctica* nas proximidades. Nos indivíduos de *D. antarctica* que ocorrem isolados Krna *et al.* (2009) também notaram uma maior proporção de folhas verdes, o que pode estar relacionado a uma maior concentração de N nesses órgãos em decorrência de uma menor competição pelo nutriente na rizosfera.

Na ocasião da coleta as amostras de *D. Antarctica* os indivíduos encontravam-se em plena frutificação, aparentemente ambas no mesmo estágio avançado de desenvolvimento das sementes nas espigas, no entanto, visualmente a intensidade do verde das folhas variou entre os sítios amostrados, de modo a apresentarem-se com verde mais intenso quanto mais próximo das pinguineiras (AN7), do ninhal de petréis-gigantes (AN3), das rochas utilizadas como pontos de observação pelas skuas (AN10), das rochas aflorantes em meio às pinguineiras ou ao longo de sua drenagem, o que

provavelmente se deve à maior quantidade de N suprido nesses microambientes.

É plausível que, por estarem em fase final de desenvolvimento das sementes nas espigas, os teores de nutrientes nas folhas de *D. antarctica* foram menores aos que se obteria coletando amostras antes desta fase, o que também é possível inferir às amostras de *C. quintensis*, que possuíam botões florais, flores abertas e frutos em desenvolvimento em uma mesma planta.

Hil *et al.* (2011) demonstraram em seu trabalho que a *D. antarctica* tem uma especial predileção por absorverem N-NH_4^+ , seguido pela preferência em absorção de N nas diversas formas orgânicas como peptídios e aminoácidos, e uma baixa preferência por N-NO_3^- .

Esta forma de N preferencial na absorção de *D. antarctica* possivelmente é uma adaptação evolutiva imposta pelo local em que se desenvolvem, pois, como explicam Speir & Cowling (1984), o ácido úrico e NH_4^+ são as formas mais comuns de N em solos sob intensa e recente influência de pinguins, e que na medida em que maior tempo se passa de abandono de aves nessas áreas, a participação dessas formas de N nos solos abaixa e, em contrapartida, os teores de NO_3^- aumentam devido à ação de microrganismos nitrificantes presentes nos solos.

Speir & Cowling (1984) encontraram ainda uma grande participação de HPO_4^{2-} solúvel em água nas amostras de solos coletadas em trechos com intensa atividade de pinguins, o que faz com que o P seja um nutriente bastante disponível nessas áreas. A amostra mais produtiva de *D. antarctica* (AN3) foi a que mais concentrou P em seus órgãos aéreos.

As amostras do musgo *S. uncinata* e de *U. aurantiaco-atra* estavam sem aparentes sinais reprodutivos.

Quanto à espécie *C. quintensis* a amostra mais produtiva foi coletada em AN6, e teve um teor de N bastante superior às outras menos produtivas, o que pode ilustrar uma alta demanda de N pela espécie, pois a *C. quintensis* apresentou um maior potencial médio de concentração de N em seus órgãos aéreos em relação às demais espécies, enquanto a *S. uncinata*, por exemplo, destacou-se por seu elevado potencial de concentrar os elementos Fe e Al.

As duas plantas superiores apresentaram um destacado potencial de concentrarem K, e o líquen se destacou com a maior concentração de Ca.

Esses resultados de análises químicas de vegetais apontam para a mesma direção observada por Schaefer *et al.* (2004a), que verificaram uma tendência de que nas diferentes espécies vegetais a concentração dos elementos ocorre de maneira seletiva, sendo que briófitas como a *S. uncinata*, típicas de pontos mais hidromórficos, onde boa parte do Fe férrico é reduzido à Fe ferroso, forma esta bastante móvel e absorvível pelas plantas, e em relação aos líquens do gênero *Usnea*, que por sua vez ocorrem em substratos mais drenados, tendem concentrar mais Ca.

De modo geral, observa-se uma grande variabilidade entre os teores de elementos acumulados por uma mesma espécie em função do sítio, destacando-se em magnitude do IV o N para *C. quintensis* e também para a *U. aurantiaco-atra*, e o Ni para o líquen.

Altos IV podem indicar grande dependência das plantas em relação ao que é fornecido pelo ambiente em termos nutricionais, enquanto que valores mais baixos de IV como o Mg para *C. quintensis* e *D. antarctica*, por sua vez, podem indicar que todas as amostras coletadas dessas plantas absorveram próximo a um limite máximo do potencial para este nutriente, ou ainda que a disponibilidade de Mg pouco variou ao longo dos sítios amostrados.

Os resultados de acúmulo de nutrientes e de Al encontrados neste trabalho, e em outros disponíveis na literatura, embora apresentem ligeiras tendências, são muito variáveis e por isso, aparentemente, não são bons indicadores de padrões de acúmulo ou de produção de biomassa nas espécies estudadas, tal como Shaver & Chappin (1991) argumentam em seu trabalho sobre o acúmulo de elementos e de biomassa vegetal produzida em regiões do Ártico.

Verifica-se por meio dos resultados de conteúdo de nutrientes na biomassa por área (figuras 6, 7 e 8) que a *S. uncinata* destaca-se como a principal imobilizadora de nutrientes e de Al, seguida de longe pela *D. antarctica*, *C. quintensis* e *U. aurantiaco-atra*. O que torna plausível inferir que este musgo é o mais participativo componente vegetal da ciclagem biogeoquímica dos nutrientes na Antártica.

A alta demanda de N pelas espécies típicas de áreas ornitogênicas na Antártica, *C. quintensis* e *D. antarctica*, refletiu nas menores eficiências de utilização (EUN) de N entre as espécies estudadas, e este fato pode ser interpretado como uma maior produção de biomassa dessas plantas relacionando-se ao fornecimento abundante de N, onde as plantas precisam concentrar grandes teores para produzirem maiores massas de matérias secas.

Santana *et al.* (2002) estudando a correlação entre a eficiência de utilização de nutrientes e produção de eucalipto, constatou também que as maiores produtividades não estão necessariamente relacionadas às maiores eficiências de utilização dos nutrientes pelas plantas, desde que esses não sejam limitantes. Os autores discutem que esta variação na EUN pode ocorrer por vários fatores, destacando as limitações hídricas, características intrínsecas do material genético, e a não-obtenção do equilíbrio nutricional ótimo, havendo neste caso a limitação por um ou mais nutrientes.

Tatur *et al.* (1997) mencionam a existência de diferentes ecotipos de *D. antarctica* ao longo de diferentes trechos da área em estudo, evidenciando assim, grande variabilidade intra específica e, portanto, diferentes demandas nutricionais.

No caso da *S. uncinata* no sítio mais produtivo, o campo hidromórfico do Green Valley, com relativo menor trânsito de aves e por isso potencialmente sofrendo menor *input* de N, foi o mais eficiente dentre as amostras desta espécie em se utilizar N para produzir biomassa, contexto que pode ser interpretado por uma relativa menor demanda de N por esta espécie.

Ainda quanto a EUN o musgo *S. uncinata*, sendo a mais eficiente acumuladora de Fe dentre as espécies estudadas, apresentou uma baixa EUN para este micronutriente.

Em trabalho com abordagem semelhante na Ilha da Trindade, Brasil, o maior valor de EUN de P encontrado nas espécies de ciperáceas estudadas em áreas ornitogênicas foi 1874,74 kg/kg em *B. nesiotis* (vide capítulo 1), sendo, assim, acentuadamente maior do que o encontrado nas duas espécies de plantas superiores no presente estudo na Antártica, respectivamente 337 e 500 kg/kg para *C. quintensis* e *D. antarctica*.

Adaptando-se do trabalho de Fernandes & Muraoka (2002) que estudaram o acúmulo de nutrientes em 30 híbridos de milho, foi possível verificar uma EUN média para o P de 518,13 kg/kg, e para espécies arbóreas como *Eucalyptus saligna* EUN de 8942 kg/kg no tronco de (Santana *et al.*, 2002).

Para cada nutriente nas amostras de sítios menos produtivos em relação à referência é possível notar a mesma tendência de desequilíbrio (figuras 9, 10, 11 e 12), ou seja, os desvios de um dado nutriente nas amostras de uma espécie tendem a ser todos positivos ou negativos, em relação às referências mais produtivas.

Por exemplo, nas amostras de *C. quintensis* o Ni aparece entre os nutrientes mais frequentemente desequilibrados por excesso, em relação à referência, ao passo que o Fe desponta como o mais frequentemente desequilibrado por deficiência, o que indica que as produtividades poderiam ser maiores se, pelas plantas, houvessem menores absorções de Ni, combinado a maiores absorções de Fe.

Para a *D. antarctica* temos o Mo e o Ni como os mais frequentemente desequilibrados por excesso, e o Fe e o Mn como mais frequentemente desequilibrados por falta nas amostras diagnósticas.

Para *S. uncinata* o Mo e o Fe como, respectivamente, os mais frequentemente desequilibrados por excesso e por falta.

Em todas as amostras diagnosticadas do líquen *U. aurantiaco-atra*, o N e o Mo apresentaram-se desequilibrados por falta, e o Fe e o Al desequilibrados por excesso.

Os índices de equilíbrio de Al em todas as amostras menos produtivas que as referências das espécies *C. quintensis*, *D. antarctica* e *S. uncinata*, apresentaram-se como desequilibrados por deficiência, como se fosse limitante à produção de biomassa por sua falta diante do contexto mineral acumulado na sua biomassa. No entanto, sabendo-se do grande potencial de efeito tóxico deste elemento nas plantas de modo geral, e do seu não envolvimento em atividades metabólicas vitais às plantas, esta afirmativa não é plausível, assim, o que possivelmente ocorreu foi que nas amostras mais produtivas dessas

espécies foram toleradas maiores participações do elemento, proporcionado justamente por um melhor equilíbrio mineral nas mesmas.

Há muitas variáveis envolvidas na produção de massa de matéria seca da parte aérea dos vegetais na Antártica, contudo, é aceitável considerar que as populações de plantas mais produtivas são, necessariamente, bem nutridas, tendo absorvido não só quantidades satisfatórias dos nutrientes, como também um adequado equilíbrio ou proporção entre os mesmos, pois a ideia de equilíbrio nutricional, de certo modo, resgata a Lei do Mínimo proposta por Liebig (1840), a qual preconiza que mesmo que de modo geral os nutrientes estejam em níveis satisfatórios no corpo da planta, se houver um deles aquém do seu nível crítico a produtividade será limitada por este, e de forma análoga temos a Lei do Máximo, onde o limitante da produção é o nutriente em nível mais elevado em relação ao seu limite superior considerado adequado, resultando, assim, em toxidez, com isso resgatando a importância de um nutriente frente aos demais.

Relacionando atributos de solos com a ocorrência de *D. antarctica* na Ilha Rei George, Park *et al.* (2012), por meio de análises de componentes principais, encontraram positiva associação entre a abundância de plântulas (*seedlings*), matéria orgânica do solo, P disponível e altos teores de Na, sugerindo uma grande tolerância da planta aos substratos salinos. Os autores encontraram também, embora de baixa significância, associações entre a abundância da referida planta com valores mais baixos de pH.

Neste estudo, em um dos sítios menos produtivos da *Poaceae*, AN1 (praia sem fosfatização direta), o pH em água encontrado foi o maior dentre todos os sítios amostrados (6,7), o que pode explicar a maior EUN obtida pela espécie para o N que, conforme mencionado por Hill *et al.* (2011), a planta tem predileção a N-NH_4^+ , que por sua vez é mais estável em solos mais ácidos.

Devido ao pH mais baixo do solo de AN3 em relação a AN1, os teores de Al^{3+} foram bastante superiores, o que certamente proporcionou uma maior absorção e participação do Al no equilíbrio mineral nas amostras vegetais, e consequente valores de índices de equilíbrio de Al negativos nas demais amostras da poacea em relação à amostra mais produtiva em solo mais ácido.

As amostras de solos dos sítios mais produtivos de *C. quintensis* e de *S. uncinata*, respectivamente, AN6 (área de intenso trânsito de skuas, terço médio de moraina) e AN4 (região de solo hidromórfico no Green Valley), também se apresentaram ácidos e com altos teores de Al trocável, o que também explica os altos teores de Al nas amostras vegetais mais produtivas das referidas espécies, acarretando em desvios negativos de Al nas amostras, como se fossem deficientes em Al.

Os sítios mais produtivos de *D. antarctica* (AN3) e de *C. quintensis* (AN6) foram os mais argilosos em relação aos demais, o que também pode ter sido determinante para uma maior produção dessas espécies de plantas superiores, pois solos mais argilosos possuem maiores capacidades volumétricas de acúmulo de água.

Em relação a outros materiais analisados neste trabalho, ou seja as fezes de aves e kril, é importante ressaltar que as fezes de pinguins foram coletadas na superfície da pinguineira enquanto ainda havia grande densidade dessas aves no local, portanto, pode-se considera-las como frescas, e sabe-se que elas mudam de cor em função do tipo de alimento que as aves consomem, sendo mais rosadas no caso de maior consumo de kril, e mais esbranquiçadas quando o consumo de peixes é maior (Meyer-Rochow & Gal, 2003), e na ocasião da coleta apresentavam-se bastante rosadas.

Verifica-se os relativos elevados teores de micronutrientes nas fezes de pinguim, o que torna plausível inferir sobre a sua significativa contribuição na fertilização desses elementos para as plantas.

As amostras simples de fezes de skua foram coletadas após o crescimento e a migração dos filhotes de pinguins para fora dos ninhos na pinguineira, portanto, não representando mais o principal alimento das skuas. Nessas amostras foram visíveis a grande participação de fragmentos de ossos de peixes em sua constituição.

Sabe-se que aves de rapina como as skuas possuem o hábito de se empoleirarem em locais mais elevados como os afloramentos rochosos na área compreendida neste estudo, como estratégia de conseguirem uma visão mais ampla e privilegiada do que se passa a sua volta, tal como foi observado no campo, e é também notório que a vegetação apresenta-se mais adensada em

padrões de auréolas ao redor dessas rochas, onde são encontradas touceiras de *D. antarctica* mais vigorosas em relação ao seu entorno, tal como ocorreu no sítio AN10 em relação aos sítios semelhantes AN5 e AN6 (Figura 13).

No entanto, provavelmente o sítio AN10 não foi o mais produtivo para a espécie de poacea devido a alta competição que a mesma sofreu pelo desenvolvimento de outras plantas, em especial os musgos.

Outro aspecto interessante nesta relação aves-vegetação é relacionado aos padrões de deposições dos seus resíduos nos solos. A evacuação dos pinguins se dá por meio de fortes jatos que maximizam o contato do resíduo com a superfície do solo ou da rocha, diferentemente do padrão encontrado em muitas outras aves como as skuas, que evacuam na forma de montículos, que são mais facilmente removíveis da superfície pela erosão ou pelo vento (Figura 14).

Tal característica de evacuação nos pinguins também já despertou atenção dos autores Meyer-Rochow & Gal (2003), que relatam pressões de evacuação que, a depender da viscosidade das fezes do pinguim-de-adelia, podem chegar a 0,7 atm, atingindo marcas de 40 cm de comprimento, o que é bastante forte considerando um animal de 40 cm de altura.

Além dos elevados teores de minerais no guano dos pinguins, esta característica de evacuação provavelmente muito contribui para que uma proporção maior de fezes de pinguins se acumule no local de deposição, permitindo pronta reação, e criando um ecossistema mais rico em nutrientes.

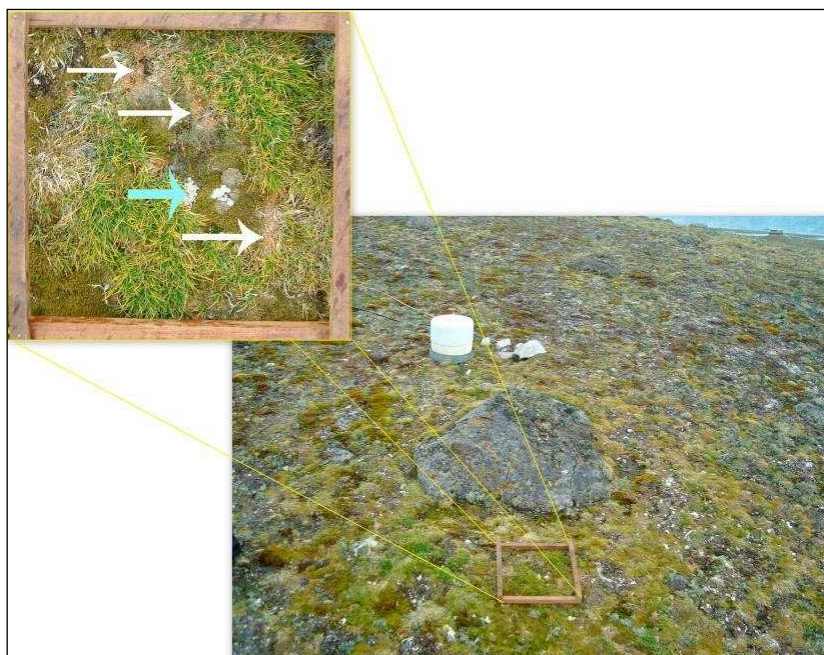


Figura 138 – Local de coleta do sítio AN10 evidenciando vegetação diferenciada no entorno das rochas afloradas. No detalhe setas brancas indicam danos na vegetação por interceptação direta de fezes de skua, e a azul indica vestígios ainda reconhecíveis de fezes de skua.

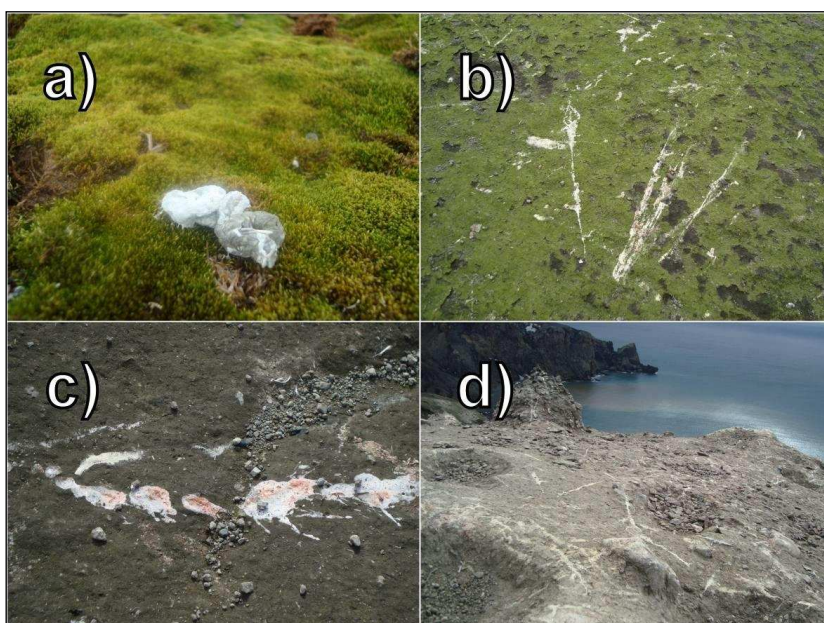


Figura 14 – Padrões de fezes de skua em montículos (“a”), e de pinguins-de-adelie em jatos longilíneos na ASPA-128 (b), e de pinguins-antárticos na Ilha Deception (“c” e “d”).

5. CONCLUSÕES

As produtividades muito variaram em função das espécies estudadas, e dos sítios amostrados.

Os teores nutricionais e do elemento Al, e as eficiências de utilização dos nutrientes comportaram-se de forma semelhante à produtividade.

O musgo *Saniona uncinata* foi a espécie vegetal de maior produção de massa de matéria seca por unidade de área dentre os sítios amostrados, sendo responsável pelo maior acúmulo de nutrientes na biomassa na superfície dos terrenos antárticos ornitogênicos.

O líquen *Usnea aurantiaco-atra* mostrou-se a menos produtiva em relação às espécies estudadas, e de potencialmente menor acúmulo de nutrientes na biomassa.

A poacea *Deschampsia antarctica* mostrou-se mais produtiva e mais acumuladora de nutrientes do que a outra espécie de vegetal superior nativa da Antártica Marítima, a *Colobanthus quintensis*.

O uso de ferramentas diferenciadas neste estudo de nutrição de plantas *in situ* permitiu uma abordagem diferenciada, em relação à concentração, acúmulo, eficiência e equilíbrio da composição mineral das plantas.

6. REFERÊNCIAS CITADAS

- BEAULFILS, E.R. 1973. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS): a general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. Soil Science Bulletin, n.1, Pietermaritzburg, 132 p.
- CAÑADAS, E. E. 2003. Paisaje natural y pisos geoecológicos em lãs áreas libres de hielo de la Antártida Marítima (Islã Shhetland de Sur). Boletín de la A. G. E. nº 35. p.5-32.
- CHOEDORZEOSKA, K. J. 2008. *Poa annua* L. in Antarctic: searching for the source of introduction. Polar Biol, 31:263–268.
- COCKS, M.P.; BALFUR, D.A. & STOCK, O.D. 1988. On the uptake of ornithogenic products by plants on the inland mountains of Dronning Maud Land, Antarctica, using stable isotopes. Polar Biol., 20:107-111.
- DEFELIPO, B. V. & RIBEIRO, A. C. Análises químicas dos solos – metodologia. 2 ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997, 26p.
- EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análises de solos. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 212 p.
- FERNANDES, C. & MURAOKA, T. 2002. Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solo de cerrado. Scientia Agricola, 59:781-787.
- FRANCELINO, M. R.; PEREIRA, A.B.; SÁ, M. M. F; SPIELMENN, A. A.; BREMER, U. F.; TONIN, A. & SCHAEFER, C. E. G. R. 2007. Influência da radiação solar na distribuição das comunidades vegetais nas áreas livres de gelo da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica. p. 2637-2642. Anais de XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis. INPE.
- GUGLIELMIN, M; EVANS, C. J. E. & CANNONE, N. 2008. Active layer thermal regime under different vegetation conditions in permafrost areas. A case study at Signy Island (Maritime Antarctica). Geoderma, 144:73–85.
- HILL. P. W.; FARRAR, J.; ROBERTS, P.; FARRELL, M.; GRANT, H.; NEWSHAM, K. K.; HOPKINS, D. W.; BARDGETT, R. D.; JONES, D. L. 2011. Vascular plant success in a warming Antarctic may be due to efficient nitrogen acquisition. Nature Climate Change, 1:50-54.

- Kjeldahl, J. "Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern." *Zeitschrift für analytische Chemie* 22.1 (1883): 366-382.
- KRNA, M. A.; DAY, T. A. & RUHLAND, C. T. 2009. Effects of neighboring plants on the growth and reproduction of *Deschampsia antarctica* in Antarctic tundra. *Polar Biology*, 32:1487-1494.
- MEYER-ROCHOW, V. B. & GAL, J. 2003. Pressures produced when penguins pooh - calculations on avian defaecation. *Polar Biol.*, (27): 56–58.
- MOURA, O. N.; PASSOS, M. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; GONZAGA, S.; LIRA, M. A.; CUNHA, M. V. 2006. Conteúdo de nutrientes na parte aérea e eficiência nutricional em *Mimosa caesalpinifolia* Benth. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 1: 23-29.
- PARK, J. S; AHN, I. & LEE, E. J. 2012. Influence of soil properties on the distribution of *Deschampsia antarctica* on King George Island, Maritime Antarctica. *Polar Biology*, 35:1703-1711.
- PIMENTEL GOMES, F. 1991. O índice de variação, um substituto vantajoso do coeficiente de variação. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Circular Técnica n° 178.
- RUIZ, H. A. 2005. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:297-300.
- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G. & COMERFORD, N. B. 2008. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2723-2733.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; PEREIRA, A. B.; FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; SIMAS, F. N. B.; COSTA, L. M. & OLIVEIRA, A. C. 2004. Capítulo 9 – Comunidades vegetais na Península Keller: ecologia e padrões de distribuição. p. 65-72. In: SCHAEFER, C. E. G. R.; FRANCELINO, M. R.; SIMAS, F. N. B. & ALBUQUERQUE FILHO, M. R. (eds). 2004. *Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima – Baía do Almirantado, Ilha Rei George*. Neput, Viçosa, 192p.
- SHAVER, G. R. & CHAPIN, F. S. 1991. Production: Biomass Relationships and Element Cycling in Contrasting Arctic Vegetation Types. *Ecological Monographs*, 61:1–31

- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; MICHEL, R. F. M.; PEREIRA, V. V. GOMES, M. R. M. & COSTA, L. M. 2007. Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: Phosphatization as a soil forming process. *Geoderma*, 138:191–203.
- SIMAS, F.N.B. 2006. Solos da Baía do Almirantado, Antártica Marítima: Mineralogia, gênese, classificação e biogeoquímica. Tese de Doutorado. Viçosa, UFV. 165f.
- SMITH, R. I. L. 1994. Vascular plants as bioindicators of regional warming in Antarctica. *Oecologia*, 99:322-328.
- SPEIR, T.O. & COOLING, J.C. 1984. Ornithogenic soils of the cape bird adolie penguin rookeries Antactica. *Polar Biol.*, 2:199-205.
- TATUR, A. & BARCZUK, A. 1984. Phosphates of ornithogenic soils on the volcanic King George Island (maritime Antarctic). *Polish Polar Research*, 5:61-97.
- TATUR, A. & KECK, A. 1990. Phosphates in ornithogenic soils of the maritime Antarctic. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, 3:133-150.
- TATUR, A. & MYRCHA, A. 1984. Ornitogenic soils of King George Island. *Polish Polar Research*, 5:31-60.
- TATUR, A. & MYRCHA, A. 1989. Soil and vegetation in abandoned penguin rookeries (Maritime Antarctic). *Proc. NIPR Symp. Polar Biology*, 2:181-189.
- TATUR, A.; MYRCHA, A. & NIEGODZISZ, J. 1997. Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the maritime Antarctic. *Polar Biol.*, 17:405-417.
- UCHIDA, M.; MURAOKA, H.; NAKATSUBO, T.; BEKKU, Y.; UENO, T. KANDA, H. & KOIZUMI, H. 2002. Net Photosynthesis, Respiration, and Production of the Moss *Sanionia uncinata* on a Glacier Foreland in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 34:287-292.
- ZAIA, F. C. & GAMA-RODRIGUES, A. C. 2004. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região Norte Fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, (28): 843-852.

**CAPÍTULO 3 – ESTIMATIVAS DE ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO
E TERMOANÁLISES DOS SOLOS DA ILHA DA TRINDADE, ATLÂNTICO
SUL, BRASIL**

RESUMO

LOCATELLI, Marcus Vinicius. D. S.c. Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2013. **Estimativas de estoque de carbono orgânico e termooanálises dos solos da Ilha da Trindade, Atlântico Sul, Brasil.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves R. Schaefer, Co-orientador: Felipe Nogueira Bello Simas.

A Ilha da Trindade, localizada no Atlântico Sul, é a ilha mais distante e isolada do Brasil, e abriga solos, fauna e flora peculiares, além de possuir uma ampla variedade de ambientes, variando de úmidos a secos. A partir de informações em literatura sobre os teores de carbono orgânico nos solos da ilha estimou-se o estoque de carbono orgânico (EC) para as classes de solos e para as unidades de mapeamento de solos de toda a ilha. Além disso, foram feitas coletas de amostras de solos a fim de se fracionar suas substâncias húmicas, e efetivar estudos relacionados à degradabilidade dos constituintes com o aumento de temperatura. Solos com atributos ornitogênicos apresentaram as maiores estimativas de EC. Solos com até 1 m de *solum* de espessura apresentaram maiores tendências de aumento de EC com a espessura, enquanto que solos com profundidades maiores dependem mais de outros atributos para terem o EC incrementado. Unidades de mapeamentos de solos com maiores participações de solos ornitogênicos possuem os maiores EC. Os solos da Ilha da Trindade possuem elevados valores de EC quando comparados com os solos mais semelhantes do continente e de outras ilhas oceânicas brasileiras. Com o aumento de temperatura os solos perderam mais do que as formas de carbono orgânicas que foram detectadas nas análises, podendo essas constituírem-se de formas menos lábeis de C orgânico, ou até mesmo de formas inorgânicas de C, ou ainda, de outros elementos mais facilmente volatilizados como o N. A partir do fracionamento da MOS, amostras de solos com maiores teores de humina apresentaram os primeiros picos exotérmicos com maiores valores de temperatura no tratamento de termodegradação.

ABSTRACT

LOCATELLI, Marcus Vinicius. D. S.c. Universidade Federal de Viçosa, september de 2013. **Stocks Estimates of organic carbon and thermal analysis of Trindade Island' soils, South Atlantic – Brazil**. Adviser: Carlos Ernesto Gonçalves R. Schaefer, Co-adviser: Felipe Nogueira Bello Simas.

Trindade Island, located at South Atlantic is most isolate and distant of Brazil. This Island have characteristic soil, fauna and flora. Having a variety environments, ranging from moist to dry. From literature information about organic carbon in island's soils were estimated organic carbon stock (EC) for soils classes and units of soils mapping across the island . Moreover, sampled soil was done to fractionate its humic substances and prove the effect of increasing temperature in constituents degradation related in some studies. Soils with ornithogenics attributes had highest estimates of EC. Soils with up to 1 m thick *solum* showed higher EC tendencies with thickness increase than soils with greater depths. Depths soils depend more of other attributes for EC increase. Mapping units of soils with more ornithogenics soils stakes had higher EC. The Trindade island's soils have higher values of EC than continent soils and other Brazilian oceanic islands. With increasing soils temperature lost organic forms of carbon (C) were more than analysis detected. These could be less because labile organic C, or inorganic forms of C, or other elements more easily volatilized as N. The fractionation of MOS, soil samples with higher humin showed the first exothermic peaks with higher temperature treatment of thermodegradation.

1. INTRODUÇÃO

A Ilha da Trindade constitui-se em um local de grande importância política e ecológica para o Brasil.

A partir da sua descoberta por navegadores no final do século XVIII, a ilha sofreu severos danos à sua cobertura vegetal nativa (Martins & Alves, 2007), sendo atualmente considerada uma das ilhas oceânicas brasileiras que mais foram devastadas por atividades antrópicas ao longo do tempo (Serafini *et al.*, 2010), pois além da perda da sua biodiversidade vegetal nativa, a erosão acelerada do solo tem sido responsável pela formação de ravinas e voçorocas por toda a ilha. Também a erosão laminar vem removendo intensamente o material superficial dos solos, dificultando, assim, o reestabelecimento vegetal (Clemente *et al.*, 2011).

No entanto, apesar de sua degradação, na ilha ocorrem ainda algumas espécies de plantas endêmicas, e uma rica e abundante ornitofauna marinha que se alimenta nas piscosas águas ao seu redor. A ilha é também importante habitat de crustáceos terrestres, e um ponto de desova de tartarugas marinhas.

Em relação aos solos, Clemente *et al.* (2009) descreveram algumas das toposequências de solos mais típicos da ilha, e Sá (2010) levantou seus ambientes e mapeou em detalhe seus solos. Ambos os autores concluíram que o isolamento geográfico da ilha que, geologicamente pode ser considerada a mais jovem das ilhas oceânicas do Brasil, combinado à sua posição subtropical e sua litologia de origem vulcânica bastante diversificada, culminaram em solos que não são encontrados em territórios continentais ou em outras ilhas oceânicas brasileiras, sendo então, considerados endêmicos.

Além disso, a Ilha da Trindade é a mais úmida, onde inclusive Clemente *et al.* (2009) relata a existência de um trecho de floresta nebular. Possui também corpos hídricos permanentes, e é topograficamente a mais acidentada das ilhas oceânicas brasileiras, o que muito influencia na estabilidade do terreno e na pedogênese.

Combinadas a algumas peculiaridades do meio físico, Clemente *et al.* (2009) e Sá (2010) encontraram elevados teores de carbono orgânico total (COT) em algumas de suas amostras, em especial nas amostras de solos ornitogênicos.

Os solos ornitogênicos, por sua vez, caracterizam-se pelo elevado aporte de resíduos que recebem das aves que se refugiam e se aninham em alguns trechos da ilha, desempenhando, assim, importante função como veículo de elementos advindos do oceano para o ambiente terrestre insular.

A ornitogênese de solos insulares é também reportada por Oliveira (2008) para os arquipélagos de Fernando de Noronha, e de São Pedro e São Paulo, Brasil, e por Tatur & Myrcha (1984), Speir & Cowling (1984), Michel *et al.* (2006) e Simas *et al.* (2007) para diversos trechos da Antártica Marítima. Os referidos autores também descrevem o enriquecimento dos solos e/ou substratos afetados por elementos que abundam no guano das aves, inclusive do teor de carbono orgânico que integra a matéria orgânica do solo (MOS).

A MOS é um conjunto heterogêneo de substâncias, incluindo açúcares, proteínas, ácidos orgânicos e substâncias mais complexas e recalcitrantes, denominadas de substâncias húmicas (Novotny *et al.*, 1999), e essas substâncias dividem-se em ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina.

No planeta, dentre os compartimentos de carbono, tais como oceanos, rios, lagos, atmosfera e biota, o solo é um dos maiores, havendo estimativas que o mesmo tenha capacidade de imobilizar dois terços de todo o carbono orgânico do planeta, o que corresponde a cerca de 1,395 Pg (Post *et al.*, 1982). Também no solo o ciclo do carbono pode ser um dos mais dinâmicos (Scholes & van Breemen, 1997), entendendo como dinâmico uma alta velocidade de sequestro e de emissão de carbono deste.

Contribuindo com o sequestro ou para emissão de carbono orgânico nos solos há uma grande gama de agentes atuando no “Ciclo do Carbono”, onde, resumidamente, o carbono é depositado nos solos via resíduos de organismos vivos, que por sua vez adquirem energia para sua sobrevivência oxidando as formas de carbono reduzidas que estão em seus alimentos, emitindo, via respiração, o dióxido de carbono para atmosfera, além disso,

com o aumento da temperatura, compostos de carbono podem ser diretamente volatizados, ou termodegradados e volatizados na forma de diferentes moléculas além do dióxido de carbono.

O carbono é incorporado aos seres vivos, e posteriormente aos solos, pela fotossíntese, processo em que vegetais, cianobactérias, algas e algumas bactérias fixam o gás carbônico da atmosfera, formando, assim, seus próprios constituintes, que por sua vez são alimentos para outros organismos, agrupados como consumidores.

Há, portanto, o sequestro de carbono no solo se o *input* de carbono é maior do que sua emissão.

Clemente *et al.* (2009) relataram a notória pobreza de insetos detritívoros na Ilha da Trindade, organismos esses que agem fragmentando os resíduos orgânicos depositados nos solos, o que tornaria mais rápida sua decomposição e por conseguinte a liberação do carbono para atmosfera, tal como argumenta Schaefer (2001).

Estudos sobre a capacidade de sequestro de carbono orgânico pelos solos ganharam muito espaço na literatura na última década, e esses tem abordado tanto ambientes naturais (e. g. Johnson *et al.*, 2005; Guedes, 2008) quanto ambientes agrícolas (e. g. Baker *et al.*, 2007; Lal, 2011; Jareckia *et al.*, 2005). Tais estudos tem em comum a avaliação dos impactos do uso da terra, dentro do contexto de emissão de gases do efeito estufa e as mudanças climáticas.

Na literatura há muitas informações sobre a capacidade de estocagem de formas orgânicas de carbono nos solos sob uma escala mais generalizada, tal como, por exemplo, Batjes (1996) para o mundo todo, dispondo de base de dados da FAO. Já Batjes (2000) utilizou e comparou diferentes bases de dados a partir das quais estimou os estoques de carbono orgânico nos solos da América do Sul, enquanto WBGU (1998) o fez para os grandes biomas do mundo, e Batjes & Dijkshoorn (1998) para a região amazônica.

Em uma escala mais local, pode-se citar, dentre outros, o trabalho de Guedes (2008) na Área de Preservação Permanente Cachoeira das

Andorinhas, no estado de Minas Gerais, e o de Brown & Lugo (1990) nas Ilhas Virgens, no Caribe, e em florestas de Porto Rico.

Informações sobre os estoques de carbono orgânico nos solos em escalas mais generalistas são importantes em um primeiro momento, para se especular sobre o comportamento dos solos frente às mudanças climáticas, no entanto, tal como afirma Batjes (2000), estimativas de carbono nos solos a partir de bases de dados muito generalistas tendem comprometer o entendimento dos processos locais envolvidos na estocagem ou na perda de carbono pelos solos.

Em relação à capacidade dos solos de estocarem carbono, a preocupação com a estabilidade da MOS nos solos é eminente, o que constitui, de fato, uma das maiores preocupações atuais da ciência do solo.

Sob tais preocupações, Plante *et al.* (2005) justificam o emprego de técnicas termogravimétricas e calorimétricas por essas proporcionarem fácil e rápido meio de determinar graves alterações na qualidade da MOS, o que por sua vez nos permite estimar cenários de emissão de gases ou sequestro de CO nos solos.

Por exemplo, Guedes (2008) e Lima (2010) conduzindo experimentos de termodegradação da MOS em solos representativos do Estado de Minas Gerais, relatam a forte dependência da estabilidade desta com as características químicas, mineralógicas e texturais dos solos.

Santos (2007) por sua vez, ao estudar a termodegradação de amostras de um perfil de Organossolo na Ilha da Trindade, concluiu que a natureza fibrosa deste solo aumenta a resistência de perda de massa pelo mesmo por termodegradação.

Plante *et al.* (2005) por sua vez encontrou forte alteração qualitativa da MOS em função do tipo de uso do solo, onde solos com menor *input* de matéria orgânica tendem não só a apresentarem menores teores de MOS, como também esta MOS tendem a serem mais termoestáveis.

Objetivou-se estimar a capacidade dos diferentes solos da ilha estocarem carbono orgânico, levando-se em conta os diferentes ambientes reconhecidos na literatura e em campo, avaliando-se também a termodegradabilidades desses solos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. A ÁREA DE ESTUDO

A Ilha da Trindade situa-se entre os paralelos de 20° 29' e 20° 32' S, e os meridianos de 29° 17' e 29° 21' W, distando-se 620 milhas da cidade de Vitória/ES, e 800 milhas da cidade do Rio de Janeiro/RJ, em direção ao Continente Africano (PROTRINDADE, 2013), e é a maior elevação de uma cadeia vulcânica oceânica (Figura 1).

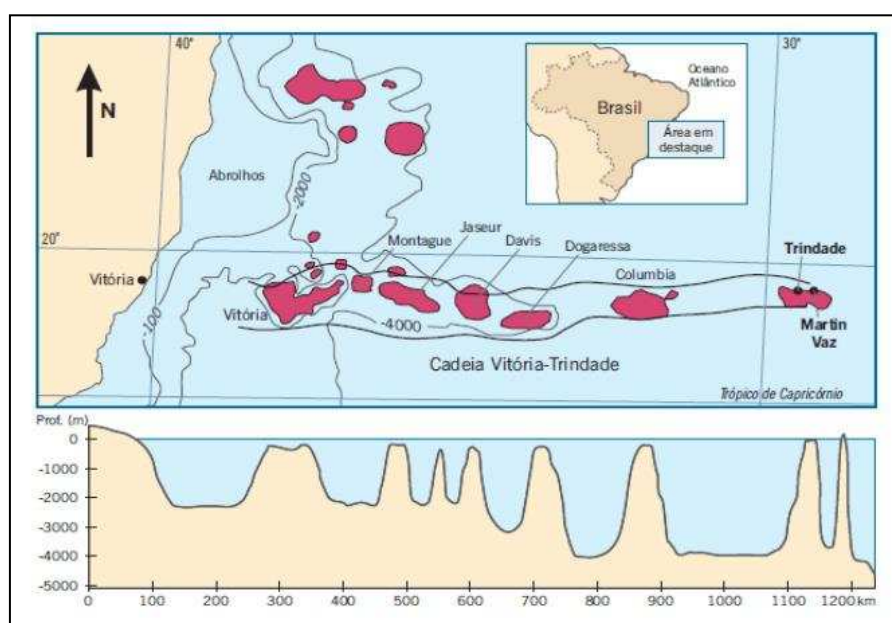


Figura 1 – Localização da Ilha da Trindade (Fonte: Almeida, 2000).

Possui litologia predominante de rochas vulcânicas básicas, como escórias vulcânicas, fonolitos, tufos e ankaratitos (Alves, 1998), havendo ainda calcarenitos ao longo das praias da ilha que formam plataformas planas e restritas a até 3 m de altura acima do nível do mar (Clemente *et al.*, 2009).

Os solos, segundo Clemente *et al.* (2009) e Sá (2010), são muito variáveis de acordo com a altimetria, o material de origem e a inclinação, ocorrendo Cambissolos, Neossolos e Organossolos.

Os ventos alísios advindos do leste amenizam o clima do tipo tropical oceânico na ilha, que possui temperatura média anual do ar de 24 °C, sendo o mês de fevereiro o mais quente do ano (média de 27 °C), e o de setembro o mês mais frio (média de 21 °C) (PROTRINDADE, 2013).

Quase todos os dias, principalmente no verão, ocorrem rápidas precipitações de chuvas, em geral com menos de 5 minutos de duração cada uma, essas precipitações recebem a denominação local de "Pirajá" (PROTRINDADE, 2013), e anualmente as precipitações pluviométricas somam mais que 1.200 mm (Gasparini & Floeter, 2001).

2.2. BASE DE DADOS UTILIZADA PARA ESTIMATIVAS DO ETOQUE E CONTEÚDO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL

A estratificação dos ambientes foi baseada nas unidades de mapeamento de solos apresentadas por Sá (2010), assim como as referências de teores de carbono orgânico (COT) nas amostras dos perfis de solos. Sá (2010) obteve o COT das amostras de solos a partir de método descrito por Yeomans & Bremer (1988), combustão úmida, utilizando ferroin como indicador.

Os valores de densidades para os horizontes dos solos foram obtidos na literatura, sendo que para os Cambissolos, Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos utilizou-se os valores médios apresentados por Batjes (1996) citando base de dados da FAO – UNESCO (1974), em correspondência, respectivamente, Cambisols (1,64 Mg/m³), Lithosols (1,42 Mg/m³) e Regosols (1,51 Mg/m³).

Para o caso dos Organossolos Háplicos e Organossolos Fólicos compreendidos neste estudo, utilizou-se a densidade do solo média encontrada por Ebeling *et al.* (2013) para vários Organossolos Háplicos do Brasil, sendo então 0,44 Mg/m³.

2.3. ESTIMATIVAS DO ESTOQUE E CONTEÚDO DE CARBONO ORGÂNICO NOS SOLOS

O estoque de carbono orgânico dos solos foi calculado a partir de adaptações no método de Batjes (1996), apresentada em Guedes (2008), sendo:

$$EC = \sum_{i=1}^n (\rho_i C_i E_i) \times 1000$$

Em que:

EC = Estoque de carbono orgânico no solo até determinada profundidade, em kg/m^2 ;

n = número de horizontes;

ρ_i = densidade do solo no horizonte i , em Mg/m^3 ;

C_i = teor de carbono orgânico no Horizonte i , em g/g;

E_i = espessura do horizonte i , em m.

A multiplicação por 1000 foi feita para que se expresse o resultado em kg/m^2 .

Alguns perfis de solos descritos por Sá (2010) não tiveram suas profundidades máximas atingidas, para os quais o autor mencionou que o *solum* possuía maior profundidade, então, nesses, casos foram consideradas a soma de 30 cm nas espessuras observadas nos seus horizontes mais profundos, já que alguns deles foram amostrados logo no seu início.

Algumas unidades de mapeamento de solos englobam solos semelhantes aos de outras unidades, assim, para o cálculo de EC , foram consideradas as médias de EC dos perfis de solos abrangidos para cada unidade de mapeamento.

Também para se estimar o conteúdo de carbono orgânico em cada unidade de mapeamento da ilha, utilizou-se as médias de EC das classes de solos citadas por Sá (2010) compreendidas na legenda de cada unidade de mapeamento, de modo que o conteúdo total foi obtido, posteriormente, multiplicando-se este EC médio pela área total da unidade.

2.4. TERMOANÁLISES

As amostras de solos foram coletadas em superfície, na profundidade de até 10 cm, abrangendo vários tipos de coberturas vegetais.

Buscou-se por meio de vários indicadores ambientais, como geoforma do terreno, tipo de solo/substrato, densidade da vegetação e comportamentos de aves estratificar fitofisionomias e geofisionomias distintas ao longo do caminhamento na maior parte da porção Norte-Sul pela face oriental da ilha, de modo que nove sítios foram amostrados, dos quais oito deles apresentaram-se vegetados (Figura 2).



Figura 2 - Ilha da Trindade: caminhamento e pontos amostrados neste estudo.

O quadro 1 apresenta a descrição de cada sítio amostrado.

Todas as amostras de solos/substratos foram submetidas às análises químicas de rotina, de acordo com Defelipo & Ribeiro (1997), e as análises texturais foram executadas conforme alterações propostas por Ruiz (2005) ao método descrito em EMBRAPA (1997).

Quadro 1 – Descrição dos sítios amostrados para termoanálises.

Denominação	Código	Solo	Descrição	Altitude (m)
Sítio Trindade 1	ST1	RRe bioclasto-carbonático	Borda da Praia dos Andradadas, SE da Ilha da Trindade, vegetação dominada por <i>Cyperus atlanticus</i> e sem ninhais de aves à montante	6
Sítio Trindade 2	ST2	RRe bioclasto-carbonático ornitogênico	Borda da Praia das Tartarugas, SE, vegetação dominada por <i>Cyperus atlanticus</i> e com ninhais e dormitórios de aves bastante ativos nas escarpas rochosas à sua montante	15
Sítio Trindade 3	ST3	CXvd léptico	Platô na borda do Vulcão do Paredão, SE, sem cobertura vegetal, em meio ao ninhal de aves de pequeno porte, provavelmente a espécie que nidifica na área é a grazina. Abundante presença de fragmentos de ossos de peixe	52
Sítio Trindade 4	ST4	CXvd léptico	Borda do sítio 3, cobertura dominada por <i>Cyperus atlanticus</i> , visível e acentuada influência ornitogênica	56
Sítio Trindade 5	ST5	CXvd léptico	Terço superior da encosta do platô de ST3, <i>Bulbostylis nesiotis</i> dominando a cobertura vegetal	58
Sítio Trindade 6	ST6	RLe típico ornitogênico	Borda da mancha de vegetação mais setentrional no Platô do Noroeste, a NO da Ilha da Trindade, dominada por <i>Cyperus atlanticus</i> no centro. Visivelmente intensamente fosfatizada, com casais de atobás-grande pousados no local	389
Sítio Trindade 7	ST7	RLe típico ornitogênico	Borda da mancha de vegetação setentrional ao Platô do Noroeste, próximo do ST6, porém em meio ao caminho da drenagem, amostrado <i>Bulbostylis nesiotis</i> e <i>Cyperus atlanticus</i>	389
Sítio Trindade 8	ST8	RLe típico ornitogênico	Platô do Noroeste, posição pouco mais meridional em relação ao ST6 e ST7, intensamente fosfatizado e também com atobás-grande pousados nas proximidades, vegetação menos adensada, <i>Bulbostylis nesiotis</i> dominando o trecho amostrado	391
Sítio Trindade 9	ST9	CXve típico	Próximo ao sopé do Pico da Bandeira, vegetação dominada por <i>Cyperus atlanticus</i>	100

O COT foi determinado pelo método Walkley & Black (1934), e a MOS fracionada a partir da solubilidade dos componentes, obtendo-se, assim, a participação de ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF) e humina (HU) de acordo com Schnitzer & Khan (1972).

O Fe foi extraído por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) (Mehra & Jackson, 1960) e por oxalato de amônio (McKeague & Day, 1966).

Amostras de TFSA foram também tratadas com aquecimento controlado a uma taxa de 10 °C/min, em atmosfera oxidante, com microcomputador acoplado gerando curvas termogravimétricas, derivadas das curvas termogravimétricas, análises termodiferenciais, obtendo-se, também, picos exotérmicos de oxidação da MOS e de outros constituintes, conforme metodologia utilizada por Lima (2010).

3. RESULTADOS

3.1. ESTOQUE E CONTEÚDO DE CARBONO ORGÂNICO NOS SOLOS

No quadro 1 vê-se que de modo geral para a Ilha da Trindade, a espessura do *solum* pouco se relaciona com a capacidade de estocar carbono orgânico (EC), variáveis que quando correlacionadas apresentaram coeficiente de correlação de Spearman de 0,45, significativo sob nível $p < 0,05$. Contudo, a média de EC nas amostras de perfis de solos mais espessos do que 1 m foi maior do que a média dos solos com menos de 1 m de espessura, respectivamente 21,02 e 14,15 kg/m².

Separando a população de solos em dois grupos de acordo com a espessura de *solum*, o grupo de solos com *solum* ≥ 1 m, e outro grupo com *solum* < 1 m, observa-se dois padrões bastante distintos de correlação entre espessura e EC, sendo então, o coeficiente de correlação de Spearman igual a 0,11 para o grupo de solos mais espessos (não significativo ao nível $p < 0,1$), e de 0,66 para o grupo de solos menos espessos (significativo em valor $p = 0,08$).

O Cambissolo Háplico alítico típico ornitogênico, A moderado (Perfil 18, com 1,25 m de espessura), o Neossolo Litólico eutrófico típico ornitogênico, A moderado (Perfil 15, com 0,85 m) e o Organossolo Háplico fíbrico típico ornitogênico, A moderado (Perfil 12, com 1,6 m) foram os solos com maiores EC, com, respectivamente, 53,17, 43,43 e 39,05 kg/m².

O Neossolo Litólico eutrófico típico, A moderado (Perfil 9, com 0,35 m) foi o solo com menor EC, com 3,06 kg/m², tendo apresentado menor EC que um solo ainda mais raso que ele, o Neossolo Litólico eutrófico típico ornitogênico, A moderado (Perfil 8, com 0,2 m), que por sua vez teve EC estimado em 4,20 kg/m².

Quadro 2 – Atributos físicos, carbono orgânico total e estoque de carbono orgânico nos perfis de solos amostrados por Sá (2010).

Horizonte	Profundidade	Espessura do horizonte	Carbono orgânico total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Textura	Densidade do solo ¹	Estoque de carbono orgânico
	(cm)	(m)	(dag/kg).....						(Mg/m ³)	(kg/m ²)
Perfil 1	Cambissolo Háplico Ta distrófico léptico, A moderado									
A	0 a 5	0,05	2,07	5	10	54	31	Siltosa	1,36	1,41
AB	5 a 10	0,05	1,62	2	6	58	34	Siltosa	1,36	1,10
Bi	10 a 40	0,3	0,23	0	5	58	37	Argilosa	1,36	0,94
BC	40 a 70	0,3	0,15	1	7	66	26	Siltosa	1,36	0,61
C	70 ⁺	0,3	0,25	1	10	64	25	Siltosa	1,36	1,02
									Total	5,08
Perfil 2	Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico, A moderado									
A	0 a 5	0,05	2,7	10	26	45	19	Média	1,36	1,84
Bi	5 a 25	0,2	0,38	9	18	59	14	Média	1,36	1,03
BC	25 a 30	0,05	0,23	10	6	43	41	Média	1,36	0,16
Cr	30 a 35	0,05	0,19	26	5	34	35	Média	1,36	0,13
CR	35 ⁺	0,3	0,19	36	7	24	33	Média	1,36	0,78
									Total	3,93
Perfil 3	Neossolo Regolítico eutrófico léptico, A moderado									
A	0 a 7	0,07	3,6	21	10	39	30	Média	1,51	3,81
Bi	7 a 15	0,08	0,95	36	9	30	25	Média	1,51	1,15
C	15 a 30	0,15	0,23	35	11	27	27	Média	1,51	0,52
Cr	30 a 50	0,2	0,08	9	2	40	49	Média	1,51	0,24
									Total	5,72
Perfil 4	Neossolo Regolítico eutrófico típico, A moderado									
A1	0 a 10	0,1	2,65	11	16	40	33	Média	1,51	4,00
A2	10 a 30	0,2	1,23	13	12	42	33	Média	1,51	3,71
C1	30 a 70	0,4	0,53	18	9	39	34	Média	1,51	3,20
C2	70 a 180	1,1	0,15	16	8	41	35	Argilosa	1,51	2,49
C3	180 ⁺	0,3	0,15	14	8	45	33	Média	1,51	0,68
									Total	14,09

Continua...

... continuação do quadro 2.

Horizonte	Profundidade	Espessura do horizonte	Carbono orgânico total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Textura	Densidade do solo ¹	Estoque de carbono orgânico
	(cm)	(m)	(dag/kg).....						(Mg/m ³)	(kg/m ²)
Perfil 5	Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico, A moderado									
A	0 a 10	0,1	1,88	6	7	40	47	Argilosa	1,36	2,56
AB	10 a 25	0,15	1,46	14	7	32	47	Argilosa	1,36	2,98
Bi1	25 a 50	0,25	0,74	14	9	33	44	Argilosa	1,36	2,52
Bi2	50 a 70	0,2	0,59	17	10	31	42	Argilosa	1,36	1,60
C1	70 a 90	0,2	0,45	40	7	26	27	Média	1,36	1,22
C2	90 a 115 ⁺	0,55	0,22	6	3	40	51	Argilosa	1,36	1,65
									Total	12,53
Perfil 6	Neossolo Regolítico eutrófico bioclasto-carbonático ornitogênico, O hístico									
Oo	0 a 5	0,05	8,84	38	20	21	21	Média	0,94	4,15
A1	5 a 40	0,35	1,97	51	24	12	13	Média	1,51	10,41
C1	40 a 70	0,3	1,59	32	33	22	13	Média	1,51	7,20
C2	70 a 85	0,15	0,83	29	27	28	16	Média	1,51	1,88
C2	85 a 110	0,25	0,68	43	41	9	7	Arenosa	1,51	2,57
									Total	26,22
Perfil 7	Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico, A moderado									
A1	0 a 10	0,1	2,46	20	30	35	15	Média	1,36	3,35
A2	10 a 20	0,1	1,72	18	27	40	15	Média	1,36	2,34
Bi	20 a 55	0,35	0,53	19	20	46	15	Média	1,36	2,52
BC	55 a 65	0,1	0,15	33	19	34	14	Média	1,36	0,20
C1	65 a 85	0,2	0,3	31	12	40	17	Média	1,36	0,82
C2	85 a 100	0,15	0,15	25	9	40	26	Média	1,36	0,31
Cr	100 a 120 ⁺	0,5	0,15	39	7	34	20	Média	1,36	1,02
									Total	10,55
Perfil 8	Neossolo Litólico eutrófico típico ornitogênico, A moderado									
AC	0 a 20	0,2	1,48	10	23	39	28	Média	1,42	4,20
									Total	4,20
Perfil 9	Neossolo Litólico eutrófico típico, A moderado									
A	0 a 5	0,05	1,61	35	14	33	18	Média	1,42	1,14
AC	5 a 35	0,3	0,45	45	13	26	16	Média	1,42	1,92
									Total	3,06

Continua...

... continuação do quadro 2.

Horizonte	Profundidade	Espessura do horizonte	Carbono orgânico total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Textura	Densidade do solo ¹	Estoque de carbono orgânico
	(cm)	(m)	(dag/kg).....						(Mg/m ³)	(kg/m ²)
Perfil 9	Neossolo Litólico eutrófico típico, A moderado									
A	0 a 5	0,05	1,61	35	14	33	18	Média	1,42	1,14
AC	5 a 35	0,3	0,45	45	13	26	16	Média	1,42	1,92
									Total	3,06
Perfil 10	Neossolo Regolítico distrófico léptico ornitogênico, A moderado									
A	0 a 35	0,35	4,43	31	10	23	36	Média	1,51	23,41
C	35 a 90 ⁺	0,85	0,15	13	5	33	49	Argilosa	1,51	1,93
									Total	25,34
Perfil 11	Neossolo Litólico eutrófico típico ornitogênico, A moderado									
A	0 a 10	0,1	1,65	14	15	43	28	Média	1,42	2,34
AC	10 a 30	0,2	1,42	28	12	33	27	Média	1,42	4,03
									Total	6,38
Perfil 12	Organossolo Háptico fíbrico típico ornitogênico, A moderado									
Oo1	0 a 15	0,15	18,92	44	8	33	15	-	0,44	12,49
Oo2	15 a 30	0,15	12,52	30	9	45	16	-	0,44	8,26
A	30 a 40	0,2	6,24	24	12	48	16	Média	0,44	5,49
Bi	40 a 50	0,1	3,56	24	9	52	15	Média	0,44	1,57
C1	50 a 65	0,15	3,25	26	9	50	15	Média	0,44	2,15
C2	65 a 110	0,45	2,57	26	10	49	15	Média	0,44	5,09
Cr	110 a 120 ⁺	0,4	1,89	22	9	52	17	Média	0,44	3,33
									Total	38,37
Perfil 13	Neossolo Litólico eutrófico fragmentário, A moderado									
A	0 a 10	0,1	1,49	21	12	46	21	Média	1,42	2,12
RC	10 a 80 ⁺	1	0,23	22	11	46	21	Média	1,42	3,27
									Total	5,38
Perfil 14	Neossolo Litólico distrófico típico ornitogênico, A moderado									
A	0 a 20	0,2	2,87	31	13	34	22	Média	1,42	8,15
AC	20 a 35	0,15	1,74	33	16	33	18	Média	1,42	3,71
									Total	11,86

Continua...

... continuação do quadro 2.

Horizonte	Profundidade	Espessura do horizonte	Carbono orgânico total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Textura	Densidade do solo ¹	Estoque de carbono orgânico
	(cm)	(m)	(dag/kg).....						(Mg/m ³)	(kg/m ²)
Perfil 15	Neossolo Litólico eutrófico típico ornitogênico, A moderado									
A	0 a 15	0,15	5,17	30	11	36	23	Média	1,42	11,01
AC	15 a 55	0,4	3,78	21	12	43	24	Média	1,42	21,47
R	55 ⁺	0,3	2,57	32	11	38	19	Média	1,42	10,95
									Total	43,43
Perfil 16	Neossolo Litólico distrófico típico ornitogênico, A moderado									
A	0 a 15	0,15	5,27	14	12	44	30	Média	1,42	11,23
AC	15 a 45 ⁺	0,6	1,48	50	12	21	17	Média	1,42	12,61
									Total	23,83
Perfil 17	Cambissolo Háptico Ta distrófico léptico, A moderado									
A	0 a 7	0,07	7,45	11	8	44	37	Argilosa	1,36	7,09
Bi	7 a 45	0,38	2,34	23	17	29	31	Média	1,36	12,09
BC	45 a 75 ⁺	0,6	1,29	8	11	32	49	Argilosa	1,36	10,53
									Total	29,71
Perfil 18	Cambissolo Háptico alítico típico ornitogênico, A moderado									
A	0 a 35	0,35	4,04	15	13	28	44	Argilosa	1,36	19,23
Bi	35 a 65	0,3	4,08	13	21	33	33	Média	1,36	16,65
Bi2	65 a 95 ⁺	0,6	2,12	14	7	14	65	Muito argilosa	1,36	17,30
									Total	53,18
Perfil 19	Cambissolo Háptico Ta distrófico, O hístico									
O1	10 a 0	0,1	23,07	-	-	-	-	-	0,03	0,69
O2	0 a 25	0,25	13,81	19	3	27	51	Argilosa	0,94	32,45
Bi	25 a 45	0,2	3,56	16	11	22	51	Argilosa	1,36	9,68
C	45 a 60	0,15	2,49	15	8	22	55	Argilosa	1,36	5,08
Cr	60 a 80 ⁺	0,5	1,66	18	8	25	49	Argilosa	1,36	11,29
									Total	59,20

Continua...

... continuação do quadro 2.

Horizonte	Profundidade	Espessura do horizonte	Carbono orgânico total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Textura	Densidade do solo ¹	Estoque de carbono orgânico
	(cm)	(m)	(dag/kg).....						(Mg/m ³)	(kg/m ²)
Perfil 20	Cambissolo Háplico Ta distrófico léptico, O hístico									
O1	10 a 0	0,1	18,17	-	-	-	-	-	0,03	0,55
O2	0 a 20	0,2	10,05	15	6	30	49	Argilosa	0,03	0,60
C	20 a 40	0,2	2,89	15	8	24	53	Argilosa	1,36	7,86
Cr	40 a 60 ⁺	0,5	2,3	15	8	23	54	Argilosa	1,36	15,64
									Total	24,65
Perfil 21	Organossolo Fólico fíbrico típico, O hístico									
O	35 a 0	0,35	40,29	-	-	-	-	-	0,44	62,05
A	0 a 5	0,05	6,53	17	7	35	41	Argilosa	0,44	1,44
AC	5 a 20	0,15	2,63	16	8	36	40	Argilosa	0,44	1,74
Cr	20 a 65 ⁺	0,75	0,74	15	9	33	43	Argilosa	0,44	2,44
									Total	67,66
Perfil 22	Cambissolo Háplico alítico típico, A moderado									
A1	0 a 5	0,05	7,42	15	15	32	38	Argilosa	1,36	5,05
A2	5 a 15	0,1	4,08	2	6	32	60	Muito argilosa	1,36	5,55
Bi1	15 a 35	0,2	1,71	2	6	38	54	Argilosa	1,36	4,65
Bi2	35 a 65 ⁺	0,6	1,19	1	3	36	60	Muito argilosa	1,36	9,71
									Total	24,96

¹Densidades dos solos obtidas em literatura, Batjes (1996) para os Cambissolos e Neossolos, e Ebeling *et al.* (2013) para os Organossolos.

A média de EC do total de perfis é de 18,21 kg/m² (IV² = 16,4 %), considerando apenas os solos ornitogênicos é de 28,66 kg/m² (IV = 19,5 %), e apenas os solos não ornitogênicos a média é de 12,24 kg/m² (IV = 32,6 %).

As unidades de mapeamentos de solos 1 (afloramentos rochosos) e 3 (praias e dunas) tiveram seu EC desprezados no presente estudo (Quadro 3), assim, ao se considerar apenas as unidades de mapeamentos as quais tiveram seus EC estimados, obteve-se um maior coeficiente de correlação de Spearman entre o total de estoque de carbono orgânico nos solos com a área total da unidade de mapeamento, do que o total de estoque de carbono orgânico nos solos da unidade de mapeamento com a EC individual de cada unidade, sendo, respectivamente, 0,83 (significativa sob nível-p < 0,05) e 0,0327 (não significativa sob nível-p < 0,05).

Em unidades de mapeamento com maiores participações de solos ornitogênicos, unidades 7 e 15, os EC estimados são maiores do que nas demais.

Na unidade de mapeamento 10, a maior em relação à área, com 27 % do total, composta somente por Neossolos Litólicos, o total de carbono orgânico acumulado é o maior dentre as demais unidades, correspondendo a 55,36 Gg.

Os tipos de coberturas vegetais associadas a cada unidade de mapeamento são apresentadas no quadro 4, e foram obtidas juntando-se informações apresentadas para cada perfil de solo descrito por Sá (2010).

O mapa das classes de solos nas unidades de mapeamento, bem como EC e o conteúdo de carbono orgânico estimado está no anexo 1.

² Índice de Variação (IV), calculado pela fórmula: $IV = CV/\sqrt{n}$. Em que CV é o coeficiente de variação, e n é o número de observações.

Quadro 3 – Unidades de mapeamento de solos, perfis de solos englobados, área, conteúdo e estoque de carbono orgânico nos solos da Ilha da Trindade.

Unidade de mapeamento de solos	Perfis de solos ¹	Área (ha)	Área relativa (%)	Estoque de carbono orgânico (Mg/ha)	Total de carbono orgânico (Gg)
1 Afloramento rochoso	-	130,90	13	0	0,00
2 Afloramento + RLe típico ornitogênico + RLd típico ornitogênico	8; 9; 11; 14; 15; 16	106,60	11	154,60	16,48
3 Praias e dunas	-	26,83	3	0	0,00
4 CXal léptico + CXve	1; 2	22,55	2	45,05	1,02
5 CXvd léptico + CXvd léptico ornitogênico + RLe típico + RLe típico ornitogênico	11	22,00	2	63,76	1,40
6 CXve típico + RRe léptico	3; 5; 7	70,94	7	95,98	6,81
7 CXal típico+ CXal ornitogênico + CXvd + CXvd ornitogênico	16; 18; 22	66,89	7	339,89	22,73
8 RLd típico + CXvd léptico	1; 2; 14; 15; 16	94,23	9	176,26	16,61
9 RLe fragmentário + RLe fragmentário ornitogênico+ RLe típico + RLe típico ornitogênico	13; 18	84,20	8	292,79	24,65
10 RLe típico + RLe típico ornitogênico + RLd típico + RLd típico ornitogênico	9; 14; 15; 16	269,44	27	205,46	55,36
11 RRe léptico + RRe léptico ornitogênico + RRd léptico + RRd léptico ornitogênico	10	27,57	3	253,38	6,99
12 RRe típico + CXve típico	4	8,89	1	140,88	1,25
13 RRe bioclasto-carbonático + RRe bioclasto-carbonático ornitogênico	6	12,32	1	262,16	3,23
14 OOfi típico + CXvd típico	19; 20; 21	41,53	4	173,88	7,22
15 OXfi ornitogênico + RLe ornitogênico + RLd ornitogênico	12	11,19	1	383,70	4,29
Total		996,09	100,00	-	168,12

¹Perfis de solos levantados por Sá (2010), vide quadro 1.

Quadro 4 – Unidades de mapeamento de solos e tipos de vegetação associada.

Unidades de mapeamento de solos	Tipo de vegetação
1	Alga <i>Prasiola crispae</i> líquens crostosos e folhosos
2	Predomínio das ciperáceas <i>Cyperus atlanticus</i> e <i>Bulbostylis nesiotis</i>
3	Predomínio de <i>Canavalia obtusifolia</i> e <i>Ipomea pes-caprea</i> , com presença de <i>Cyperus atlanticus</i>
4	Predomínio das samambaias rasteiras <i>Ptyrogramma calomelanos</i> e <i>Doropterys campos-portoi</i> , com presença das ciperáceas <i>Cyperus atlanticus</i> e <i>Bulbostylis nesiotis</i>
5	Predomínio das ciperáceas <i>Cyperus atlanticus</i> e <i>Bulbostylis nesiotis</i> , com presença das samambaias rasteiras <i>Ptyrogramma calomelanos</i> e <i>Doropterys campos-portoi</i>
6	Predomínio das ciperáceas <i>Cyperus atlanticus</i> e <i>Bulbostylis nesiotis</i> , com presença das samambaias rasteiras <i>Ptyrogramma calomelanos</i> e <i>Doropterys campos-portoi</i>
7	Floresta Nebular de <i>Myrsine floribunda</i> e indivíduos jovens da samambaia arbuscular <i>Cyathea delgadii</i>
8	Predomínio das ciperáceas <i>Cyperus atlanticus</i> e <i>Bulbostylis nesiotis</i> , com presença das samambaias rasteiras <i>Ptyrogramma calomelanos</i> e <i>Doropterys campos-portoi</i>
9	Predomínio das ciperáceas <i>Cyperus atlanticus</i> e <i>Bulbostylis nesiotis</i> , com presença das samambaias rasteiras <i>Ptyrogramma calomelanos</i> e <i>Doropterys campos-portoi</i>
10	Predomínio das ciperáceas <i>Cyperus atlanticus</i> e <i>Bulbostylis nesiotis</i> , com presença das samambaias rasteiras <i>Ptyrogramma calomelanos</i> e <i>Doropterys campos-portoi</i>
11	Predomínio das ciperáceas <i>Cyperus atlanticus</i> e <i>Bulbostylis nesiotis</i> , com presença das samambaias rasteiras <i>Ptyrogramma calomelanos</i> e <i>Doropterys campos-portoi</i>

Continua...

Continuação do quadro 4...

Unidades de mapeamento de solos	Tipo de vegetação
12	Predomínio das ciperáceas <i>Cyperus atlanticus</i> e <i>Bulbostylis nesiotis</i> , com presença das samambaias rasteiras <i>Ptyrogramma calomelanos</i> e <i>Doropterys campos-portoi</i>
13	Predomínio das ciperáceas <i>Cyperus atlanticus</i> e <i>Bulbostylis nesiotis</i> , com presença das samambaias rasteiras <i>Ptyrogramma calomelanos</i> e <i>Doropterys campos-portoi</i>
14	Floresta Nebular de samambaia arbuscular <i>Cyathea delgadii</i>
15	Predomínio das ciperáceas <i>Cyperus atlanticus</i> e <i>Bulbostylis nesiotis</i> , com presença das samambaias rasteiras <i>Ptyrogramma calomelanos</i> e <i>Doropterys campos-portoi</i>

3.2. FRACIONAMENTO DA MOS E TERMOANÁLISES

Os resultados das análises químicas e físicas dos solos são apresentados nos quadros 5 e 6, respectivamente.

Todas amostras podem ser consideradas ricas em P, em especial as correspondentes aos solos ST2, ST3, ST5, ST6 e ST7, com valores de P extraído por Melich-1 superiores a 1 g/dm³.

Nas análises químicas é notório a predominante baixa relação Fe_o/Fe_d nas amostras de solos (sempre menor do que 0,5), indicando alto grau de cristalinidade nas formas minerais de Fe.

A maior participação de humina, fração mais estáveis da MOS, em relação às mais solúveis indicam que ao longo do tempo houve uma seleção de uma MOS mais estável nos solos da ilha (Quadro 7).

As maiores perdas cumulativas de massa, em relação a inicial, dentro do intervalo de temperatura testado foram nas amostras em meio ao território dos ninhais de atobás (ST6, ST7 e ST8) (Quadro 8).

Quadro 5 – Resultados das análises químicas dos solos.

Amostra	pH (H ₂ O)	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H + Al)	SB	ctc	CTC	V	m	ISNa	MOS	P-rem	Fed	Feo	Feo / Fed
		(mg/dm ³).....						(cmol _c /dm ³).....					(%).....		(dag/kg)	(mg/L)	...(dag/kg)...		
ST1	8,2	374,9	73,0	442,7	10,7	2,1	0,0	0,0	14,9	14,9	14,9	100,0	0,0	12,9	4,6	30,2	1,8	0,3	0,2
ST2	5,1	1978,8	853,0	680,8	11,2	3,2	0,4	17,9	19,6	20,0	37,5	52,2	2,0	14,8	2,0	65,6	5,4	2,2	0,4
ST3	5,6	1881,9	597,0	1851,6	8,1	3,2	0,1	7,2	20,9	21,0	28,1	74,4	0,5	38,4	5,9	52,4	2,2	0,8	0,4
ST4	6,3	343,2	537,0	1762,3	2,3	2,1	0,0	4,7	13,5	13,5	18,2	74,1	0,0	56,9	3,0	24,1	3,4	0,9	0,3
ST5	6,2	1074,9	340,0	343,5	15,9	13,4	0,2	6,8	31,6	31,8	38,4	82,3	0,6	4,7	4,9	36,0	1,4	0,5	0,4
ST6	6,2	1280,2	203,0	492,3	13,1	14,5	0,1	6,1	30,2	30,3	36,3	83,2	0,3	7,1	5,3	35,9	1,6	0,8	0,5
ST7	6,9	1323,0	171,0	323,6	13,7	12,4	0,0	3,4	28,0	28,0	31,4	89,2	0,0	5,0	2,0	28,8	1,4	0,4	0,3
ST8	7,6	231,6	665,0	0,0	15,7	8,8	0,0	3,5	26,1	26,1	29,6	88,2	0,0	0,0	1,9	11,6	5,9	2,4	0,4
ST9	7,1	840,7	415,0	0,0	9,0	8,8	0,0	2,0	18,8	18,8	20,8	90,4	0,0	0,0	1,9	18,5	4,1	1,2	0,3

Quadro 6 – Resultados das análises texturais dos solos.

Amostra	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classe textural
	(%).....				
ST1	59	26	4	11	Areia-Franca
ST2	49	12	22	17	Franco-Arenosa
ST3	29	24	27	20	Franco-Arenosa
ST4	27	26	33	14	Franco-Arenosa
ST5	32	17	26	25	Franco-Argilo-Arenosa
ST6	25	22	28	25	Franco
ST7	25	19	30	26	Franco
ST8	24	9	37	30	Franco-Argilosa
ST9	24	8	45	23	Franco

Quadro 7 – Teores de carbono orgânico total (COT), huminas, ácidos fúlvicos (AF) e ácidos húmicos (AH).

Amostras	COT	Humina	AF	AH
	(dag/kg).....			
ST1	2,67	4,35	0,21	0,06
ST2	1,15	0,85	0,18	0,17
ST3	3,44	2,84	0,14	0,19
ST4	1,72	1,61	0,12	0,19
ST5	2,87	2,42	0,12	0,07
ST6	3,06	2,27	0,13	0,26
ST7	1,15	1,17	0,15	0,17
ST8	1,07	0,47	0,07	0,21
ST9	1,07	0,83	0,12	0,14

Quadro 8 – Perdas relativas de massa durante a termogravimetria.

Amostra	Temperaturas					
	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C
	(%).....					
ST1	2,7	4,0	5,5	8,4	10,1	10,9
ST2	7,1	8,6	10,1	11,9	14,2	14,5
ST3	2,9	3,6	4,9	7,6	9,5	10,1
ST4	2,3	3,1	4,1	5,7	6,9	7,1
ST5	8,3	10,2	11,6	14,3	16,6	17,3
ST6	8,8	10,8	12,3	15,1	17,4	18,2
ST7	5,7	6,5	7,0	8,0	9,4	9,7
ST8	8,2	10,6	12,4	14,5	16,9	17,3
ST9	4,3	5,0	6,1	8,1	9,9	10,2
Média	5,7	7,1	8,6	10,9	13	13,4
CV (%)	45,9	44,6	39,1	32,7	30,4	30,3

Em anexo 2 são mostradas os termogramas, onde é possível visualizar o comportamento relacionados às perdas de massas das amostras por termogravimetria (TGA), taxas de perdas de massas (DrTGA), e as análises térmicas diferenciais, em μV (DTA).

No quadro 9 são apresentadas algumas correlações entre variáveis já apresentadas, onde se nota que os teores das substâncias húmicas (AH, humina e AF) e de COT não se correlacionam bem com teores de Fe e de Al trocável, ao menos de maneira linear, o mesmo acontece com o COT, no entanto, quando nas amostras ocorreu uma maior perda de massa relativa nos valores mais baixos de temperatura, a tendência seguiu para os maiores valores de temperatura.

Quadro 9 – Coeficientes de correlação de Spearman entre as variáveis de solos e as perdas relativas de massa com a termodegradação nas amostras da Ilha da Trindade.

Variáveis	AH	AF	Humina	COT	PR 600 °C	PR 500 °C	PR 400 °C	PR 300 °C	PR 200 °C	PR 100 °C	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Feo	Fed	CTC
Al³⁺	0,021	0,347	0,055	0,266	0,212	0,212	0,158	0,233	0,288	0,507	-0,175	-0,61	0,003	0,531	0,014	-0,206	<u>0,761</u>
CTC	0,176	0,055	-0,261	0,024	0,358	0,358	0,382	<u>0,648</u>	<u>0,673</u>	<u>0,83</u>	0,407	-0,285	-0,311	0,116	0,067	-0,285	
Fed	0,042	-0,529	-0,236	-0,122	0,358	0,358	0,309	0,115	0,042	-0,055	0,158	0,467	-0,518	-0,433	<u>0,891</u>		
Feo	0,321	-0,596	-0,564	-0,299	0,321	0,321	0,285	0,297	0,224	0,200	0,316	0,503	<u>-0,665</u>	-0,476			
Areia grossa	-0,329	<u>0,801</u>	0,341	0,089	-0,317	-0,317	-0,348	-0,36	-0,335	-0,207	<u>-0,755</u>	<u>-0,939</u>	0,571				
Areia fina	0,061	0,578	0,622	0,463	-0,433	-0,433	-0,457	-0,561	-0,500	-0,482	-0,599	-0,537					
Silte	0,285	<u>-0,821</u>	-0,43	-0,238	0,067	0,067	0,091	0,115	0,079	-0,030	0,553						
Argila	0,249	<u>-0,649</u>	-0,292	-0,024	0,541	0,541	0,590	<u>0,754</u>	<u>0,711</u>	<u>0,632</u>							
PR 100 °C	0,212	-0,261	-0,236	0,055	<u>0,758</u>	<u>0,758</u>	<u>0,782</u>	<u>0,939</u>	<u>0,964</u>								
PR 200 °C	0,2	-0,353	-0,212	0,030	<u>0,842</u>	<u>0,842</u>	<u>0,879</u>	<u>0,988</u>									
PR 300 °C	0,188	-0,413	-0,273	-0,049	<u>0,83</u>	<u>0,83</u>	<u>0,867</u>										
PR 400 °C	-0,067	-0,371	0,091	0,256	<u>0,988</u>	<u>0,988</u>											
PR 500 °C	-0,055	-0,383	0,139	0,323	1,000												
PR 600 °C	-0,055	-0,383	0,139	0,323													
COT	-0,14	0,098	<u>0,86</u>														
Humina	-0,479	0,334															
AF	-0,225																

Em que, PR = perda de massa relativa; AH = teor de ácidos húmicos; AF = teor de ácidos fúlvicos; COT = teor de carbono orgânico total. Valores em destaque são significativos a nível-p de 5 %.

4. DISCUSSÕES

4.1. ESTOQUE E CONTEÚDO DE CARBONO ORGÂNICO NOS SOLOS

A razão pela qual o Neossolo Litólico eutrófico típico, A moderado (Perfil 9) foi o solo com menor EC, menor até mesmo do que outros neossolos litólicos, pode ser que devido a ocorrem nas porções mais secas da ilha, onde as condições para o acúmulo de carbono são menos favorecidas.

O atributo ornitogênico se mostrou determinante para o incremento no COT nos solos, de modo que, até certo limite, o EC nos perfis é diretamente incrementado pela atividade local das aves, compensando, em alguns casos, a reduzida espessura do *solum* que definidos solos possuem.

Speir & Cowling (1984) estudando solos em Ross Island, Antártica, notaram que os solos sob mais intensa influencia das aves pinguins-de-adeliae são extraordinariamente ricos em C orgânico.

Michel *et al.* (2006) também relataram a alta imobilização de C orgânico em solos ornitogênicos da Ilha Rei George, Antártica Marítima, tendo encontrado um teor de COT igual a 8,6 dag/kg nos primeiros 10 cm do solo classificado como Lithic Fibristels, enquanto que no presente estudo, em solos próximos, como o Neossolo Litólico distrófico típico ornitogênico, A moderado (Perfil 16), encontrou-se teor de COT igual a 5,27 dag/kg nos primeiros 15 cm de profundidade, e 18,82 dag/kg nos primeiros 15 centímetros do Organossolo Háplico fíbrico típico ornitogênico, A moderado (Perfil 12) (vide quadro 2).

Ressalta-se que nos solos ricos em COT na Antártica seu acúmulo é muito favorecido pelas baixas temperaturas ao longo de todo o ano, em especial no inverno, onde algumas plantas, inclusive, adaptaram-se em absorver formas orgânicas e complexas de N, como aminoácidos e proteínas, devido à decomposição parcial da matéria orgânica nos solos (Hill *et al.*, 2011).

Em relação ao EC para cada classe de solo, na Área de Preservação Permanente Cachoeira das Andorinhas, município de Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, clima mesotérmico, Guedes (2008) encontrou um EC de 36,26 kg/m² em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, 13,03 kg/m² em Cambissolo Háplico, 14,86

kg/m² em Cambissolo Húmico, 8,73 kg/m² em Neossolo Litólito e 8,08 kg/m² em Gleissolo Melânico.

Individualmente o Latossolo do trabalho de Guedes (2008) apresentou relativo alto valor de EC, ao que o autor atribui especialmente à grande profundidade, típica deste solo, aliada ao grande aporte de matéria orgânica no solo pela vegetação do tipo floresta em sua superfície, bem como à altitude elevada em que se encontra, reduzindo a velocidade de decomposição da matéria orgânica. Contudo, ressalta-se que o teor de COT foi menor do que muitos dos solos ornitogênicos, menos profundos, do presente estudo.

Para os classificados como Cambissolos no território brasileiro, dentre outras classes de solos, Batjes (2000) estimou um EC de 4,8 kg/m² (CV = 63 %) nos primeiros 30 cm de profundidade, 3,1 kg/m² (CV = 49 %) para os Neossolos Regolíticos, e a classe de solos brasileiros com maior EC, segundo o autor, é dos Gleissolos, com 9,3 kg/m² (CV = 181 %), e a com menor EC é a dos Neossolos Quartzarênicos, com 2,4 kg/m² (CV = 71 %).

No presente estudo, considerando apenas os Organossolos a média de EC foi de 27,64 kg/m², para os Cambissolos Háplicos foi de 19,54 kg/m², nos Neossolos Regolíticos foi de 17,84 kg/m², e por fim, nos Neossolos Litólicos foi de 14,02 kg/m².

Nota-se, portanto, a tendência dos solos da Ilha Trindade serem grandes estocadores de carbono em relação às médias das mesmas classes de solos no continente, em latitudes equivalentes, com, inclusive, regimes hídricos e térmicos semelhantes.

Esta característica de grande EC dos solos da Ilha da Trindade, apesar de seus solos jovens, pode ser atribuída, como já mencionado, ao grande aporte de resíduos ornitogênicos, e à pobreza de organismos na mesofauna dos solos, em especial insetos, como reportado por Clemente *et al.* (2009), que agem cominuindo os resíduos orgânicos, o que exporia a matéria orgânica à maior degradabilidade (Schaefer, 2001).

No entanto, há na ilha uma grande abundância de caranguejos-amarelo, ou carango, (*Gecarcinus lagostoma*, *Crustacea*), de terra firme, que se alimenta de resíduos orgânicos, contribuindo para alguma cominuição, mas este *turnover*, além de ser mais recente, é bem mais limitado.

Antes da devastação causada pelas cabras, imagina-se que boa parte da cobertura da ilha era florestada, devido a relatos de navegadores e aos exemplares de grandes troncos encontrados na ilha, e a floresta de outrora pode ser a origem de boa parte do carbono orgânico presente nos solos, ornitogênicos ou não.

Considerando a estratificação ambiental bem como o agrupamento dos solos em 15 unidades de mapeamento de solos feito por Sá (2010), nota-se uma grande variação de EC ao longo dessas. O referido autor menciona a grande variação de COT nos solos em função do material de origem, altitude, influência ornitogênica, cobertura vegetal e face de orientação dos solos em relação aos pontos cardianos, ao se considerar os perfis individuais, porém, as referidas correlações são dificultadas ao se unir diversos perfis de solos amostrados nas unidades de mapeamento.

A Ilha da Trindade representa uma área de grande acúmulo de carbono orgânico em seus ambientes, mesmo tendo sofrido grande degradação ao longo dos últimos 3 séculos, fato que culminou em perda de cobertura vegetal original, e perda de solos superficiais, geralmente mais ricos em COT, por processos erosivos, no entanto, o grande aporte de resíduos ornitogênicos parece ser uma fonte abundante de compostos de carbonos incorporados nos solos, que ali ficam imobilizados pela aparente degradação dificultada da matéria orgânica nos solos.

4.2. FRACIONAMENTO DA MOS E TERMOANÁLISES

O alto grau de cristalinidade nas formas minerais de Fe demonstrado pela relação Fe_o/Fe_d faz com que esses solos se difiram daqueles ornitogênicos estudados por Simas *et al.* (2007), com relações de Fe_o/Fe_d sempre maiores do que 0,8. O referido autor discute que consideráveis frações de Fe e de Al estão formando complexos organominerais em ambientes pedogeneticamente mais desenvolvidos.

A textura predominantemente franca dos solos da ilha derrubam a tese de que a MOS estaria sendo protegida da termodegradação por complexos organominerais, representados pela quelatização com argilas e envolvidas intra

agregados, o que segundo Ahmed *et al.* (2002) colaboraria para a seleção de uma MOS termodegradável em menores temperaturas em relação daquela MOS livre.

Conforme notado no quadro 9, as maiores perdas relativas de massa correlacionaram-se positiva e significativamente com o teor de argila, indicando, também, que conforme exista uma proporção maior de argila ocorre uma seleção de MOS a ser protegida por este componente.

A pobreza de organismos decompositores, por sua vez, pode estar relacionada a fragmentos orgânicos mais grosseiros, ou ainda, a moléculas orgânicas mais complexas e, por isso, também mais resistentes à termodegradação, o que pode ser visualizado a partir dos ombros exotérmicos em temperaturas elevadas, predominantemente na faixa dos 320 °C (vide anexo 2), enquanto que para solos sob diversos usos, Plante *et al.* (2005) encontrou picos exotérmicos máximos na faixa dos 270 a 283 °C.

Uma MOS mais lábil, com menor relação C/N, e consequentemente menos resistente a termodegradação pode estar predominando nas amostras onde houveram as maiores perdas cumulativas de massa (ST6, ST7 e ST8) (Quadro 8), sendo essas em meio ao território dos ninhais de atobás, onde essas aves costumam pousarem nos mesmos pontos ao longo de todo o ano, indiferente da época ser de reprodução ou não, havendo, assim, um aporte contínuo de excrementos nos solos do entorno.

Pode-se considerar que nos primeiros 100 °C de aumento de temperatura todas as amostras perderam as formas orgânicas de carbono detectadas, ou seja, as apresentadas como MOS no quadro 4 e como COT no quadro 7, indicando a perda relativa de massa de formas de carbono não detectada, quiçá de formas inorgânicas como minerais carbonáticos.

Correlacionando-se o teor de humina com as maiores temperaturas dos picos exotérmicos para cada amostra, encontrou-se um coeficiente de correlação de Spearman de 0,65 (significativo a 10 %). Fato que se destaca, é que as amostras com maiores teores de humina tendem a apresentarem mais de um pico exotérmico dentro do intervalo de temperatura testado.

5. CONCLUSÕES

A Ilha da Trindade é grande acumuladora de carbono orgânico em seus solos.

Dentre os solos da Ilha de Trindade, os solos onitogênicos são os maiores acumuladores de carbono orgânico, fato que compensa, muitas vezes, suas pequenas profundidades.

Os Cambissolos Háplicos, Neossolos Regolíticos e Neossolos Litólicos da Ilha da Trindade são maiores acumuladores de carbono orgânico por unidade de área em relação a média dos solos do continente enquadrados nas mesmas classes.

Fração significativa do carbono orgânico nos solos da ilha parece não estar protegido em formas de complexos organominerais de Fe e Al, mas sim protegidas por sua própria estrutura molecular.

Com a termodegradação os picos exotérmicos parecem estar relacionados com os teores de humina, ocorrendo em maiores temperaturas conforme os teores se elevam.

6. REFERÊNCIAS CITADAS

- AHMED, N; VARADACHARI, C. & GHOSH, K. 2002. Soil clay–humus complexes: II. Bridging cations and DTA studies. *Australian Journal of Soil Research*, 40:705–713.
- BAKER, J. M.; OCHSNER, T. E.; VENTEREA, R. T. & GRIFFIS, T. J. 2007. Tillage and soil carbon sequestration—What do we really know? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118:1–5.
- BATJES, N. H. 1996. Total carbon and nitrogen in soils of the world. *European J. Soil Science*, 47: 151–163
- BATJES, N. H. 2000. Effects of mapped variation in soil conditions on estimates of soil carbon and nitrogen stocks for South America. *Geoderma*, 97:135–144.
- CLEMENTE, E. P.; SCHAEFER, C. E. G. R.; OLIVEIRA, F. S.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALVES, R. V.; SÁ, M. M. F.; MELO, V. de F. & CORRÊA, G. R. 2009. Topossequências de solos na Ilha da Trindade, Atlântico Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1357-1371.
- CLEMENTE, E. P.; SCHAEFER, C. E. R. G. & OLIVEIRA, F. S. Proposta de Zoneamento Ambiental para a Ilha da Trindade (ES). Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 28p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 171).
- CUNHA, T. J. F. 2005. Ácidos Húmicos de Solos Escuros da Amazônia (Terra Preta do Índio). Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 139pp.
- DEFELIPO, B. V. & RIBEIRO, A. C. Análises químicas dos solos – metodologia. 2 ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997, 26p.
- EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PÉREZ, D. V.; PEREIRA, M. G. & NOVOTNY, E. H. 2013. Atributos físicos e matéria orgânica de Organossolos Háplicos em distintos ambientes no Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:763-774.
- EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análises de solos. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 212 p.
- FONSECA NETO, F. P. 2004. Aves marinhas da ilha Trindade. p.119-146. In: BRANCO, J. O. (org.). *Aves marinhas insulares brasileiras: bioecologia e*

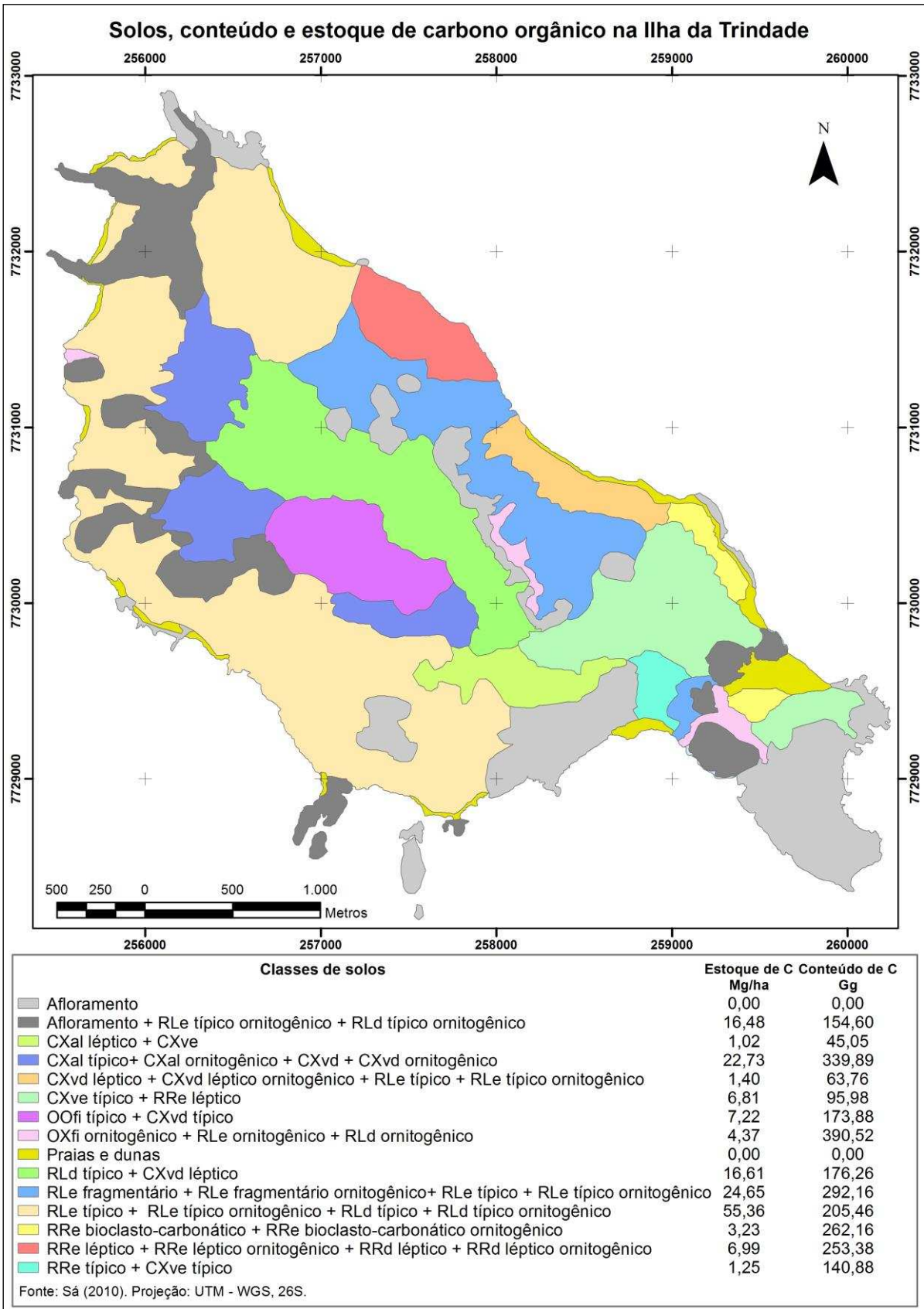
- conservação. UNIVALI, Itajaí. (http://www.avesmarinhas.com.br/Capítulo_6.pdf). Acessado em 20/05/2011.
- FREIBAUER, A.; ROUNSEVELL, M. D. A. & JAN VERHAGEN, P. S. 2004. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma*, 122:1–23.
- GUEDES, I. M. R. 2008. Geoambientes, estoques de carbono e termodegradação da matéria orgânica de solos da área de proteção ambiental estadual Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. Tese de doutorado. Viçosa, UFV. 75p.
- HILL, P. W.; FARRAR, J.; ROBERTS, P.; FARRELL, M.; GRANT, H.; NEWSHAM, K. K.; HOPKINS, D. W.; BARDGETT, R. D.; JONES, D. L. 2011. Vascular plant success in a warming Antarctic may be due to efficient nitrogen acquisition. *Nature Climate Change*, 1:50-54.
- IPCC, 2001. In: Houghton, J.T., Ding, Y, Griggs, D.J., Noguer, M., vander Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A. (Eds.), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- JARECKIA, M. K. & LALA, R. 2005. Corresponding author contact information, E-mail the corresponding author, Randy Jamesb. 2005. Crop management effects on soil carbon sequestration on selected farmers' fields in northeastern Ohio. *Soil and Tillage Research*, 81:265–276.
- JOHNSON, K. D.; SCATENA, F. N. & SILVER, W. L. 2011. Atypical soil carbon distribution across a tropical steep-land forest catena. *CATENA*, 87:391–397.
- LAL, R. 2011. Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. *Food Policy*, 36:S33–S39.
- LIMA, C. E. P. 2010. Termoanálises de matéria orgânica e vulnerabilidade à contaminação por metais pesados de solos do Estado de Minas Gerais. Tese de doutorado. Viçosa, UFV. 162p.
- LUGO, A. E. & BROWN, S. 1990. Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and US Virgin Islands. *Plant and Soil*, 124:53-63.
- MARTINS, L. S. G. & ALVES, R. J. V. 2007. Regeneração Natural do Morro Vermelho, Ilha da Trindade. *Revista Brasileira de Biociências*, 5:39-41.
- MICHEL, R. F. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; DIAS, L.; SIMAS, F. N. B.; BENITES, V. & MENDONÇA, E. S. 2006. Ornithogenic Gelisols (Cryosols) from Maritime

- Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies. Soil Science Society of America Journal, 70:1370-1376.
- NOVOTNY, E. H.; BLUM, W. E. H.; GERZABEK, M. H. & MANGRICH, A. S. 1999. Soil management system effects on size fractionated humic substances. *Geoderma*, 92:87-109.
- OLIVEIRA, F. S. 2008. Fosfatização em solo e rocha em ilhas oceânicas brasileiras. Dissertação de mestrado (Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 124f.
- PLANTE, A. F.; PERNES, M. & CHENU, C. 2005. Changes in clay-associated organic matter quality in a C depletion sequence as measured by differential thermal analyses. *Geoderma* 129:186-199.
- POST, W. M.; EMANUEL, W. R.; ZINKE, P. J. & STANGENBERGER, A. G. 1982. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, 298:156-159.
- PROTRINDADE – Programa de Pesquisas Científicas na Ilha da Trindade. 2013. Disponível em <<https://www.mar.mil.br/secirm/p-trindade.html>>. Acesso em 01/07/2013.
- RUIZ, H. A. 2005. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:297-300.
- SÁ, M. M. F. 2010. Caracterização ambiental, classificação e mapeamento dos solos da Ilha da Trindade, Atlântico Sul. UFV, Viçosa, Minas Gerais, 58p. (Dissertação de Mestrado).
- SCHAEFER, C.E.G.R. Brazilian Latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. *Austr. J. Soil Res.*, 39:909-926, 2001.
- SCHOLES, R.J. & van BREEMEN, N. The effects of global change on tropical ecosystems. *Geoderma*, 79:9-24, 1997.
- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F.; ALBUQUERQUE-FILHO, M. R.; MICHEL, R. F.; PEREIRA, V. V.; GOMES, M. R. M. & COSTA, L. M. 2007. Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: Phosphatization as a soil forming process. *Geoderma*, 138:191-203.
- SPEIR, T. W. & COWLING, L. C. 1984. Ornithogenic soils of the Cape Bird adelié penguin rookeries, Antarctica. *Polar Biology*, 2:199-205.

TATUR, A. & MYRCHA, A. 1984. Ornitogenic soils of King George Island. Polish Polar Research, 5:31-60.

WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen). 1998. Die Anrechnung biologischer Quellen und Senken im Kyoto-Protokoll: Fortschritt oder Rückschlag für den globalen Umweltschutz? WBGU, Bremerhaven, 76 pp.

ANEXO 1 – Mapa de solos, conteúdo e estoque de carbono orgânico da Ilha da Trindade.



ANEXO 2 – Quadros dos resultados das amostras de solos da Ilha da Trindade

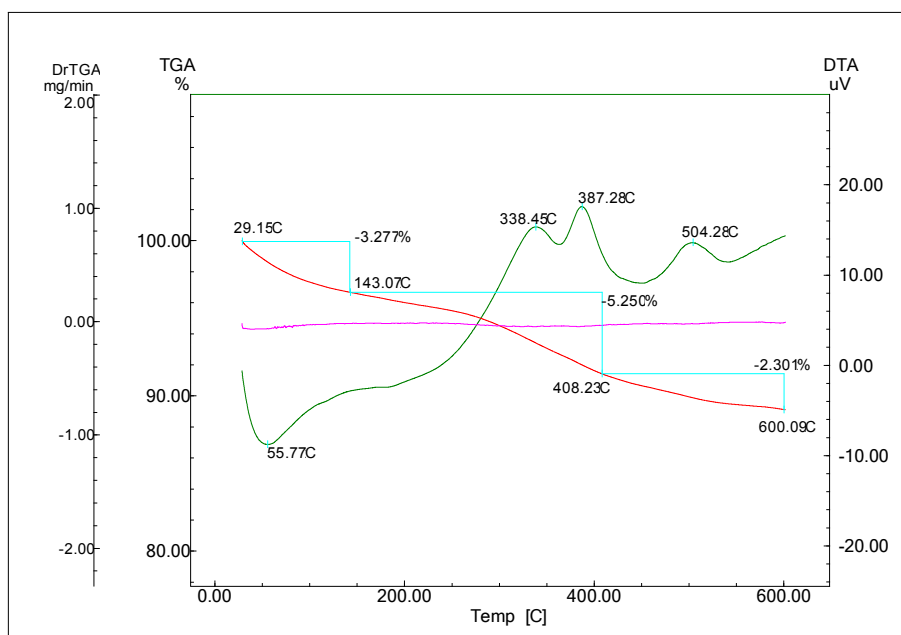


Figura 1 - Termograma da amostra ST1. A linha verde refere-se à liberação de energia da amostra (DTA), a linha rosa é a derivada da termogravimetria (DrTGA) e a linha vermelha a porcentagem de massa em relação a inicial (TGA).

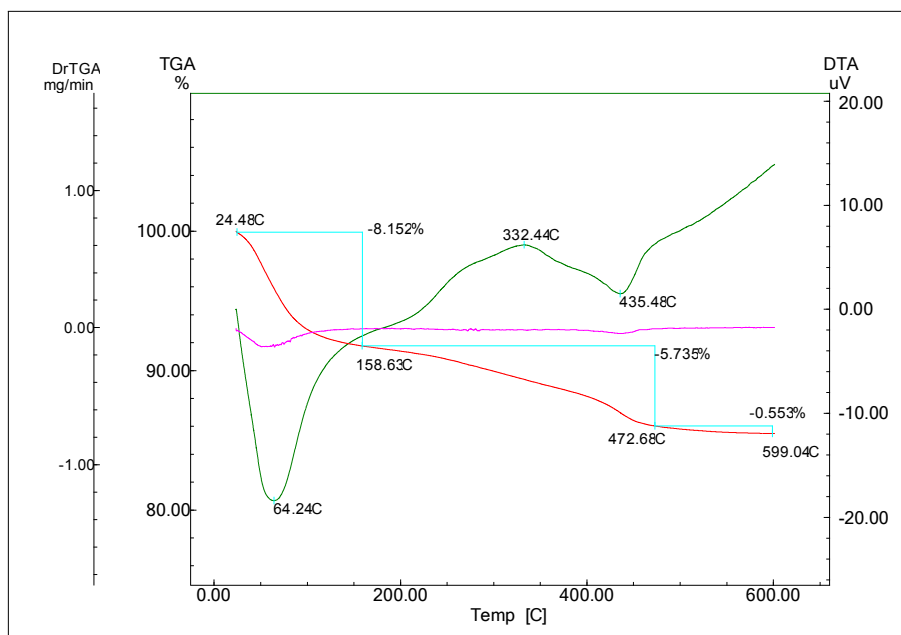


Figura 2 - Termograma da amostra ST2. A linha verde refere-se à liberação de energia da amostra (DTA), a linha rosa é a derivada da termogravimetria (DrTGA) e a linha vermelha a porcentagem de massa em relação a inicial (TGA).

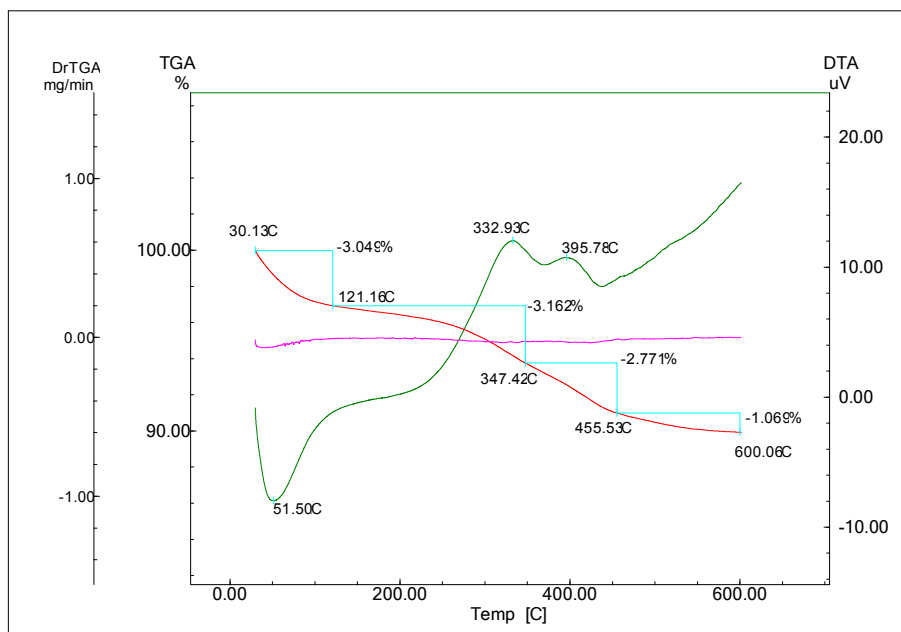


Figura 3 - Termograma da amostra ST3. A linha verde refere-se à liberação de energia da amostra (DTA), a linha rosa é a derivada da termogravimetria (DrTGA) e a linha vermelha a porcentagem de massa em relação a inicial (TGA).

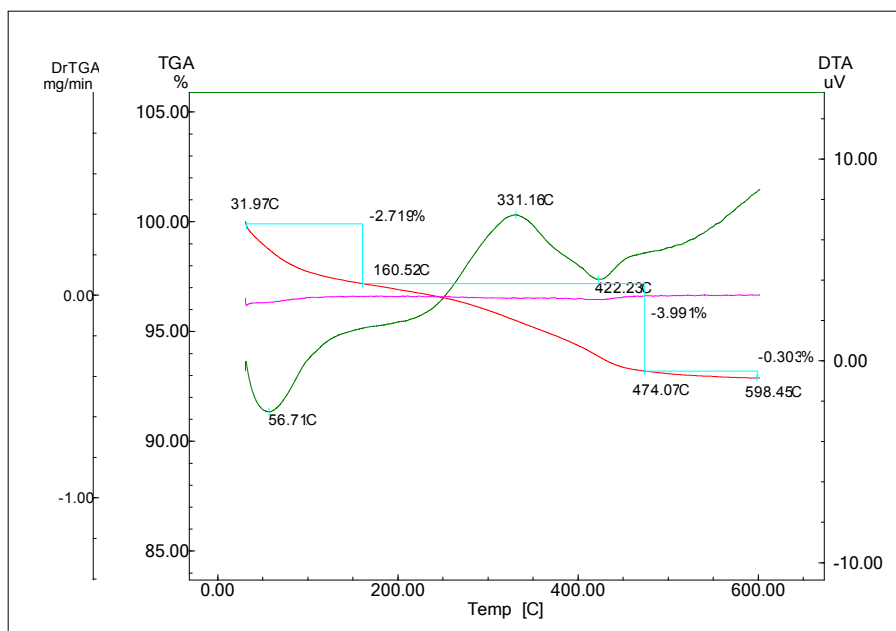


Figura 4 - Termograma da amostra ST4. A linha verde refere-se à liberação de energia da amostra (DTA), a linha rosa é a derivada da termogravimetria (DrTGA) e a linha vermelha a porcentagem de massa em relação a inicial (TGA).

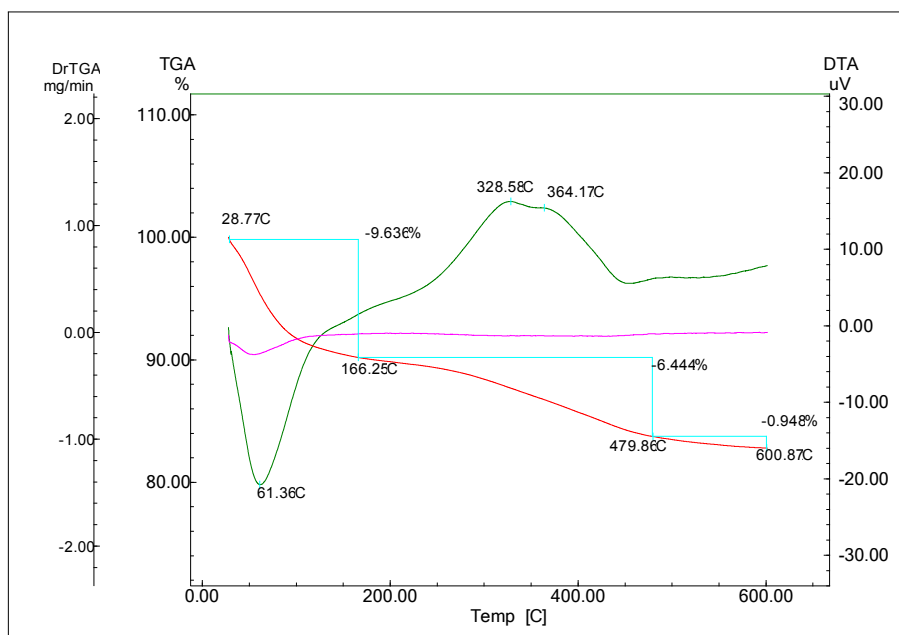


Figura 5 – Termograma da amostra ST5. A linha verde refere-se à liberação de energia da amostra (DTA), a linha rosa é a derivada da termogravimetria (DrTGA) e a linha vermelha a porcentagem de massa em relação a inicial (TGA).

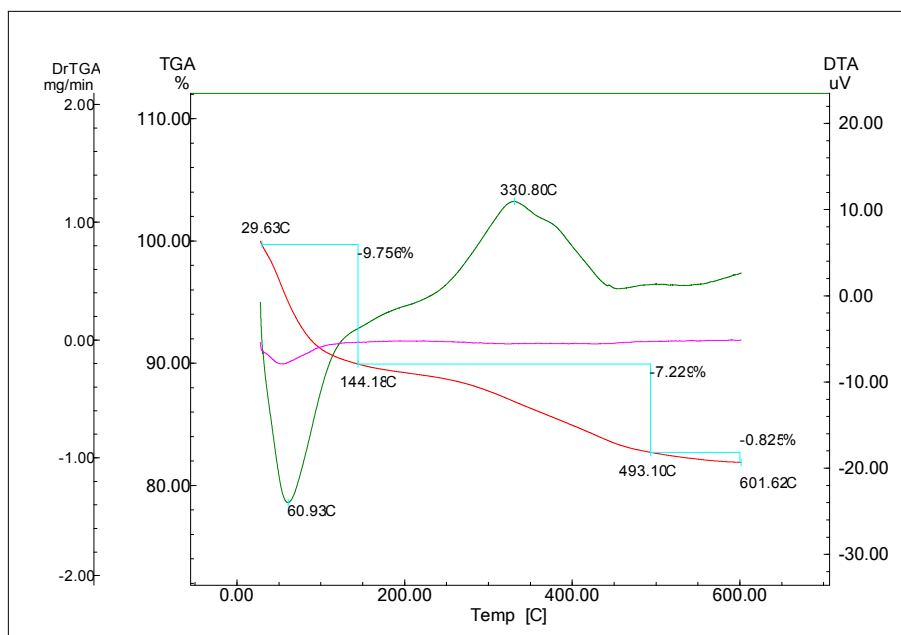


Figura 6 - Termograma da amostra ST6. A linha verde refere-se à liberação de energia da amostra (DTA), a linha rosa é a derivada da termogravimetria (DrTGA) e a linha vermelha a porcentagem de massa em relação a inicial (TGA).

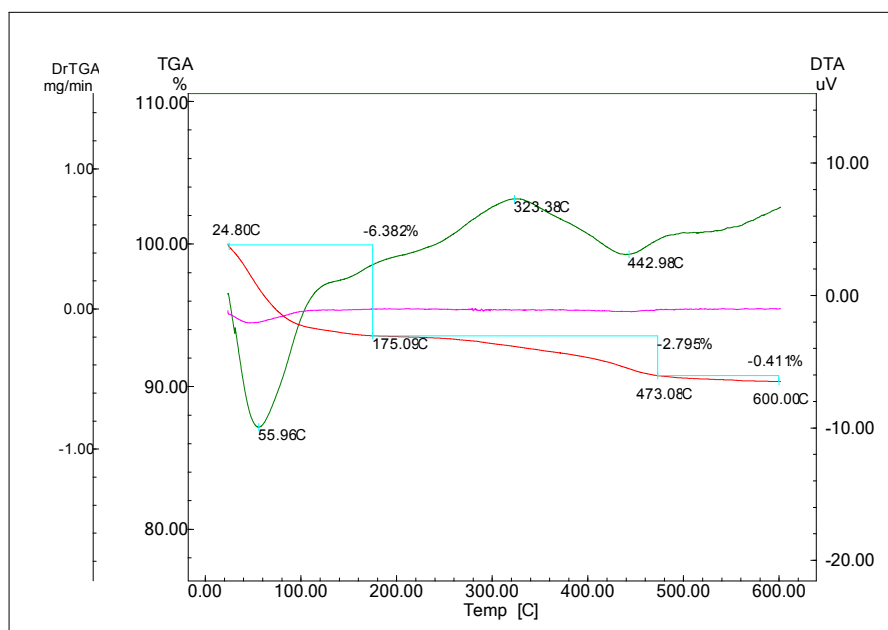


Figura 7 – Termograma da amostra ST7. A linha verde refere-se à liberação de energia da amostra (DTA), a linha rosa é a derivada da termogravimetria (DrTGA) e a linha vermelha a porcentagem de massa em relação a inicial (TGA).

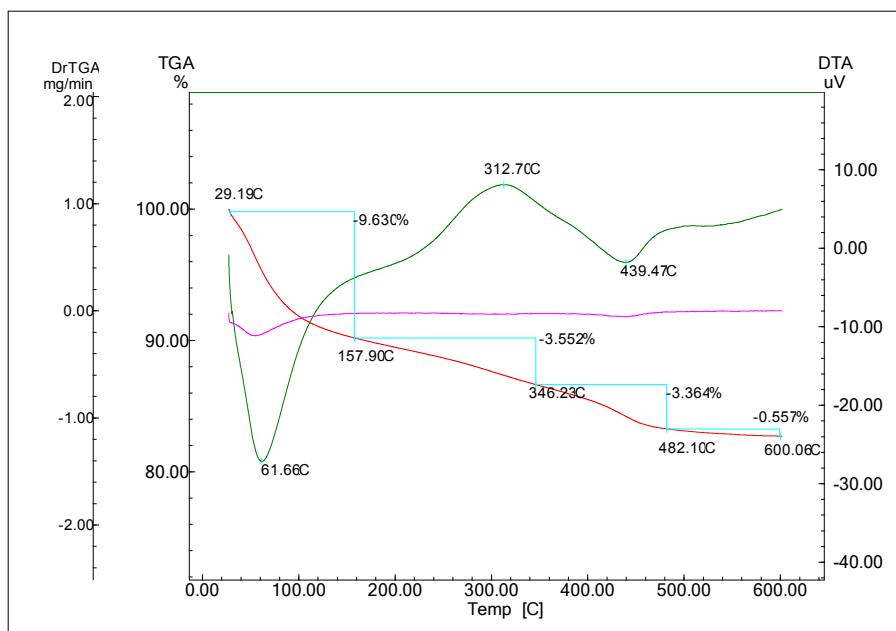


Figura 8 - Termograma da amostra ST8. A linha verde refere-se à liberação de energia da amostra (DTA), a linha rosa é a derivada da termogravimetria (DrTGA) e a linha vermelha a porcentagem de massa em relação a inicial (TGA).

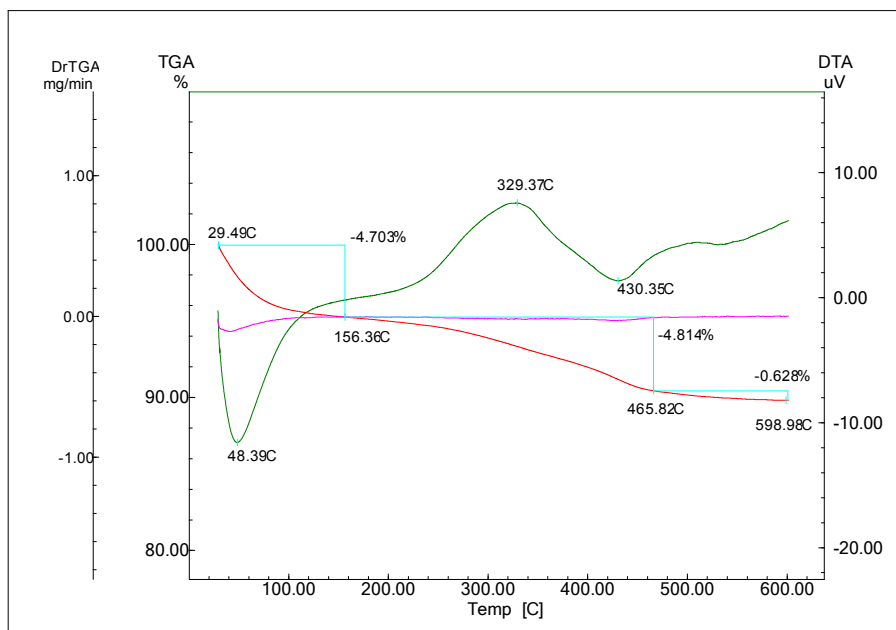


Figura 9 - Termograma da amostra ST9. A linha verde refere-se à liberação de energia da amostra (DTA), a linha rosa é a derivada da termogravimetria (DrTGA) e a linha vermelha a porcentagem de massa em relação a inicial (TGA).