



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO



ATRIBUTOS EDÁFICOS DE AMBIENTES INVADIDOS POR *Cryptostegia
madagascariensis* Bojer ex Decne E CRESCIMENTO INICIAL EM CONDIÇÕES DE
SODICIDADE DO SOLO

RUMMENIGGE DE MACÊDO RODRIGUES

Areia - PB
Março de 2016

RUMMENIGGE DE MACÊDO RODRIGUES

ATRIBUTOS EDÁFICOS DE AMBIENTES INVADIDOS POR *Cryptostegia
madagascariensis* Bojer ex Decne. E CRESCIMENTO INICIAL EM CONDIÇÕES DE
SODICIDADE DO SOLO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo – PPGCS do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, como um dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo. Área de Concentração: Relação Solo-água-planta-atmosfera.

Prof. Dr. Leonaldo Alves de Andrade
PPGCS/CCA/UFPB - Orientador

Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira
PPGCS/CCA/UFPB – Coorientador

Areia - PB
Março de 2016

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

R696a Rodrigues, Rummenigge de Macêdo.

Atributos edáficos de ambientes invadidos por *Cryptostegia madagascariensis*
Bojer ex Decne. e crescimento inicial em condições de sodicidade do solo /
Rummenigge de Macêdo Rodrigues. - Areia: UFPB/CCA, 2016.
164 f. : il.

Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade
Federal da Paraíba, Areia, 2016.

Bibliografia.

Orientador: Prof. Dr. Leonaldo Alves de Andrade.

Co-orientador: Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira

1. Solos – Invasão biológica. 2. Solos – Qualidade. 3. Plantas invasoras. 4. Solos –
biodiversidade. I. Andrade, Leonaldo Alves de (Orientador) II. Título.

UFPB/CCA

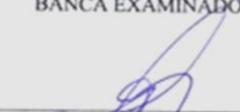
CDU: 631.4(043.2)

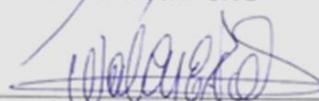
RUMMENIGGE DE MACÊDO RODRIGUES

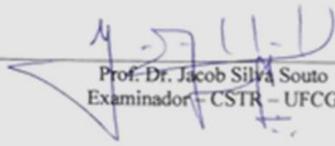
ATRIBUTOS EDÁFICOS DE AMBIENTES INVADIDOS POR *Cryptostegia*
madagascariensis Bojer ex Decne. E CRESCIMENTO INICIAL EM CONDIÇÕES DE
SODICIDADE DO SOLO

Aprovado em: 09 / 03 / 2016

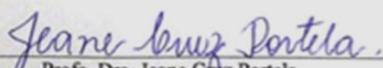
BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Leonardo Alves de Andrade
Orientador CCA – UFPB


Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira
Coorientador – CCA – UFPB


Prof. Dr. Jacob Silva Souto
Examinador – CSTR – UFCG


Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias
Examinador – CCA – UFPB


Profa. Dra. Jeane Cruz Portela
Examinador – DCAT – UFERSA

Areia - PB
Março de 2016

DEDICO

*Aos meus pais: Juarez
Rodrigues do Nascimento e Maria
Francimar de Macêdo Rodrigues*

OFEREÇO

*A minha esposa Leidy pela
condescendência, cumplicidade,
apoio e paciência.*

AGRADEÇO

A Deus pelas bênçãos que tem enchido nossas vidas de alegrias;

A minha família, em especial aos meus Pais Juarez R. do Nascimento e Maria Francimar de M. Rodrigues, aos meus Irmãos Rodrigo de M. Rodrigues e Ramón de M. Rodrigues, à minha linda Esposa Gysleidy H. Rodrigues, ao meu maravilhoso e abençoado filho, Mattheus H. de M. Rodrigues, aos meus sogro e sogra Antônio Hermenegildo e Maria das Dores, sem os quais esta e outras realizações não seriam possíveis;

A todos os meus amigos, em especial ao Richardson Soares, Victor Hugo, José Gomes, Edlania, Tenório, Reinaldo, Flaubert, Flávio, Klerton, Jailma, Stela Prazeres, Belchior, Tancredo Augusto, Cícero (Boy), Beto, Didiu e muitos outros.

À Universidade Federal da Paraíba, ao Centro de Ciências Agrárias e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de formação acadêmica, acesso ao conhecimento técnico-científico e desenvolvimento como indivíduo que desfrutou nestes mais de dez anos, de um meio onde a ética, a moral, a polidez e cortesia predominam.

Aos Doutores Leonaldo Alves de Andrade (Orientador) e Walter Esfrain Pereira (Coorientador) pela oportunidade, pela predisposição a aceitar a orientação, pelos ensinamentos, pelo esforço, pela disponibilidade e contribuições para a concretização do trabalho e a minha formação acadêmica;

Ao Projeto BIOMAS/EMBRAPA/CNA, pelo financiamento absolutamente necessário para a realização do trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da Bolsa de Estudos, a qual tornou possível a realização deste sonho com dignidade e menores dificuldades;

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em especial devido a ajuda primordial, agradeço ao Dr. Lourival Ferreira Cavalcante, Dr. Ivandro de França da Silva e Dr. José Ferreira da Costa Filho.

Aos Funcionários do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba.

Enfim, a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Minha mais sincera gratidão...

Obrigado!

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

	Página
Tabela 1. Coordenadas geográficas em UTM das áreas utilizadas no estudo. -----	40
Tabela 2. Esquema do quadro da análise de variância para os fatores: classes de solo, cobertura vegetal (nativa e <i>C. madagascariensis</i>) e profundidades.-----	47
Tabela 3. Teores de areia total, silte e argila e classificação textural em função da classe de solo, cobertura vegetal e profundidade do solo. -----	49
Tabela 4. Umidade gravimétrica em função das classes de solo, cobertura vegetal e profundidade. -----	50
Tabela 5. Grau de floculação do solo por classe de solo de acordo com a cobertura vegetal.	52
Tabela 6. Grau de floculação do solo por profundidade de acordo com a cobertura vegetal.	52
Tabela 7. Porosidade total do solo em função das classes de solo, cobertura vegetal e profundidade. -----	54
Tabela 8. Densidade do solo em função das classes de solo, cobertura vegetal e profundidade. -----	54

CAPÍTULO III

Tabela 1. Coordenadas geográficas em UTM das áreas utilizadas no estudo. -----	69
Tabela 2. Esquema do quadro da análise de variância para os fatores: classes de solo, cobertura vegetal (nativa e <i>C. madagascariensis</i>) e profundidades.-----	75
Tabela 3. Acidez ativa do solo por classe de classe de solo e profundidade.-----	77
Tabela 4. Teores de potássio em função de classes de solo, cobertura vegetal e profundidade. -----	81
Tabela 5. Correlação de Pearson entre os atributos matéria orgânica do solo (MOS), areia total (Areia) e argila total (Argila) e a capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe).	83
Tabela 6. Percentagem de sódio trocável (PST) em função da classe de solo e cobertura vegetal. -----	85
Tabela 7. Condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) do solo por classe de solo, cobertura vegetal e profundidade. -----	87

CAPÍTULO IV

Tabela 1. Coordenadas geográficas em UTM das áreas utilizadas no estudo. -----	99
Tabela 2. Esquema do quadro da análise de variância para os fatores: classes de solo, cobertura vegetal (nativa e <i>C. madagascariensis</i>) e profundidade.-----	105

Tabela 3. Quociente Microbiano em função da classe de solo e cobertura vegetal.-----	113
Tabela 4. Quociente Microbiano em função da classe e profundidade do solo. -----	113
Tabela 5. Quociente Microbiano em função da profundidade e cobertura vegetal do solo.--	113
Tabela 6. Carbono Orgânico Total (COT) em função da classe e cobertura vegetal do solo.	114
Tabela 7. Carbono Orgânico Total (COT) em função da classe e profundidade do solo. ----	114
Tabela 8. Carbono Orgânico Total (COT) em função da profundidade e cobertura vegetal do solo. -----	115

CAPÍTULO V

Tabela 1. Análise descritiva dos dados amostrais obtidos nos ambientes invadidos por <i>C. madagascariensis</i> . -----	132
Tabela 2. Análise descritiva dos dados amostrais obtidos nos ambientes de vegetação nativa. -----	134
Tabela 3. Análise de componentes principais dos atributos físicos, químicos e biológicos. -	135

CAPÍTULO VI

Tabela 1. Caracterização química dos solos utilizados no experimento.-----	151
Tabela 2. Caracterização da água de irrigação. -----	151

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

	Página
Figura 1. Detalhes do fruto (A) e semente (B) de <i>C. madagascariensis</i> . Fonte: Cruz (2014)	27
Figura 2. Partes reprodutivas da invasora <i>C. madagascariensis</i> . -----	28

CAPÍTULO II

Figura 1. Localização das áreas de estudo nos municípios de Quixadá e Ibaretama no semiárido do estado do Ceará. -----	39
Figura 2. Área I, classe Planossolo Háplico Sáfico solódico, ambiente invadido por <i>C. madagascariensis</i> (A) e ocupado por vegetação nativa (B). -----	41
Figura 3. Área II, classe Neossolo Regolítico Eutrófico fragipânico, ambiente invadido por <i>C. madagascariensis</i> (A) e ocupado por vegetação nativa (B). -----	42
Figura 4. Área III, classe Vertissolo Hidromórfico Órtico chernossólico, ambiente invadido por <i>C. madagascariensis</i> (A) e ocupado por vegetação nativa (B). -----	43
Figura 5. Área IV, classe Neossolo Flúvico ta eutrófico vertissólico A moderado, ambiente invadido por <i>C. madagascariensis</i> (A) e ocupado por vegetação nativa (B).-----	43
Figura 6. Layout esquemático das áreas selecionadas e do procedimento de amostragem do solo sob as coberturas vegetais de vegetação nativa e <i>C. madagascariensis</i> . ✂ = planta nativa área não invadida; 🌿 = planta de <i>C. madagascariensis</i> ; - - = Subdivisões da área; ● = Amostras simples; 🍷 = representação da obtenção de uma amostra composta por dez amostras simples.-----	44
Figura 7. Profundidades de coleta das amostras de solo.-----	45
Figura 8. Solos das áreas I, II, III e IV. -----	45
Figura 9. Coleta das amostras de solos dos ambientes invadidos sob a copa de <i>C. madagascariensis</i> . -----	45
Figura 10. Teores de argila natural por classe de solo (A) e cobertura vegetal (B). Planossolo Háplico (SXz), Neossolo Regolítico (RRe), Vertissolo Hidromórfico (VGo) e	

Neossolo Flúvico (RYve). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ----- 51

Figura 11. Resistência do solo à penetração (RP) por classe de solo (A), cobertura vegetal (B) e profundidade (C) em diferentes profundidades do solo. Planossolo Háplico (SXz), Neossolo Regolítico (RRe), Vertissolo Hidromórfico (VGo) e Neossolo Flúvico (RYve). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ----- 55

CAPÍTULO III

Figura 1. Localização das áreas de estudo nos municípios de Quixadá e Ibaretama no semiárido do estado do Ceará. ----- 70

Figura 2. Layout esquemático das áreas selecionadas e do procedimento de amostragem do solo sob as coberturas vegetais de vegetação nativa e *C. madagascariensis*. ✂ = planta nativa área não invadida; 🌿 = planta de *C. madagascariensis*; - - = Subdivisões da área; ● = Amostras simples; 🍷 = representação da obtenção de uma amostra composta por dez amostras simples. ----- 73

Figura 3. Coleta das amostras de solos dos ambientes invadidos sob a copa de *C. madagascariensis*. ----- 74

Figura 4. Teores de matéria orgânica do solo (MOS) para as classes de solo (A) cobertura vegetal (B) e profundidade (C). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ----- 76

Figura 5. Teores de fósforo disponível de acordo com as classes de solo (A), cobertura vegetal (B) e profundidades do solo (C). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ----- 78

Figura 6. Teores de cálcio trocável para as classes de solo (A) e cobertura vegetal (B). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico;

RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ----- 79

Figura 7. Teores de magnésio (Mg) trocável das classes de solo Planossolo Háplico (SXz), Neossolo Regolítico (RRe), Vertissolo Hidromórfico (VGo) e Neossolo Flúvico (RYve). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.----- 80

Figura 8. Soma de bases das classes de solo (A), cobertura vegetal (B) e profundidade (C). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.----- 82

Figura 9. CTC efetiva para as classes de solo (A) e cobertura vegetal (B). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.----- 83

Figura 10. Saturação por bases (Valor V) para as classes de solo (A) e cobertura vegetal (B). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.----- 84

Figura 11. Saturação por alumínio (Valor m%) das diferentes classes de solos estudadas. SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.----- 84

Figura 12. Layout esquemático das áreas selecionadas e do procedimento de amostragem do solo sob as coberturas vegetais de vegetação nativa e *C. madagascariensis*. ✂ = planta nativa área não invadida; ★ = planta de *C. madagascariensis*; - - := Subdivisões da área; ● = Amostras simples; ●^{rl} = representação da obtenção de uma amostra composta por dez amostras simples.----- 102

CAPÍTULO IV

Figura 1. Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (Desp) em função das diferentes classes de solo (A), da cobertura vegetal (B) e das diferentes

profundidades (C). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ----- 106

Figura 2. Bactérias totais por classe de solo (A) e cobertura vegetal (B) e profundidade do solo (C). Planossolo Háplico (SXz), Neossolo Regolítico (RRe), Vertissolo Hidromórfico (VGo) e Neossolo Flúvico (RYve). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ----- 108

Figura 3. Populações de Fungos Totais em unidade formadora de colônia por classe de solo (A), Cobertura vegetal (B) e profundidades (C). Planossolo Háplico (SXz), Neossolo Regolítico (RRe), Vertissolo Hidromórfico (VGo) e Neossolo Flúvico (RYve). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ----- 109

Figura 4. Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) das diferentes classes de solos (A), do tipo de cobertura vegetal (B). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ----- 110

Figura 5. Quociente metabólico do solo nas diferentes classes de solo (A), cobertura vegetal (B) e profundidades (C). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ---- 112

CAPÍTULO V

Figura 1. Layout esquemático das áreas selecionadas e do procedimento de amostragem do solo sob as coberturas vegetais de vegetação nativa e *C. madagascariensis*. ✂ = planta nativa área não invadida; 🌿 = planta de *C. madagascariensis*; - - = Subdivisões da área; ● = Amostras simples; 🍷 = representação da obtenção de uma amostra composta por dez amostras simples. ----- 128

Figura 2. Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais de atributos edáficos. Umidade gravimétrica (Umi), areia (Arei), silte (silt), argila (Arg), argila natural (Argnat), grau de floculação (Gf), densidade do solo (Ds),

densidade de partículas (Dp), porosidade total (Pt); resistência do solo à penetração (RP), , cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), soma de bases (SB), fósforo disponível (P), potencial hidrogeniônico (pH); alumínio trocável (Al), capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe), saturação por bases (SB), saturação por alumínio (m); matéria orgânica do solo (MOS), carbono orgânico total (COT), percentagem de saturação por sódio (PST), condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), pH da pasta saturada (pHpasta), densidade de esporos de fungos micorrízicos (densespor), bactérias totais (Bactot), fungos totais (Fungtot), carbono da biomassa microbiana (Cbiomas), quociente metabólico (Qmet) e quociente microbiano (Qmic).----- 136

Figura 3. Análise de Cluster para os componentes 1, 2 e 3 pela combinação classe, cobertura vegetal e profundidade do solo.----- 137

Figura 4. Distribuição dos componentes principais (Prin1, Prin2 e Prin3) para cada cluster. 138

CAPÍTULO VI

Figura 1. Unidade experimental: sistema de drenagem e de recepção do percolado. ----- 150

Figura 2. Altura de plantas (AP) *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura.** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.----- 153

Figura 3. Número de folhas (NF) da espécie invasora *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura. ----- 154

Figura 4. Diâmetro do caule (DC) da espécie exótica invasora *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura.** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. ----- 155

Figura 5. Matéria seca da parte aérea (MSPA) de *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura. .** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. ----- 155

Figura 6. Matéria seca de raiz (MSRZ) de plantas de *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura.** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. ----- 156

- Figura 7. Diâmetro de raiz (DR) de *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura. ** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. ----- 157
- Figura 8. Comprimento de raiz (CR) de *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura. * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. ----- 157
- Figura 9. Relação parte aérea/raiz de plantas de *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura. ----- 158

SUMÁRIO

	Página
DEDICO	5
OFEREÇO	6
AGRADEÇO	7
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE FIGURAS	11
APRESENTAÇÃO.....	21

CAPÍTULO I

PLANTAS INVASORAS E SEUS IMPACTOS SOBRE O SOLO

1. INTRODUÇÃO	22
2. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A REGIÃO DE ESTUDO	24
3. A INVASÃO BIOLÓGICA.....	25
4. ESPÉCIES DE PLANTAS INVASORAS E AS MODIFICAÇÕES NO SOLO	26
5. A ESPÉCIE EXÓTICA <i>Cryptostegia madagascariensis</i>	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

CAPÍTULO II

ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS INVADIDOS POR *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex. Decne. NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DO CEARÁ

RESUMO	35
ABSTRACT	36
1. INTRODUÇÃO	37
2. MATERIAL E MÉTODOS	39
2.1. Caracterização das Áreas de Estudo.....	39
2.1.1. Localização	39
2.1.2. Aspectos Climáticos	40
2.1.3. Relevo, Geologia e Vegetação.....	40
2.2. Histórico das Áreas Estudadas	41
2.2.1. Área I	41
2.2.2. Área II.....	41
2.2.3. Área III.....	42
2.2.4. Área IV	43

2.3. Escolha das Áreas e Divisão Espacial dos Ambientes Visando o Estudo Comparativo...	44
2.4. Amostragem, Coleta e preparo das Amostras de Solo	44
2.5. Atributos Físicos Analisados	46
2.5.1. Umidade gravimétrica (%)	46
2.5.2. Análise granulométrica, argila dispersa em água e grau de flocculação	46
2.5.3. Densidades do solo (Ds) e da partícula (Dp) e porosidade total do solo (Pt)	46
2.5.4. Resistência do solo à penetração	46
2.6. Análises Estatísticas	47
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4. CONCLUSÃO	57
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

CAPÍTULO III

ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS INVADIDOS POR *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex. Decne. NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DO CEARÁ

RESUMO	63
ABSTRACT	65
1. INTRODUÇÃO	67
2. MATERIAL E MÉTODOS	69
2.1. Caracterização das Áreas de Estudo, Localização e Aspectos Climáticos.....	69
2.2. Relevo, Geologia e Vegetação	70
2.3. Histórico das Áreas Estudadas	71
2.3.1. Área I.....	71
2.3.2. Área II	71
2.3.3. Área III.....	72
2.3.4. Área IV	72
2.4. Escolha das Áreas e Divisão Espacial dos Ambientes Visando o Estudo Comparativo...	72
2.5. Amostragem e Coleta dos Materiais de Solo e Preparo das Amostras.....	73
2.6. Atributos Químicos Analisados.....	74
2.6.1. Fertilidade do solo	74
2.6.2. Salinidade do solo.....	75
2.7. Análises Estatísticas	75
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
3.1. Fertilidade do solo	76

3.2. Salinidade do Solo.....	85
4. CONCLUSÃO	88
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

CAPÍTULO IV

ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DE SOLOS INVADIDOS POR *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex. Decne. NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DO CEARÁ

RESUMO	95
ABSTRACT	96
1. INTRODUÇÃO	97
2. MATERIAL E MÉTODOS	99
2.1. Localização Áreas de Estudo.....	99
2.2. Aspectos Climáticos, Relevo, Geologia e Vegetação e Solos Utilizados no Estudo	99
2.3. Caracterização Geral dos Ambientes Invadidos e Não Inavadidos por <i>C. madagascariensis</i>	100
2.3.1. Área I.....	100
2.3.2. Área II.....	100
2.3.3. Área III.....	101
2.3.4. Área IV	101
2.4. Escolha das Áreas e Divisão Espacial dos Ambientes Visando o Estudo Comparativo.	102
2.5. Amostragem e Coleta dos Materiais de Solo e Preparo das Amostras.....	102
2.6. Atributos Biológicos Analisados	103
2.6.1. Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA).....	103
2.6.2. Bactérias totais e fungos filamentosos cultiváveis (Bactot)	103
2.6.3. Carbono da biomassa microbiana (Cbiomas)	103
2.6.4. Quociente metabólico (qCO ₂).....	104
2.6.5. Quociente microbiano (Qmic)	104
2.6.6. Carbono Orgânico Total (COT).....	104
2.7. Análises Estatísticas	104
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	106
4. CONCLUSÃO	116
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117

CAPÍTULO V

ANÁLISE MULTIVARIADA DE ATRIBUTOS EDÁFICOS DE AMBIENTES INVADIDOS POR *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex. Decne. NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DO CEARÁ

RESUMO	124
ABSTRACT	125
1. INTRODUÇÃO	126
2. MATERIAL E MÉTODOS	128
2.1. Localização e Aspectos climáticos da região e Solos Utilizados no Estudo.....	128
2.2. Escolha das Áreas, Esquema Amostral e Divisão Espacial dos Ambientes.....	128
2.3. Amostragem Coleta e preparo das Amostras de Solo	129
2.3.1. Variáveis físicas	129
2.3.2. Variáveis Químicas.....	129
2.3.3. Variáveis Biológicas	130
2.4. Análises Estatísticas	130
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	131
4. CONCLUSÃO	140
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141

CAPÍTULO VI

CRESCIMENTO INICIAL DE *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. SOB CONDIÇÕES DE SODICIDADE DO SOLO

RESUMO	146
ABSTRACT	147
1. INTRODUÇÃO	148
2. MATERIAL E MÉTODOS	150
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	153
7. CONCLUSÃO	159
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	160
CONSIDERAÇÕES FINAIS	163

APRESENTAÇÃO

A invasão biológica é uma das principais causas de perda de biodiversidade e espécies de plantas invasoras promovem sérios impactos ecológicos em vários ecossistemas em todo o mundo. No Brasil, problemas causados por espécies de plantas invasoras têm sido relatados em todos os Biomas. Na região Nordeste, onde predomina o bioma Caatinga, além das ações antrópicas descomedidas sobre a vegetação autóctone, o processo de invasão biológica por plantas exóticas tem afetado severamente esta região. Nos últimos anos, a espécie vegetal africana *Cryptostegia madagascariensis* tem provocado prejuízos ambientais, sociais e econômicos no estado do Ceará. A invasora que apresenta hábito de crescimento trepador e alta produção de sementes viáveis facilmente transportadas pelo vento, tem se espalhado e substituído a vegetação nativa formando maciços populacionais que alteram a paisagem e influenciam nos processos que ocorrem no solo. Nesta perspectiva, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de investigar atributos edáficos de solos invadidos por *C. madagascariensis* Bojer ex. Decne. visando identificar atributos de solo que possam estar relacionados com o processo de invasão pela referida espécie. Para tal, áreas invadidas e não invadidas foram selecionadas e delas coletadas amostras de solo sob a vegetação nativa e sob a população invasora, a partir das quais se fez a caracterização física, química e biológica dos solos estudados. Posteriormente, através da estatística multivariada identificou-se quais atributos edáficos são mais relevantes para o estudo das áreas invadidas, e, após constatar a capacidade da invasora de habitar ambientes com excesso de sais, foi desenvolvido um experimento visando avaliar seu grau de agressividade nesses ambientes. Dessa forma, este trabalho foi estruturado em seis capítulos. O Capítulo I - Plantas invasoras e seus impactos sobre o solo - é uma revisão bibliográfica sobre o tema. Nos Capítulos II, III e IV tem-se a caracterização dos aspectos físicos, químicos e biológicos dos solos dos ambientes estudados. No Capítulo V - intitulado Análise multivariada de atributos edáficos de ambientes invadidos por *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex. Decne. no semiárido do estado do Ceará - objetivou-se identificar as variabilidades dos ambientes onde ocorrem a invasora utilizando as técnicas multivariadas. Por fim, o Capítulo VI - Crescimento inicial de *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex. Decne. sob condições de sodicidade do solo.

CAPÍTULO I

PLANTAS INVASORAS E SEUS IMPACTOS SOBRE O SOLO

1. INTRODUÇÃO

Espécies de plantas exóticas invasoras constituem uma ameaça à biodiversidade nativa em todo o mundo. Esses organismos, depois de introduzidos em um novo ambiente, estabelecem-se e passam a desenvolver populações autorregenerativas a ponto de ocupar o espaço de espécies nativas e proporcionar alterações nos processos ecológicos naturais, tendendo a se tornarem dominantes e causar impactos ambientais e socioeconômicos negativos (NOVACEK e CLELAND, 2001; LOPES, 2009; LEÃO et al., 2011).

A escassez de informações referentes a esses táxons e onde os mesmos estão se estabelecendo, limita o planejamento de conservação e sensibilização do público para o problema. Dessa forma, o primeiro passo crítico para sensibilizar e aumentar a eficiência da conservação da diversidade e mitigar o impacto da invasão é uma avaliação das espécies invasoras com base nas informações existentes (WITTENBERG e COCK, 2001; ZENNI e ZILLER, 2011).

O Brasil tem a maior diversidade vegetal do mundo, com dois *hotspots* de biodiversidade reconhecidos para as prioridades de conservação: Cerrado (Savana) e Mata Atlântica (MYERS et al., 2000). No entanto, pouco se sabe sobre as ameaças representadas por espécies exóticas invasoras à biodiversidade e recursos naturais dentro destes (ZENNI e ZILLER, 2011) e de outros ecossistemas. O que se sabe, é que essas ameaças estão relacionadas às alterações na composição florística e na estrutura fitossociológica de ecossistemas naturais, na produtividade de plantios comerciais, nas mudanças no ciclo hidrológico, na redução da microflora e microfauna de vertebrados e invertebrados, bem como no funcionamento do solo (ZILLER et al., 2004).

Neste contexto, plantas invasoras podem modificar processos e atributos edáficos, incluindo entradas, ciclo de nitrogênio e de outros elementos (EHRENFELD, 2004; HAUBENSAK et al., 2004; HAWKES et al., 2005), o pH (GARCÍA et al., 2012), a matéria orgânica e a agregação do solo (SAGGAR et al. 1999), a disponibilidade de nutrientes, funcionamento e composição microbiana, favorecendo ainda mais o processo de invasão de novos ambientes (CALLAWAY et al, 2001; RICHARDSON et al, 2000; MARLER et al, 1999).

Dentre as várias espécies de plantas invasoras relatadas no Brasil *Cryptostegia madagascariensis*, conhecida vulgarmente como boca-de-leão, viúva-alegre, margarida, mensageira, unha-do-diabo ou unha-de-moça (CÂMARA SETORIAL DA CARNAÚBA, 2009), ou ainda, Madagascar rubber vine, ornamental rubber vine, purple allamanda, purple

rubber vine, rubber vine (SUNSHINE COAST, 2012) tem gerado preocupações, principalmente na Região Nordeste. Este arbusto com hábito trepador originário da Ilha de Madagascar, África, vem provocando danos severos à vegetação nativa. Por ser uma liana volúvel, seu crescimento interrompe o fluxo de seiva da planta suporte, seu desenvolvimento sobre as copas das árvores impede a passagem de luz causando sombreamento excessivo, limitando ou até anulando o desenvolvimento da regeneração natural (KLACKENBERG, 2001; INSTITUTO HÓRUS, 2015).

As mudanças promovidas por *C. madagascariensis* verificadas acima do solo correspondem à alteração da paisagem, formação de microclima, com sombreamento quase que total do solo e formação de liteira constituída exclusivamente por materiais oriundos da espécie, que provavelmente afeta a quantidade e a qualidade da matéria orgânica do solo. Ademais, no interior do solo, processos químicos, físicos e biológicos talvez sejam ajustados beneficiando, assim, essa invasora. Dessa forma, é provável que solos ocupados por *C. madagascariensis* sofram modificações, promovidas pela própria planta, num fenômeno de auto-facilitação, resultando na difusão eficiente da espécie.

Nesta perspectiva, considerando a possibilidade de invasões biológicas causarem mudanças nos atributos edáficos o objetivo deste capítulo foi realizar uma análise deste fenômeno envolvendo a espécie *C. madagascariensis* e fatores edáficos considerados importantes nos ambientes invadidos.

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A REGIÃO DE ESTUDO

As regiões áridas e semiáridas do planeta ocupam 32,45% da superfície continental, correspondendo a 48,35 milhões de km² distribuídos em todos os continentes, exceto na Antártida. Na América do Sul, encontram-se três exemplos de espaços semiáridos: Guajira, situada no norte da Colômbia e da Venezuela; a diagonal seca do Cone Sul, que se estende desde a Patagônia até o Piemonte dos Andes, envolvendo Argentina e Chile; e, por fim, o semiárido do Nordeste do Brasil (CAVALCANTE, 2011).

A Região Nordeste ocupa aproximadamente 18% da superfície do Brasil, sendo o bioma Caatinga o maior e mais importante ecossistema existente nesta região. Este bioma apresenta vegetação predominantemente arbustiva-arbórea, com acentuada queda foliar durante a estação seca e grandes variações fisiológicas interespecíficas e sazonais. Caracteriza-se, do ponto de vista geoambiental, pela diversidade de suas paisagens, a condição de semiaridez de caráter sazonal, que atinge grande parte do seu território e alta variabilidade pluviométrica espacial e temporal inerente a esse tipo climático (CARVALHO et al., 2011).

Apesar das várias tipologias da Caatinga, uma característica geral é o ajustamento das plantas à condição sazonal de déficit hídrico. A vegetação deste bioma apresenta-se adaptada aos extensos períodos de estiagem apresentando eficientes mecanismos para resistir, ou para completar seu ciclo de vida no menor espaço de tempo possível, frente às severas condições a que estão submetidas (ANDRADE et al., 2009; GARIGLIO et al., 2010).

A cobertura vegetal primária, praticamente em todos os estados nordestinos, apresenta expressiva redução, bem como uma sistemática exploração das formações secundárias. A pecuária extensiva, a agricultura itinerante e a exploração de lenha constituem as principais causas dessa devastação, que promovem a perda de biodiversidade. Em extensas áreas do semiárido, já são raríssimos os remanescentes de Caatinga em bom estado de conservação (ANDRADE et al., 2009).

Ademais, há na região semiárida, a predominância da pecuária extensiva, com consumo do pasto nativo efêmero na época das chuvas e, na seca, o rebanho sobrevive de folhas e frutos das espécies forrageiras arbustivas e arbóreas. O manejo rudimentar do gado, as áreas abandonadas de antigos campos de algodão, a extração de lenha para atender às demandas de olarias e cerâmicas, e a mineração, degradam a Caatinga em diferentes intensidades e algumas comunidades já percebem os impactos da degradação, com o desaparecimento de espécies da fauna e da flora (COSTA et al., 2009).

Dessa forma, a devastação da flora autóctone abre caminhos para a invasão por espécies exóticas, que podem desencadear grandes impactos sobre a biodiversidade, alterando a estrutura das comunidades e inibindo a regeneração das espécies nativas, pois, o processo de invasão de um ecossistema por uma espécie exótica se dá quando a espécie é introduzida, e que após adaptar-se, passa a se dispersar e a alterar os novos ecossistemas (ANDRADE et al., 2009).

3. A INVASÃO BIOLÓGICA

A contaminação biológica é considerada como um dos mais sérios problemas ambientais na atualidade, afetando praticamente todos os biomas, tornando-se assim, uma das principais causas de extinção das espécies no planeta (LOCKWOOD et al., 2008). Espécies exóticas são aquelas que ocorrem em uma área fora de seu limite natural, historicamente conhecido, como resultado de dispersão acidental ou intencional, por ação humana.

Quando espécies exóticas são introduzidas em um novo ambiente, não necessariamente se tornarão invasoras (FALLEIROS et al., 2011), geralmente, algum acontecimento ou fenômeno estimula o aumento da sua distribuição. Dessa forma, o estímulo pode ser uma perturbação natural, como a adaptação de um agente que disperse as sementes ou de um polinizador; a ocorrência de uma tempestade ou mudanças climáticas; ou uma perturbação causada pelas atividades humanas, como alterações do uso do solo, a ocorrência de um incêndio ou, inclusivamente, o controle de outra espécie invasora, desencadeando o processo de invasão biológica (MARCHANTE, 2001; RADOSEVICH et al., 2003).

O processo de invasão pode ser dividido em fases. Primeiro, ocorre a introdução, na qual a espécie ultrapassa as barreiras geográficas e a partir daí, pode extinguir-se, sobreviver temporariamente como planta casual, ou persistir, vencendo barreiras ambientais e reprodutivas, tornando-se naturalizada. Em seguida, as populações das espécies exóticas naturalizadas tornam-se invasoras em comunidades sujeitas a perturbações frequentes, ou em comunidades ecologicamente estáveis, com baixa perturbação, modificando características na nova comunidade, geralmente associada à exclusão de espécies nativas, tanto por competição como por predação, atingindo a fase de invasão e produzindo efeitos negativos no âmbito social, econômico e ambiental (RICHARDSON et al. 2000, GISP, 2005; LOPES, 2009).

4. ESPÉCIES DE PLANTAS INVASORAS E AS MODIFICAÇÕES NO SOLO

Espécies exóticas podem causar impactos sobre os ecossistemas que invadem (VITOUSEK, 2004), devido a modificações de muitos fatores dentro dos ecossistemas, incluindo as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (GARCÍA et al., 2012). Assim sendo, estas plantas exóticas podem alterar o ciclo de nitrogênio (McNEIL e UNKOVICH, 2007; YELENIK et al., 2004), o ciclo do carbono (LIAO et al., 2008), a hidrologia (VAN WILGEN et al., 2011). Estas alterações preocupam, pois ao modificar as funções do ecossistema, favorecem a proliferação da própria espécie invasora (CALLAWAY et al., 2001), ou ainda, podem facilitar a invasão por outras espécies de plantas invasoras.

Áreas altamente ocupadas por plantas exóticas invasoras como árvores e arbustos apresentam elevada perda d'água por evapotranspiração, ocasionando diminuição da quantidade de água necessária à recarga de aquíferos (GÖRGENS e VAN WILGEN, 2004). Isto devido a altura das plantas e maior profundidade do sistema radicular em comparação com as espécies nativas que elas substituem (CALDER e DYE, 2001). Outro aspecto é o aumento da biomassa, que intensifica incêndios causando danos à vegetação e ao solo, podendo dessa forma, levá-lo à erosão excessiva, além disso, afetam as pastagens, tanto para o gado como para outros animais selvagens (RICHARDSON e VAN WILGEN, 2004; BROOKS et al., 2004).

As mudanças são mais notórias quando as espécies são plantas lenhosas e com capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico (LIAO et al., 2008). No centro-sul do Chile, Quiroz et al. (2009) relata duas espécies invasivas capazes de fixar nitrogênio: *Acacia dealbata* Link e *Teline monspessulana* (L.) K.Koch (ambas Fabaceae). Segundo os autores, a invasão dessas espécies também tem provocado mudanças consideráveis no ecossistema. Os autores relatam que a rápida expansão destas espécies no centro-sul do Chile trará impactos para o balanço de nitrogênio, além de poder alterar outras propriedades químicas do solo, o que poderia afetar o desempenho de espécies vizinhas, ou até mesmo promover a invasão de toda a paisagem.

5. A ESPÉCIE EXÓTICA *Cryptostegia madagascariensis*

A espécie vegetal *Cryptostegia madagascariensis* é um arbusto com hábito de crescimento trepador, originário da ilha de Madagascar, África. O gênero *Cryptostegia*, pertence à família Apocynaceae Juss., subfamília Periplocoideae e é composto por duas espécies: *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Dence. e *Cryptostegia grandiflora* R. Br. (MAROHASY e FORSTER, 1991; ENDRESS e BRUYNS, 2000). No seu habitat natural ambos os táxons ocorrem em matas de galeria sazonalmente inundadas demonstrando dominância em trechos perturbados (MAROHASY e FORSTER, 1991).

A planta encontra-se distribuída ao longo de toda a parte ocidental de Madagascar, principalmente em domínio fitogeográfico ocidental, mas também é encontrada na região de Toliara no domínio do sudoeste asiático. Preferências de habitat são semelhantes aos de *C. grandiflora*. A espécie pode ser encontrada a partir do nível do mar até a 700 m de altitude, geralmente em pleno sol, crescendo em floresta seca, savana, tsingy, em solos lateríticos e arenosos, e frequentemente em leitos de rios (KLACKENBERG, 2001; STARR et al., 2003).

A espécie *C. madagascariensis* alcança alturas variando de dois a três metros. Apresenta capacidade de desenvolver ramos trepadores que permitem que a planta ganhe vantagem competitiva por luz. Segundo Vieira et al. (2004), o pico da floração da espécie ocorre em novembro e dezembro na Zona da Mata de Minas Gerais, os frutos podem ser observados ao longo de todo o ano e as sementes, dotadas de plumas que facilitam a dispersão anemocórica, possuem elevado percentual germinativo em luz ambiente. De acordo com Cruz (2014), os frutos da espécie pesam em média 6,4 g, apresentam dimensões médias de comprimento, largura e espessura de 74,1; 15,8 e 14,5 mm, respectivamente, e aproximadamente 98 sementes por fruto (Figura 1).

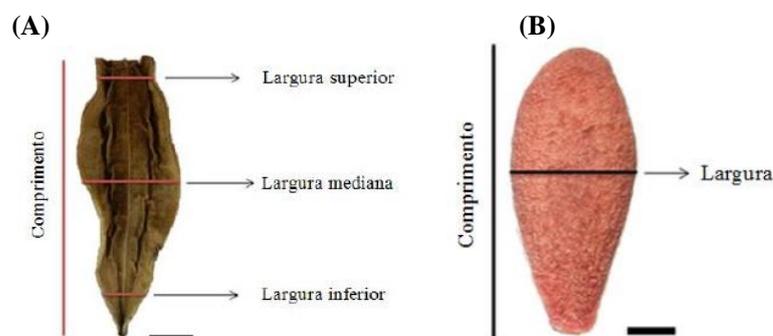


Figura 1. Detalhes do fruto (A) e semente (B) de *C. madagascariensis*. Fonte: Cruz (2014)

A espécie *C. madagascariensis* ocorre em diferentes países, a exemplo da Austrália, estados Unidos, Índia e Porto Rico (INVASIVE SPECIES SPECIALIST GROUP, 2010). No Brasil, a espécie foi, possivelmente, introduzida com fins ornamentais por possuir flores bastante vistosas (ANSELMO et al., 2010). No Nordeste brasileiro, há registros da espécie nos estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará (ANDRADE, 2013), neste último, tem provocado sérios danos à diversidade da flora local (SILVA SOBRINHO e CAVALCANTE, 2009).

Na região Nordeste do Brasil, a espécie forma maciços populacionais em diversos nichos da caatinga e ecossistemas associados, sobretudo nos sítios mais úmidos, podendo causar a supressão da vegetação autóctone atingida (SOUSA, 2014). A planta mantém-se verde, com flores e frutos quase todo o ano (Figura 2), exceto em áreas onde os solos ficam extremamente secos, quando se observa perda total das folhas. Porém, quando isto acontece as plantas nativas já se encontram sem folhas há bastante tempo.



Figura 2. Partes reprodutivas da invasora *C. madagascariensis*.

Entre os sítios preferenciais estão as baixadas úmidas e áreas depressionárias com características alagáveis, onde ocorrem as populações nativas de *Copernicia prunifera* (Mill.) H. E. Moore, (carnaúba) que estão sendo severamente ameaçadas e muitas em processo de eliminação por *C. madagascariensis* (CRUZ, 2014).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, L. A.; FABRICANTE, J. R.; OLIVEIRA, F. X. Invasão biológica por *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.: impactos sobre a diversidade e a estrutura do componente arbustivo-arbóreo da Caatinga no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, v. 23, n. 4, p. 935-943, 2009.

ANDRADE, L. A. **Plantas invasoras**: espécies vegetais exóticas invasoras da caatinga e ecossistemas associados. Areia: CCA/UFPB, 2013. 100p.

ANSELMO, G. C.; CARNEIRO, L. A.; NASCIMENTO, C. A.; BRITO, C. B. M.; COELHO, I. M. A.; BONILLA, O. H. Estudo de fitoinvasores cearenses. In: 62ª reunião anual da SBPC, 2010, Natal. **Anais...** Natal, 2010.

BROOKS, M. L.; D'ANTONIO, C. M.; RICHARDSON, D. M.; GRACE, J. B.; KEELEY, J. E.; DITOMASO, J. M.; HOBBS, R. J.; PELLANT, M.; PYKE, D. Effects of invasive alien plants on fire regimes. **BioScience**, v. 54, n. 7, p. 677 - 688, 2004.

CALDER, I.; DYE, P. Hydrological impacts of invasive alien plants. **Land Use Water Resource Research**, v. 1, n. 7, p. 1 - 8, 2001.

CALLAWAY, R. M.; NEWINGHAM, B.; ZABINSKI, C. A.; MAHALL, B. E. Compensatory growth and competitive ability of an invasive weed are enhanced by soil fungi and native neighbors. **Ecology Letters**, v. 4, p. 1 - 5, 2001.

CÂMARA SETORIAL DA CARNAÚBA. **A Carnaúba**: preservação e sustentabilidade. Fortaleza, 2009. 40 p.

CARVALHO, S. M. I.; SILVA, E. A. D.; BECERRA, J. A. B. Variabilidade sazonal do clima e da vegetação na Caatinga brasileira. In: Seminário de Geotecnologias, 3, e Geonordeste, 5, 2011, Feira de Santana. **Resumo...**: Feira de Santana, 2011. p. 196-199.

CAVALCANTE, A. **O Semiárido, além dos mitos: do homogêneo ao heterogêneo, das adversidades às potencialidades, velhas ideias já não explicam essa região brasileira**. [2011]. Especial Scientific American Terra 3.0. Disponível em: <<http://www.insa.gov.br/~webdir/semiarido.pdf>>. Acesso em: 16 de jun. de 2015.

COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B. Análise da degradação da Caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 961-974, 2009.

CRUZ, F.R. S. **Invasão biológica por *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. no estado do Ceará: biometria, ecofisiologia de sementes e métodos de controle.** Areia, 2014. 126f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba.

EHRENFELD, J. G. Implications of invasive species for belowground community and nutrient. **Weed Technology**, n. 18, p. 1232 - 1235, 2004.

ENDRESS, M. E.; BRUYNS, P. V. A revised classification of Apocynaceae. **The Botanical Review**, v. 66, n. 1, p. 1-56, 2000.

FALLEIROS, R. M.; ZENNI, R. D.; ZILLER, S. R. Invasão e manejo de *Pinus taeda* em campos de altitude do parque estadual do pico Paraná, Paraná, Brasil. **Revista Floresta**, v.41, n.1, p.123-134, 2011.

GARCÍA, R. A.; FUENTES-RAMÍREZ, A.; PAUCHARD, A. Effects of two nitrogen-fixing invasive plants species on soil chemical properties in south-central Chile. **Gayana Botánica**, v. 69, n. 1, p. 189 - 192, 2012.

GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga.** Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 368 p.

GISP – Global Invasive Species Program. 2005. **A América do Sul invadida.** Disponível em: <http://www.gisp.org/publications/invaded/index.asp>. Acesso em: 28 out. 2015.

GÖRGENS, A. H. M.; VAN WILGEN, B. W. Invasive alien plants and water resources: an assessment of current understanding, predictive ability and research challenges. **South African Journal of Science**, v. 100, n. 1-2, p. 27 - 34, 2004.

HAUBENSAK, K. A.; D'ANTONIO, C. M.; ALEXANDER, J. Effects of nitrogen-fixing shrubs in Washington and coastal California. **Weed Technology**, v. 18, p. 1475 - 1479, 2004.

HAWKES, C. V.; WREN, I. F.; HERMAN, D. J.; FIRESTONE, M. K. Plant invasion alters nitrogen cycling by modifying the soil nitrifying community. **Ecology Letters**, v. 8, p. 976 - 985, 2005.

INSTITUTO HÓRUS. **Banco de dados sobre espécies invasoras no Brasil.** Disponível em: <<http://www.institutohorus.org.br>>. Acesso em: 28 de mar. de 2015.

INVASIVE SPECIES SPECIALIST GROUP (ISSG) of the IUCN Species Survival Commission. 2010, Disponível em: <<http://www.issg.org/database/species/distribution.asp?si=1628&fr=1&sts=sss&lang=EN>>. Acesso em: 28 de out. 2015.

KLACKENBERG, J. Revision of the genus *Cryptostegia* R. Br. (Apocynaceae, Periplocoideae). **Adansonia**, v. 23, n. 2, p. 205 - 218, 2001.

LEÃO, T. C. C.; ALMEIDA, W. R.; DECHOUM, M.; ZILLER, S. R. **Espécies Exóticas Invasoras no Nordeste do Brasil: Contextualização, Manejo e Políticas Públicas**. Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste e Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental. Recife, PE. 99 p. 2011.

LIAO, C. Z.; PENG, R. H.; LUO, Y. Q.; ZHOU, X. H.; WU, X. W.; FANG, C. M.; CHEN, J. K.; LI, B. Altered ecosystem carbon and nitrogen cycles by plant invasion: a meta-analysis. **New Phytologist**, v. 177, p. 706 - 714, 2008.

LOCKWOOD, J.L.; HOOPES, M.F.; MARCHETTI, M.P. **Invasion Ecology**. Blackwell Publishing. Oxford, UK, 2008, 313p.

LOPES, R. M. **Informe sobre as espécies exóticas invasoras marinhas no Brasil**. Ministério do Meio Ambiente; Rubens M. Lopes/IO-USP. Brasília: MMA/SBF (Série Biodiversidade, 33), 2009, 440 p.

MARCHANTE, H. **Invasão dos ecossistemas dunares portugueses por *Acacia*: uma ameaça para a biodiversidade nativa**. 2001, 147 f. Dissertação, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal. 2001.

MARLER, M. M.; ZABINSKI, C. A.; CALLAWAY, R. M. Mycorrhizae indirectly enhance competitive effects of an invasive forb on a native bunchgrass. **Ecology**, n. 80, p. 1180 - 1186, 1999.

MAROHASY, J.; FORSTER, P.I. A taxonomic revision of *Cryptostegia* R. Br. (Asclepiadaceae: Periplocoideae). **Australian Systematic Botany**, Collingwood, v.4, n.3, p.571-577, 1991.

McNEIL, A. M.; UNKOVICH, M. J. The nitrogen cycle in terrestrial ecosystems. In: Marschner, P.; Rengel, Z. (eds.). **Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems**. Amsterdam: Soil Biology, 2007. p. 37-64.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NOVACEK, M. J.; CLELAND, E. E. The current biodiversity extinction event: scenarios for mitigation and recovery. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 98, p. 5466-5470, 2001.

QUIROZ, C. L.; PAUCHARD, A.; MARTICORENA, A.; CAVIERES, L. A. **Manual de plantas invasoras del centro-sur de Chile**. Laboratorio de Invasiones Biológicas. Concepción, Chile, 2009. 45 p.

RADOSEVICH, S. R.; STUBBS, M. M., GHERSA, C. M.. Plant invasions – process and patterns. Lawrence, U.S.A. **Weed Science**, v.51, p.254-259, 2003.

RICHARDSON D. M.; VAN WILGEN, B. W. Invasive alien plants in South Africa: how well do we understand the ecological impacts?. **South African Journal of Science**, v. 100, n. 1, p. 45 - 52, 2004.

RICHARDSON, D. M.; ALLSOPP, N.; D'ANTONIO, C. M.; MILTON, S. J.; REJMANEK, M. Plant invasions - the role of mutualisms. **Biological Reviews**, n. 75, p. 65 - 93, 2000.

SAGGAR, S.; MCINTOSH, P.; HEDLEY, C.; KNICKER, H. Changes in soil microbial biomass, metabolic quotient and organic matter turnover under *Hieracium pilosella* L. **Biology and Fertility of Soils**, v. 30, p. 232 - 238, 1999.

SILVA SOBRINHO, M.; CAVALCANTE, A. M. B. Impactos ambientais e descrição morfológica comparada de duas espécies fitoinvasoras (*Cryptostegia grandiflora* e *C. madagascariensis*) no estado do Ceará. In: Congresso de Ecologia do Brasil, IX, 2009, São Lourenço. **Resumo ...** São Lourenço: CEB, 2009, p. 1 - 3.

SOUSA, F. Q. de. **Estrutura Fitossociológica de Remanescentes de Caatinga e Avaliação do Banco de Sementes do Solo em Áreas Invasidas por *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. no estado do Ceará**. Areia, 2014. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba.

STARR, F. STARR, K.; LOOPE, L. *Cryptostegia spp.*: Rubber vine, Asclepiadaceae. **United States Geological Survey - Biological Resources Division Haleakala Field Station**, Maui, Hawai'i, 2003.

SUNSHINE COAST. Local Government Area Pest Management Plan 2012-2016. [2012] Disponível em: <http://cms.sunshinecoast.qld.gov.au/addfiles/documents/environment/pmp_strat_prog_pest_species.pdf>. Acesso em: 28 de mar. de 2015.

VAN WILGEN, B. W.; KHAN, A.; MARAIS, C. Changing perspectives on managing biological invasions: insights from South Africa and the Working for Water programme. In: Richardson, D. M. (ed.). **Fifty Years of Invasion Ecology: The Legacy of Charles Elton**. Oxford: Wiley-Blackwell Publishers, 2011. p. 377-393.

VIEIRA, M. F.; LEITE, M. S. O.; GROSSI, J. A. S.; ALVARENGA, E. M. Biologia reprodutiva de *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. (periplocoideae, apocynaceae), espécie ornamental e exótica no Brasil. **Bragantia**, v.63, n.3, p. 325 - 334, 2004.

VITOUSEK, P. M. **Nutrient cycling and limitation: Hawaii as a model system**. Princeton; University Press, 2004, 6 p.

WITTENBERG, R.; COCK, M. J. W. (eds.). **Invasive Alien Species: A toolkit of Best Prevention and Management Practices**. CAB International, Wallingford, 2001, 227 p.

YELENIK S. G.; STOCK, W. D.; RICHARDSON, D. M. Ecosystem level impacts of invasive *Acacia salignain* the South African Fynbos. **Restoration Ecology**, v. 12, n 1, p. 44 - 51, 2004.

ZENNI, R. D.; ZILLER, S. R. An overview of invasive plants in Brazil. **Revista Brasileira de Botânica.**, v.34, n.3, p.431-446, 2011.

ZILLER, S. R.; ZENNI, R. D.; GRAF NETO, J. Invasões biológicas: introdução, impactos e espécies exóticas invasoras no Brasil. In: **Princípios e rudimentos do controle biológico de plantas** - Coletânea. Curitiba. Laboratório Neotropical de controle biológico de plantas. UFPR. 2004, p. 17-41.

CAPÍTULO II

ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS INVADIDOS POR *Cryptostegia madagascariensis*

Bojer ex. Decne. NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DO CEARÁ

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS INVADIDOS POR *Cryptostegia madagascariensis*
Bojer ex. Decne. NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DO CEARÁ**

RESUMO

A invasão biológica constitui uma das principais causas da degradação dos ecossistemas em todo o mundo. Na região Nordeste, os impactos negativos causados pela espécie africana *Cryptostegia madagascariensis* tem gerado preocupação, especialmente no estado do Ceará, onde é encontrada habitando diferentes classes de solo. Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido com objetivo e caracterizar quanto aos atributos físicos solos invadidos por *C. madagascariensis* no estado do Ceará, visando identificar relação com a presença da invasora. Amostras de solos foram coletadas em quatro classes de solo: Planossolo Háptico, Neossolo Regolítico, Vertissolo Hidromórfico e Neossolo Flúvico, sendo cada classe constituída por dois ambientes, um invadido por *C. madagascariensis*, denominado ambiente invadido e outro ocupado pela vegetação nativa, denominado ambiente não invadido. Em cada ambiente foram obtidas amostras compostas de solo em quatro profundidades (0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm), nas quais se analisou os atributos físicos areia total, silte, argila, umidade gravimétrica, argila natural, grau de flocculação, porosidade total, densidade do solo e resistência do solo a penetração. Os dados foram submetidos à análise de variância em parcela subdividida. As classes de solo foram estudadas na parcela, os ambientes (invadido e não invadido) na subparcela e, na subdividida foram estudadas as profundidades. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Observou-se que *C. madagascariensis* ocorre em solos com maiores teores de argila, as áreas invadidas expressam maior umidade, maior porosidade, menor densidade do solo e são mais resistentes à penetração do que os solos dos ambientes não invadidos, 4,5 contra 3,1 Mpa. Os solos estudadas apresentaram ampla variação textural, sendo a variabilidade deste e de outros atributos físicos relacionada com a pedogênese de cada classe de solo. A umidade do solo talvez seja o principal atributo físico que permitiu o estabelecimento da espécie e, por fim, as condições físicas encontradas permitem que as populações de *Cryptostegia madagascariensis* completem seu ciclo de vida e avancem no processo invasivo dispersando-se para novos ambientes.

Palavras-chave: invasão biológica, qualidade do solo, plantas invasoras, biodiversidade.

**SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES INVADED BY *Cryptostegia madagascariensis* Bojer
ex. Decne. IN THE SEMIARID OF THE CEARÁ STATE**

ABSTRACT

Biological invasion is one of the major causes of ecosystem degradation around the world. In the Northeast, the negative impacts caused by the African species *Cryptostegia madagascariensis* have generated concern, especially in the state of Ceará, where it is found inhabiting different soil classes. In this sense, this work was developed to characterize the physical attributes of soils invaded by *C. madagascariensis* in the state of Ceará, aiming to identify specific physical conditions related to the presence of the invader. Soil samples were collected in four soil classes: Planossolo Háplico, Neossolo Regolítico, Vertissolo Hidromórfico e Neossolo Flúvico, each class consisting of two environments, one invaded by *C. madagascariensis*, called the invaded environment and the other one occupied by the native vegetation, called the environment not invaded. In each environment, soil samples were obtained at four depths (0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm), in which were determined the physical attributes: total sand, silt, clay, gravimetric moisture, natural clay, degree of flocculation, total porosity, soil density and soil penetration resistance. Data were submitted to analysis of variance in a sub-divided plot. The soil classes were studied in the plot, the environments (invaded and not invaded) in the subplot and, in the subsub-plot the depths were studied. The means were compared by the Tukey test at 5% probability. It was observed that *C. madagascariensis* occurs in soils with higher clay contents, the areas invaded express higher humidity, higher porosity, lower soil density and are more resistant to penetration than the soils of not invaded environments, 4.5 against 3.1 Mpa. The studied soils presented a wide textural variation, being the variability of this and other physical attributes related to the pedogenesis of each class of soil. Soil moisture may be the main physical attribute that allowed the establishment of the species and, finally, the physical conditions found allow the populations of *Cryptostegia madagascariensis* to complete their life cycle and advance in the invasive process by dispersing to new environments.

Keywords: biological invasion, soil quality, invasive plants, biodiversity.

1. INTRODUÇÃO

Espécies exóticas invasoras são organismos que, uma vez introduzidos em um novo ambiente a partir de outras regiões, estabelecem-se e passam a desenvolver populações autorregenerativas a ponto de ocupar o espaço de espécies nativas e proporcionar alterações nos processos ecológicos naturais, tendendo a se tornarem dominantes e podendo causar impactos ambientais e socioeconômicos negativos (LOPES, 2009; LEÃO et al., 2011).

Espécies de plantas exóticas invasoras constituem uma ameaça à biodiversidade nativa em todo o mundo. Dentre as várias espécies de plantas invasoras relatadas no Brasil, *C. madagascariensis*, conhecida vulgarmente como boca-de-leão, viúva-alegre, margarida, mensageira, unha-do-diabo ou unha-de-moça (CÂMARA SETORIAL DA CARNAÚBA, 2009), tem gerado preocupações, principalmente na região Nordeste. Este arbusto com hábito trepador originário da Ilha de Madagascar vem provocando danos severos à vegetação nativa, pois se desenvolve sobre as copas das árvores impedindo a passagem de luz e matando-as por sombreamento excessivo, limitando ou até anulando o desenvolvimento da regeneração natural (KLACKENBERG, 2001; INSTITUTO HÓRUS, 2015).

Os impactos das invasoras são extremamente danosos para o meio ambiente. De acordo com Ziller et al. (2004), as espécies exóticas provocam alterações na composição florística e na estrutura fitossociológica de ecossistemas naturais, na produtividade de plantios comerciais, nas mudanças no ciclo hidrológico, na redução da microflora e microfauna de vertebrados e invertebrados, bem como nas propriedades físicas e químicas do solo.

Por serem oportunistas, estes organismos podem valer-se de determinadas condições do ambiente para se estabelecerem ou ainda modificar o meio em benefício próprio. Nesse contexto, processos e atributos edáficos, ciclo de nitrogênio e de outros elementos (EHRENFELD, 2004; HAUBENSAK et al., 2004.; HAWKES et al., 2005), o pH (GARCÍA et al., 2012), a matéria orgânica e a agregação do solo (SAGGAR et al., 1999), a disponibilidade de nutrientes, funcionamento e composição microbiana, podem favorecer o processo de invasão de novos ambientes (CALLAWAY et al, 2001; RICHARDSON et al, 2000; MARLER et al., 1999).

As mudanças verificadas acima do solo promovidas pela referida invasora correspondem à alteração da paisagem, formação de microclima com sombreamento quase que total do solo e formação de liteira constituída exclusivamente por materiais oriundos da espécie, já que ela dificulta a regeneração natural da vegetação. Como a diversidade vegetal

afeta a quantidade e a qualidade da matéria orgânica do solo, aquela depositada pela invasora pode influenciar processos que resultem numa alteração do aspecto físico do solo.

Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido com objetivo de caracterizar quanto aos atributos físicos, solos invadidos por *C. madagascariensis* no estado do Ceará, visando identificar relação com a presença da invasora.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização das Áreas de Estudo

2.1.1. Localização

As quatro áreas utilizadas para o estudo estão localizadas no estado do Ceará e pertencem aos municípios de Quixadá e Ibaretama (Figura 1), os quais estão inseridos na macrorregião do Sertão Central, mesorregião dos Sertões Cearenses, microrregião de Quixeramobim (IPECE, 2014a; 2014b).

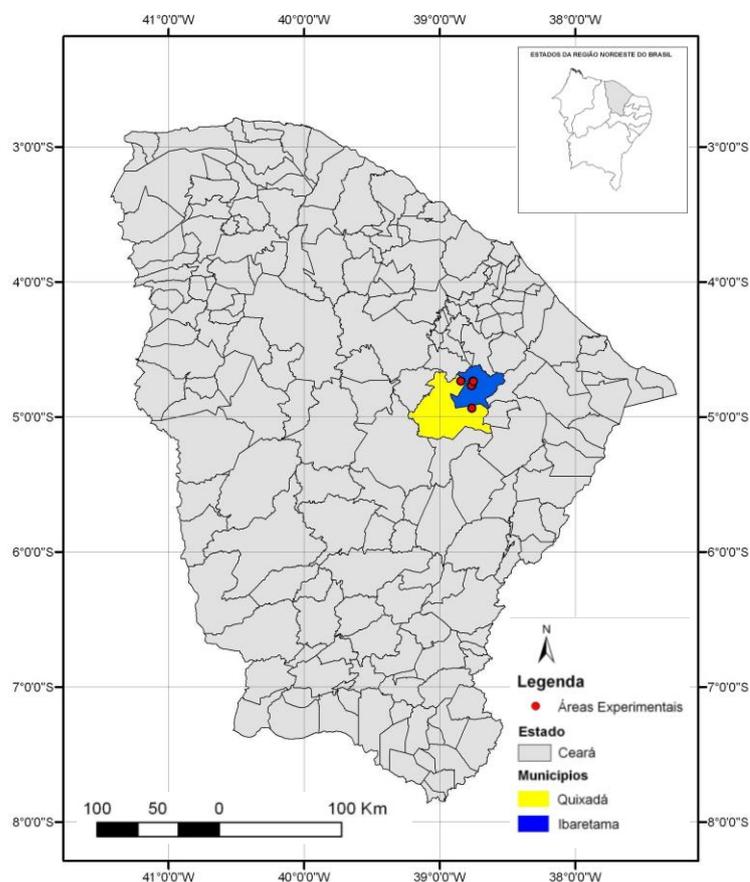


Figura 1. Localização das áreas de estudo nos municípios de Quixadá e Ibaretama no semiárido do estado do Ceará.

Na área I predomina os Planossolos e está localizada a 29 km da sede da Cidade de Quixadá, seguindo pela rodovia CE – 265, ao lado direito, no sentido Quixadá-Ibicuitinga. Já na área II predomina os Neossolos Regolíticos, dista da sede 36,6 km, sendo encontrada a direita da rodovia 122 no sentido Quixadá-Triunfo. Nas áreas III e IV há um predomínio de Vertissolo e Neossolo Flúvico, as quais estão localizadas no município de Ibaretama e distam

8,4 e 14,2 km da sede do município, respectivamente. As coordenadas geográficas de cada área estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Coordenadas geográficas em UTM das áreas utilizadas no estudo.

ÁREAS	CLASSES DE SOLOS	Localização (UTM)	
		X	Y
I	Planossolo Háplico	526154,0	9454383,0
II	Neossolo Regolítico	526044,0	9472777,0
III	Vertissolo Hodromórfico	522274,5	9476590,0
IV	Neossolo Flúvico	527408,0	9476334,0

2.1.2. Aspectos Climáticos

O clima da região é caracterizado como tropical quente semiárido, com temperatura média entre 26 e 28 °C, tendo como período chuvoso os meses de janeiro a abril (IPECE, 2014a), podendo ser classificado segundo Köppen como BShw'. A altitude média é de 185 m, e de acordo com Carvalho et al. (2012), na região os ventos superficiais variam, nas alturas de 10 e 100 m, de 2,74 a 10,76 m.s⁻¹ respectivamente, com precipitação de 706 mm.ano⁻¹ e evapotranspiração em torno de 815 mm.ano⁻¹, segundo Paula (2011).

2.1.3. Relevo, Geologia e Vegetação

A região encontra-se sob o domínio do embasamento cristalino, que abrange toda a depressão sertaneja, apresenta relevo plano e suave ondulado. Geologicamente estas áreas são referidas na sua quase totalidade ao Pré-Cambriano Indiviso. São áreas resultantes de um sistema erosivo intenso, modelando grandes extensões sob condições de clima semiárido. Trata-se de um processo em que predomina o intemperismo físico, que atua desagregando as rochas mais superficiais durante o prolongado período seco, sendo estas massas desagregadas, posteriormente carregadas por enxurradas breves, de alto poder transportador. O intemperismo químico é um fator importante, principalmente no curto período chuvoso (BRASIL, 1973). A vegetação predominante é composta por Caatinga Arbustiva Densa e Floresta Caducifolia Espinhosa (IPECE, 2014a; 2014b).

2.2. Histórico das Áreas Estudadas

2.2.1. Área I

- **Ambiente invadido** – Caracterizado por apresentar populações de *C. madagascariensis* intercaladas por espaços ocupados por gramínea. O solo apresentava afloramento de sais e não foi relatado uso agrícola. Na estação chuvosa, o ambiente sofre alagamento. Moradores locais relatam que a espécie foi notada a partir de meados da década de 1980 (Figura 2A).
- **Ambiente não invadido (vegetação nativa)** – Este ambiente, sem a de *C. madagascariensis*, é constituído por gramíneas, arbustos e árvores nativas, com altura que variam de 3,0 a 8,0 m. Não foi relatado uso agrícola, embora, seja praticado o extrativismo de madeira (Figura 2B).

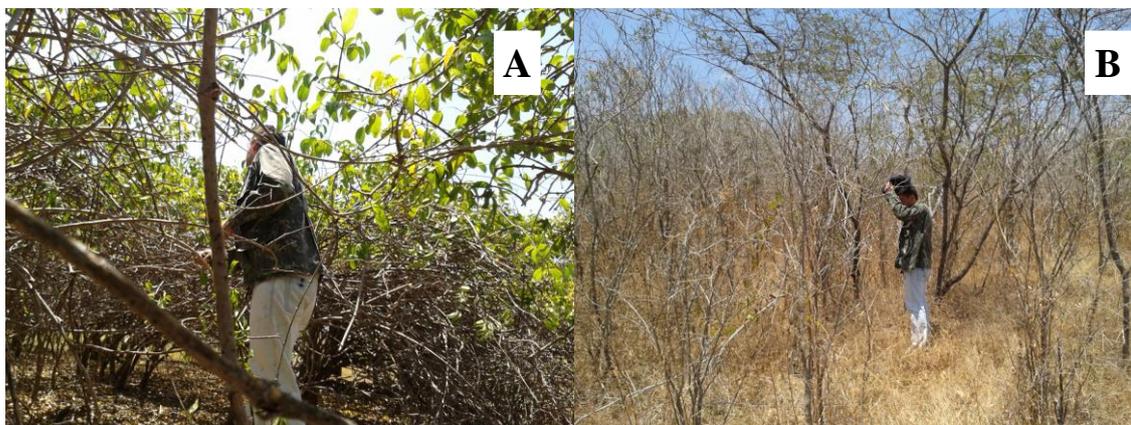


Figura 2. Área I, classe Planossolo Háplico Sálco solódico, ambiente invadido por *C. madagascariensis* (A) e ocupado por vegetação nativa (B).

2.2.2. Área II

- **Ambiente invadido** – Este ambiente apresentava um maciço populacional de *C. madagascariensis* de 1,5 ha. O solo apresentava-se coberto por uma camada média de serrapilheira de 3,0 cm, a qual era composta exclusivamente por fitomassa de *C. madagascariensis*. A área foi utilizada para fins agrícolas (milho e feijão) sem o uso de adubação. A ausência de árvores mortas, galhos e tocos evidencia que esta Apocinaceae ou habita o local há bastante tempo ou

determinada perturbação da área, como a retirada da vegetação nativa, possa ter favorecido seu estabelecimento no ambiente (Figura 3A).

- **Ambiente não invadido** – Neste ambiente, a vegetação nativa exibia bem o caráter decíduo, prevalecia à presença de árvores e arbustos com formação de serapilheira. As plantas apresentavam espaçamento médio de 1,5 a 3,0 m com altura máxima em torno de 10 m. Não foi relatado uso agrícola, embora, seja praticado o extrativismo vegetal (Figura 3B).



Figura 3. Área II, classe Neossolo Regolítico Eutrófico fragipânico, ambiente invadido por *C. madagascariensis* (A) e ocupado por vegetação nativa (B).

2.2.3. Área III

- **Ambiente invadido** – Este ambiente sofreu corte raso há quatro anos, a partir do qual se constatou o estabelecimento de *C. madagascariensis*. Nota-se no local, poucas espécies arbustivo-arbóreas nativas, presença de indivíduos de carnaúba, *Copernicia prunifera* (Miler) H. E. Moore, bem como grupos de plantas da exótica formando pequenas populações e plantas isoladas da espécie *C. madagascariensis* intercaladas por solo sem cobertura. Sazonalmente a área é alagada e quando não, é utilizada para o pastejo extensivo de caprinos e bovinos (Figura 4A).
- **Ambiente não invadido** – A vegetação é semelhante aos demais ambientes não invadidos das outras áreas, porém, apresenta árvores de maior porte e forma uma serrapilheira rala (Figura 4B).

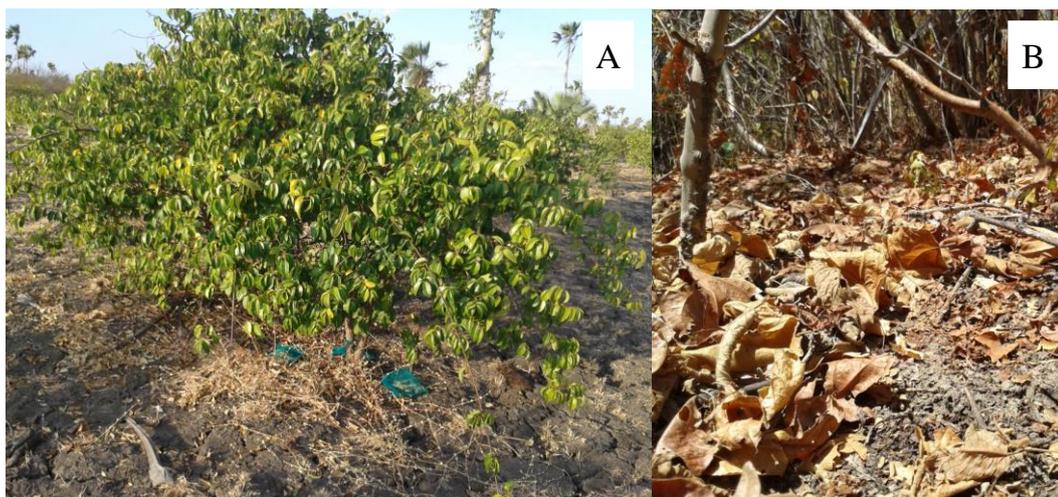


Figura 4. Área III, classe Vertissolo Hidromorfo Órtico chernossólico, ambiente invadido por *C. madagascariensis* (A) e ocupado por vegetação nativa (B).

2.2.4. Área IV

- **Ambiente invadido** – A invasora ocupava o ambiente ciliar de um rio que corta a propriedade, do qual a vegetação foi retirada ao longo dos anos, permitindo a entrada de *C. madagascariensis* (Figura 5A).
- **Ambiente não invadido** – Este ambiente sofre cortes esporádicos, ação da pecuária extensiva, encontra-se adjacente ao ambiente invadido (Figura 5B).

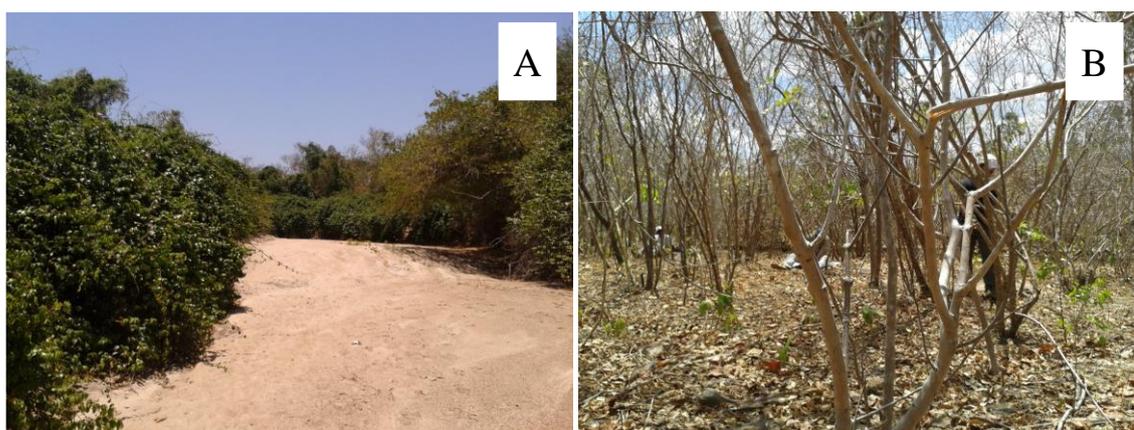


Figura 5. Área IV, classe Neossolo Flúvico ta eutrófico vertissólico A moderado, ambiente invadido por *C. madagascariensis* (A) e ocupado por vegetação nativa (B).

2.3. Escolha das Áreas e Divisão Espacial dos Ambientes Visando o Estudo Comparativo

A seleção das áreas foi feita a princípio pela classe de solo. Espacialmente, cada classe era composta por dois ambientes, um caracterizado pela presença da vegetação nativa com aspecto preservado e outra constituída unicamente pela espécie invasora *C. madagascariensis*, conforme ilustra a Figura 6. A partir destes, foram coletadas as amostras de solo.

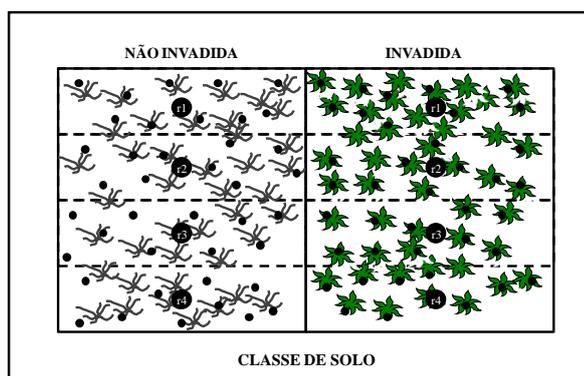


Figura 6. Layout esquemático das áreas selecionadas e do procedimento de amostragem do solo sob as coberturas vegetais de vegetação nativa e *C. madagascariensis*.  = planta nativa área não invadida;  = planta de *C. madagascariensis*; - - = Subdivisões da área; ● = Amostras simples; ① = representação da obtenção de uma amostra composta por dez amostras simples.

2.4. Amostragem, Coleta e preparo das Amostras de Solo

As amostras de solo foram coletadas nos ambientes invadidos e não invadidos, em quatro profundidades (0-5; 5-10, 10-20 e 20-30 cm), Figura 7, e em cada uma das quatro classes de solo selecionadas (Figura 8). Para o estudo foram utilizadas amostras compostas obtidas a partir de dez amostras simples.

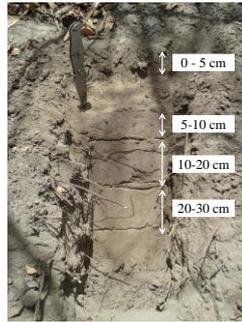


Figura 7. Profundidades de coleta das amostras de solo.



Figura 8. Solos das áreas I, II, III e IV.

As amostras foram coletadas sob a copa das plantas a uma distância de 20 cm do caule (Figura 9). Após a coleta, as amostras compostas foram acondicionadas em sacolas plásticas, devidamente identificadas, armazenadas para posteriores análises.



Figura 9. Coleta das amostras de solos dos ambientes invadidos sob a copa de *C. madagascariensis*.

2.5. Atributos Físicos Analisados

2.5.1. Umidade gravimétrica (%)

A umidade gravimétrica foi determinada no laboratório de Física do solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba. Para seu cálculo foi utilizada a seguinte equação (DONAGEMA et al., 2011):

$$G\% = \frac{\text{massa de água}}{\text{massa de solo seco}} \times 100$$

2.5.2. Análise granulométrica, argila dispersa em água e grau de floculação

A análise granulométrica foi realizada pelo método do densímetro, através do qual se determinou os teores de areia, silte, argila total e argila dispersa em água e o grau de floculação do solo foi obtido pela seguinte equação, conforme Donagema et al. (2011):

$$\text{Grau de floculação}(\%) = \frac{\text{argila total} - \text{argila natural}}{\text{argila total}} \times 100$$

2.5.3. Densidades do solo (Ds) e da partícula (Dp) e porosidade total do solo (Pt)

A densidade do solo foi obtida pelo método do torrão impermeabilizado e a densidade da partícula pelo método do balão volumétrico (DONAGEMA et al., 2011). A partir dos valores de densidade foi estimada a porosidade total pela expressão:

$$Pt(\%) = \left(1 - \frac{Ds}{Dp}\right) \times 100$$

2.5.4. Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração foi determinada em cada ponto de coleta utilizando-se o PLG5200 Medidor Automatizado de Compactação do solo, Solo track, composto por um sistema de acionamento eletromecânico e um módulo eletrônico de medição com Haste HR10

com Cone Tipo 2 e índice de cone máximo de 7,7 MPa. Os dados obtidos corresponderam às profundidades estudadas (0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm).

2.6. Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância em parcela subdividida conforme apresentado na Tabela 2. As classes de solos foram estudadas na parcela, as coberturas (área invadida e não invadida) na subparcela e, na subsubparcela foram estudadas as profundidades, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados foram analisados através do software estatístico SAS/STAT 9.2 (SAS Institute, 2008), utilizando o procedimento MIXED, com pseudorrepetições, considerando-as dentro de cada área e medidas repetidas no tempo para profundidade (BUCK e CLAIR, 2012).

Tabela 2. Esquema do quadro da análise de variância para os fatores: classes de solo, cobertura vegetal (nativa e *C. madagascariensis*) e profundidades.

FONTES DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE
Classes de solo (CS)	3
<i>Resíduo (a)</i>	12
Cobertura vegetal(Cob)	1
CS x Cob	3
<i>Resíduo (b)</i>	12
Profundidade (P)	3
P x CS	9
P x Cob	3
P x CS x Cob	9
<i>Resíduo (c)</i>	72
Total	127

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Frações Inorgânicas e Classificação Textural dos Solos

Cryptostegia madagascariensis habita solos de textura argilosa a areia franca, evidenciando a capacidade de se desenvolver em ampla variação textural, e dessa forma, adequa-se a diferentes condições edáficas resultantes dessa variação de textura, que está relacionada com a disponibilidade de água e nutrientes importantes para o crescimento e desenvolvimento da planta.

Observou-se que o maior e o maior teor de areia foram de 856 e 186 g.kg⁻¹, que correspondem à profundidade de 5-10 cm do Neossolo Flúvico vegetação nativa, e a profundidade de 0-5 cm do Vertissolo Hidromórfico ambiente invadido, respectivamente. O teor de silte foi maior na profundidade de 0-5 cm do Planossolo do ambiente invadido, 408 g.kg⁻¹, e menor na profundidade de 5-10 cm do Neossolo Flúvico vegetação nativa, 53 g.kg⁻¹. Para a argila, constatou-se o teor de 629 g.kg⁻¹ na profundidade de 20-30 do ambiente invadido da classe Vertissolo Hidromórfico (Tabela 3).

Tratando-se de solos de textura arenosa, estes apresentam alta condutividade hidráulica que permite a perda de água com maior facilidade, levando ao secamento rápido, principalmente em regiões semiáridas. Contrariamente, solos com altas teores de argila resultam em maior proporção de microporos que possibilitam a retenção de água, retardando seu movimento, fazendo com que a água permaneça no solo por mais tempo. (FERREIRA, 2010).

A areia é uma das frações texturais do solo com diâmetro de partícula entre 0,05 e 2,0 mm (FERREIRA, 2010), sua presença no solo está diretamente relacionada com o movimento e o armazenamento de água no solo, bem como, a capacidade de troca de cátions e a própria fertilidade do solo (MEURER, 2006). Possivelmente essas condições edáficas reflitam as mesmas do seu ambiente de origem, pois de acordo Klackenberg (2001), *Cryptostegia madagascariensis* é encontrada na ilha de Madagascar habitando solos lateríticos, arenosos e em leitos de rios.

A fração silte em função da sua relativa instabilidade constitui um indicador do grau de intemperismo do solo, sendo solos mais jovens aqueles que apresentam elevada proporção de silte (FERREIRA 2010). O efeito físico da fração silte, além da influência na porosidade do solo, está relacionado à formação de camadas inferiores de menor permeabilidade devido à deposição dessas partículas (MOTA et al, 2013).

Tabela 3. Teores de areia total, silte e argila e classificação textural em função da classe de solo, cobertura vegetal e profundidade do solo.

Profund. (cm)	fração inorgânica	Classe de solo/Cobertura vegetal do solo															
		Planossolo Háplico						Neossolo Regolítico									
		I			NI			I			NI						
		----- g.kg ⁻¹ -----															
0-5	areia total	505	B	b	b	770	A	a	a	270	B	b	c	676	A	a	a
	silte	408	A	a	a	160	A	b	ab	322	AB	a	b	192	A	b	ab
	argila	86	A	a	b	70	A	a	b	408	A	a	a	132	A	b	b
Classe textural		franca			franco-arenoso			argila			franco-arenosa						
5-10	areia total	646	A	b	a	845	A	a	a	339	B	b	b	683	A	a	b
	silte	254	B	a	b	105	AB	b	b	364	A	a	a	181	A	b	a
	argila	100	A	a	c	50	A	a	b	297	B	a	b	136	A	b	b
Classe textural		franco-arenoso			areia franca			franco-argilosa			franco-arenosa						
10-20	areia total	672	A	b	a	832	A	a	a	540	A	b	b	665	A	a	b
	silte	236	B	a	a	110	AB	b	bc	251	BC	a	a	182	A	b	ab
	argila	91	A	a	b	58	A	a	b	209	BC	a	b	153	A	a	b
Classe textural		franco-arenoso			areia franca			franco-argilosa-arenosa			franco-arenosa						
20-30	areia total	661	A	b	a	834	A	a	a	617	A	a	a	628	A	a	b
	silte	222	B	a	a	90	B	b	c	225	C	a	a	212	A	a	ab
	argila	117	A	a	b	75	A	a	b	159	C	a	b	160	A	a	b
Classe textural		franco-arenoso			areia franca			franco-arenosa			franco-arenosa						

Prof. (cm)	Fração inorgânica	Classe de solo/Cobertura vegetal do solo															
		Vertissolo Hidromórfico						Neossolo Flúvico									
		I			NI			I			NI						
		----- g.kg ⁻¹ -----															
0-5	areia total	186	A	b	c	309	B	a	b	754	A	a	a	789	A	a	a
	silte	321	A	a	b	222	A	b	a	130	A	a	c	116	A B	a	b
	argila	493	B	a	a	469	A	a	a	116	A	a	b	94	A	a	b
Classe textural		argila			argila			franco-arenosa			areia franca						
5-10	areia total	262	A	b	b	368	AB	a	c	671	A	b	a	856	A	a	a
	silte	245	B	a	b	218	A	a	a	165	A	a	b	53	B	b	b
	argila	493	B	a	a	414	A	a	a	164	A	a	bc	91	A	a	b
Classe textural		argila			argila			franco-arenosa			areia franca						
10-20	areia total	252	A	b	c	377	A	a	c	698	A	b	a	797	A	a	a
	silte	216	BC	a	ab	203	A	a	a	138	A	a	b	78	A B	b	c
	argila	532	AB	a	a	421	A	b	a	165	A	a	b	124	A	a	b
Classe textural		argila			argila			franco-arenosa			franco-arenosa						
20-30	areia total	241	A	b	b	345	AB	a	c	728	A	a	a	759	A	a	ab
	silte	130	C	b	ab	216	A	a	a	123	A	a	b	124	A	a	bc
	argila	629	A	a	a	439	A	b	a	149	A	a	b	117	A	a	b
Classe textural		argila			argila			franco-arenosa			franco-arenosa						

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras romanas maiúsculas na coluna comparam as profundidades dentro de cobertura vegetal e classe de solo; letras romanas minúsculas na linha comparam as coberturas em cada classe de solo dentro de profundidade; letras gregas na linha comparam a mesma cobertura vegetal nas diferentes classes de solo dentro de cada profundidade; I = ambiente invadido por *C. madagascariensis*; NI = ambiente não invadido (vegetação nativa); Profund. = profundidade.

Umidade gravimétrica

Para a umidade do solo, foi constatado efeito significativo da interação classe de solo x cobertura vegetal x profundidade (Tabela 4). Observa-se que os solos ocupados por *C. madagascariensis* apresentam umidade superior aos ambientes de vegetação nativa em todas as classes de solo. Segundo Kiehl (1979), A quantidade de água armazenada no solo varia com as características físicas do solo, levando a planta a apresentar diferentes respostas em seus mecanismos de resistência morfofisiológicos. De maneira geral, os valores encontrados foram baixos e, devido ao estudo ter sido realizado durante a época de estiagem. Embora, apesar da condição seca, observou-se em todas as áreas invadidas o vigor e a exuberância de *C. madagascariensis* nestas condições de umidade.

Em condições de estresse a planta desenvolve mecanismos morfofisiológicos, que as conduzem a economizar água para uso em períodos posteriores possibilitando a produção de sementes. O déficit hídrico estimula a expansão do sistema radicular para zonas mais profundas e úmidas do perfil do solo, com maior crescimento ocorrendo nas camadas de solo cuja disponibilidade de água for maior (BALL et al., 1994; SANTOS E CARLESSO, 1998; TAIZ e ZEIGER, 2013).

Tabela 4. Umidade gravimétrica em função das classes de solo, cobertura vegetal e profundidade.

Profundidade (cm)	Classe de solo/Cobertura vegetal do solo															
	Planossolo Háptico		Neossolo Regolítico				Vertissolo Hidromórfico		Neossolo Flúvico							
	I	NI	I	NI	I	NI	I	NI								
	%															
0-5	4,24	A a α	0,78	A b β	3,18	A a α	1,21	A a αβ	3,53	A a α	4,77	A a α	1,72	B a α	1,25	A a αβ
5-10	2,34	A a α	0,43	A a β	4,53	A a α	1,32	A b αβ	5,10	A a α	4,06	A a α	2,46	B a α	0,84	A a αβ
10-20	3,87	A a αβ	0,54	A b β	2,05	A a β	1,63	A a β	5,66	A a α	6,53	A a α	1,94	B a αβ	0,84	A a β
20-30	3,99	A a αβ	0,53	A b β	1,89	A a β	1,76	A a αβ	6,13	A a α	5,03	A a α	6,22	A a α	1,09	A b αβ

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras romanas maiúsculas na coluna comparam as profundidades dentro de cobertura vegetal e classe de solo; letras romanas minúsculas na linha comparam as coberturas em cada classe de solo dentro de profundidade; letras gregas na linha comparam a mesma cobertura vegetal nas diferentes classes de solo dentro de cada profundidade; I = Ambiente invadido por *C. madagascariensis*; NI = Não invadido (vegetação nativa).

Argila Natural/Dispersa em Água

Pela análise de variância constatou-se efeito significativo das classes de solo e o tipo de cobertura vegetal ($p < 0,01$). Para as classes de solo, os valores observados estão diretamente relacionados ao teor de argila em cada tipo de solo (Tabela 5), ao passo que o maior e o menor teor de argila natural foram apresentados pelo Vertissolo e pelo Planossolo (Figura 10A). Provavelmente estas diferenças sejam devido às características de cada classe de solo.

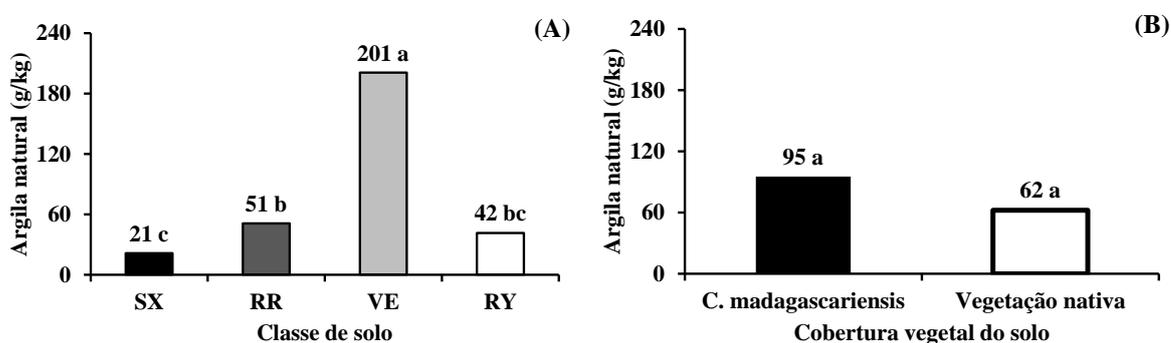


Figura 10. Teores de argila natural por classe de solo (A) e cobertura vegetal (B). Planossolo Háplico (SXz), Neossolo Regolítico (RRe), Vertissolo Hidromórfico (VGo) e Neossolo Flúvico (RYve). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto à presença de *C. madagascariensis*, nota-se que o ambiente invadido apresenta teores acima do nativo, 95 contra 62 g.kg^{-1} (Figura 10B). Solos com estas características são propensos ao entupimento dos poros capilares que mantém o movimento da água do lençol freático para a superfície. Segundo Benites e Mendonça (1998), o maior conteúdo de matéria orgânica nos horizontes superficiais eleva o teor de cargas negativas no solo, contribuindo para repulsão das partículas dos colóides. A dispersão natural das argilas também pode ser intensificada pela má condição de drenagem do solo, promovendo maior hidratação das partículas de argila, com consequente diminuição das forças de adesão e coesão entre as partículas do solo.

Grau de Flocculação

Para o grau de flocculação (GF), observou-se efeito significativo das interações classe de solo x cobertura vegetal e cobertura vegetal x profundidade com $p < 0,01$. Na Tabela 5

observa-se que no Planossolo e Neossolos Regolítico e Flúvico, os ambientes invadidos apresentam solos menos floculados. Possivelmente, a pouca diversidade de plantas nos ambientes invadidos pode interferir na agregação e proteção do solo contra a desagregação, principalmente das camadas superficiais do solo.

Tabela 5. Grau de floculação do solo por classe de solo de acordo com a cobertura vegetal.

Cobertura vegetal do solo	Classe de solo											
	SXz			RRe			VGo			RYve		
	%											
<i>C. madagascariensis</i>	66	B	A	71	B	a	59	A	a	63	B	a
Vegetação nativa	88	A	A	80	A	b	57	A	c	77	A	b

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Planossolo Háptico (SXz), Neossolo Regolítico (RRe), Vertissolo Hidromórfico (VGo) e Neossolo Flúvico (RYve).

Na tabela 6, nota-se que nos ambientes invadidos, exceto na profundidade de 0-5 cm de profundidades, os valores foram inferiores aos encontrados sob a vegetação nativa. De certo modo, o próprio fato da formação de maciços populacionais exclui a diversidade de plantas que são em parte responsáveis pela agregação do solo. Por outro lado, a deposição de matéria orgânica pode está afetando este parâmetro, conforme enfatizam Benites e Mendonça (1998).

Tabela 6. Grau de floculação do solo por profundidade de acordo com a cobertura vegetal.

Cobertura vegetal do solo	Profundidade (cm)											
	0-5			5-10			10-20			20-30		
	%											
<i>C. madagascariensis</i>	76	A	a	70	B	ab	57	B	bc	55	B	c
Vegetação nativa	79	A	a	78	A	a	73	A	a	72	A	a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A formação de agregados envolve a decomposição de resíduos orgânicos, a ação física do sistema radicular em crescimento, desidratação do solo nas proximidades das raízes, produção de exsudatos das raízes que atuam como cimentante das partículas do solo, e por fim, a ação cimentante dos produtos de conversão microbiológica, das secreções das raízes e dos resíduos de raízes das plantas (AMARO FILHO, 2008). Dessa forma, estes efeitos são tão mais pronunciados quanto maior for à diversidade vegetal, que praticamente não inexistia nos ambientes invadidos por *C. madagasriensis*.

Porosidade Total

Para a porosidade total, houve efeito significativo da interação classe de solo x cobertura vegetal x profundidade ($p < 0,01$), evidenciando grande variação deste atributo (Tabela 7). Estes resultados podem estar relacionados com a granulometria ou com os teores de matéria orgânica do solo, pois as profundidades de 0-5 e 5-10, em geral, apresentaram maior porosidade total. Este incremento pode ser devido à introdução de matéria orgânica resultante da elevada produção de biomassa, podendo esta ser uma forma de autofacilitação, já que a porosidade total está relacionada à maior quantidade de ar, de água e outras características que são benéficas ao crescimento das plantas. No Vertissolo, especificamente, a presença de argilas com alta capacidade de expansão e contração, que resulta em movimento de massas de solo que é característico dessa classe de solo (SOIL SURVEY STAFF, 1993; EMBRAPA, 2013) pode justificar a igualdade entre as profundidades no ambiente invadido.

Densidade do Solo

A densidade do solo apresentou efeito significativo da interação classe de solo x cobertura vegetal x profundidade, variando de 1,30 a 1,85 g cm⁻³ (Tabela 8). Observa-se para as classes de solos em ordem crescente de densidade Planossolo, Neossolo Flúvico, Neossolo Regolítico e Vertissolo, possivelmente relacionado à granulometria. De acordo com Mitchell (1976), a deposição de argila nas paredes dos poros e sobre os grãos de quartzo causa um arranjo mais compacto de partículas, aumentando o adensamento das camadas subsuperficiais. Além disso, Helalia et al. (1988) complementam, enfatizando que este fenômeno é mais expressivo em solos cuja argila está em maior grau de dispersão, migrando facilmente sob condições de chuva ou irrigação, conforme observado na Figura 11 para o Vertissolo.

Comparando a densidade do solo das áreas invadidas com as de vegetação nativa, observa-se inferioridade de 2,96% onde habita a população exótica, ao passo que, o processo de invasão pode ser favorecido, pois influencia no crescimento radicular, que conduz a planta ao encontro de recursos necessários, tais como água e nutrientes, que incrementam seu desenvolvimento. De maneira geral, a densidade do solo aumentou com a profundidade, sendo as profundidades de 0-5 e 5-10 cm as mais influenciadas pela invasora.

Tabela 7. Porosidade total do solo em função das classes de solo, cobertura vegetal e profundidade.

Profundidade (cm)	Classe de solo/Cobertura vegetal do solo															
	Planossolo Háplico				Neossolo Regolítico				Vertissolo Hidromórfico				Neossolo Flúvico			
	I		NI		I		NI		I		NI		I		NI	
0-5	0,49	A a α	0,50	A a α	0,39	AB a β	0,38	A a β	0,27	A a β	0,34	C b χ	0,30	AB a χ	0,38	B b χ
5-10	0,41	B a α	0,40	B a α	0,36	B b α	0,40	A a α	0,32	A a α	0,38	B b β	0,43	A b α	0,38	A a α
10-20	0,39	B a α	0,35	C a $\alpha\beta$	0,38	B a α	0,38	A a $\alpha\beta$	0,38	A a α	0,34	A a α	0,33	AB a α	0,37	B a β
20-30	0,37	B a $\beta\chi$	0,39	BC a α	0,43	A a α	0,40	A b α	0,37	A a $\alpha\beta$	0,33	A a α	0,30	B a χ	0,37	B a β

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras romanas maiúsculas na coluna comparam as profundidades dentro de cobertura vegetal e classe de solo; letras romanas minúsculas na linha comparam as coberturas em cada classe de solo dentro de profundidade; letras gregas na linha comparam a mesma cobertura vegetal nas diferentes classes de solo dentro de cada profundidade; I = Ambiente invadido por *C. madagascariensis*; NI = Não invadido (vegetação nativa).

Tabela 8. Densidade do solo em função das classes de solo, cobertura vegetal e profundidade.

Profundidade (cm)	Classe de solo/Cobertura vegetal do solo															
	Planossolo Háplico				Neossolo Regolítico				Vertissolo Hidromórfico				Neossolo Flúvico			
	I		NI		I		NI		I		NI		I		NI	
	g cm^{-3}															
0-5	1,30	A a α	1,60	A b α	1,59	A a β	1,64	A a $\alpha\beta$	1,50	A a β	1,73	A b β	1,51	A a β	1,65	A b $\alpha\beta$
5-10	1,59	B a α	1,64	A a $\alpha\beta$	1,61	A a α	1,73	AB b $\beta\chi$	1,79	B a β	1,80	A a χ	1,53	A a α	1,59	A a α
10-20	1,63	B a α	1,64	A a α	1,71	B a $\alpha\beta$	1,77	B a β	1,81	B a β	1,81	A a β	1,65	B a α	1,60	A a α
20-30	1,61	B a α	1,69	A b $\alpha\beta$	1,72	B a β	1,74	B a $\beta\chi$	1,85	B a χ	1,81	A a χ	1,75	C b $\beta\chi$	1,59	A a α

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras romanas maiúsculas na coluna comparam as profundidades dentro de cobertura vegetal e classe de solo; letras romanas minúsculas na linha comparam as coberturas em cada classe de solo dentro de profundidade; letras gregas na linha comparam a mesma cobertura vegetal nas diferentes classes de solo dentro de cada profundidade; I = Ambiente invadido por *C. madagascariensis*; NI = Não invadido (vegetação nativa).

Resistência do Solo à Penetração

Quanto à resistência do solo à penetração, não foram constatadas diferenças entre as classes de solos (Figura 11A). Porém, para cobertura vegetal e profundidade existem diferenças com significância menor que 1% de probabilidade pelo teste F. Os ambientes invadidos por *C. madagascariensis* apresentaram 45,2% a mais de resistência em relação àqueles ocupados pela vegetação nativa. Os valores alcançados foram de 4,5 MPa no ambiente invadido e 3,1 no nativo (Figura 11B). Provavelmente o sistema radicular pivotante da invasora pode facilitar sua adaptação nestes ambientes. Ocorreu acréscimo da resistência conforme se aumentou a profundidade do solo. Em termos percentuais, a resistência do solo aumentou em 105,6% da primeira para a segunda profundidade, 18,9% da segunda para a terceira e, 20,4% da terceira para quarta (Figura 11C).

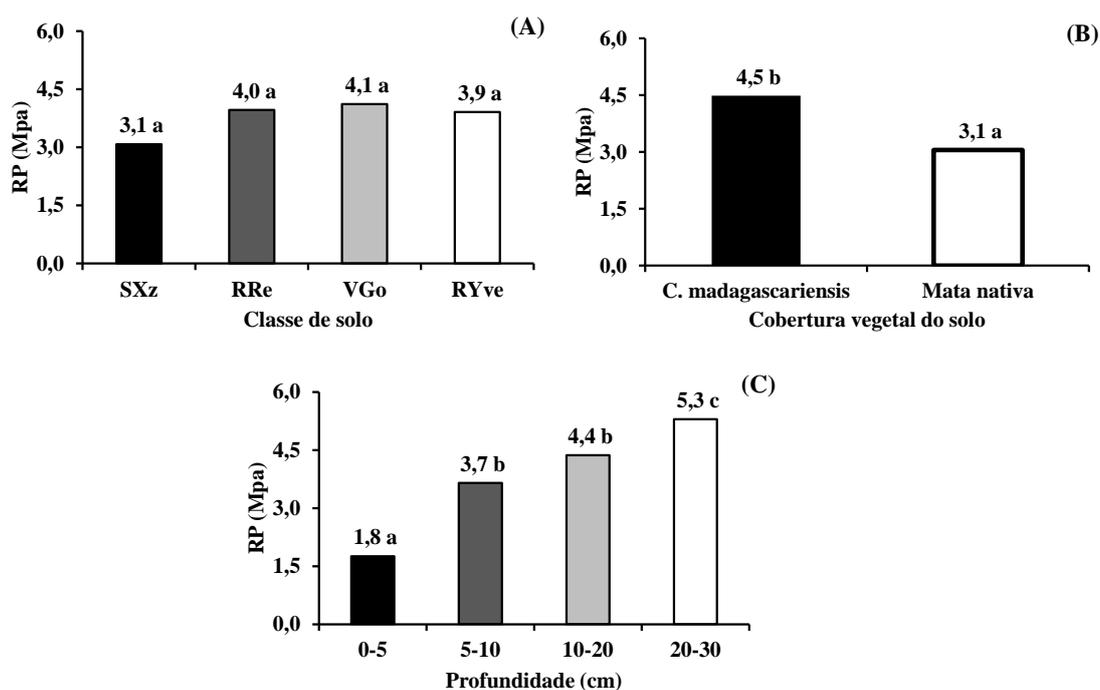


Figura 11. Resistência do solo à penetração (RP) por classe de solo (A), cobertura vegetal (B) e profundidade (C) em diferentes profundidades do solo. Planossolo Háplico (SXz), Neossolo Regolítico (RRe), Vertissolo Hidromórfico (VGo) e Neossolo Flúvico (RYve). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Esta menor resistência evidenciada na camada superficial do solo pode estar relacionada ao teor de matéria orgânica. Segundo Bayer e Mielniczuk (2008) a matéria orgânica atua diretamente na agregação do solo e indiretamente na densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água entre outros atributos, como na redução da resistência do solo à penetração. Melo (2014) não constatou redução da resistência do solo à penetração em profundidade de áreas invadidas por Algaroba (*P. juliflora*). De acordo com Taylor e Ratliff (1969) e Eavis et al. (1969), a pressão de crescimento que a raiz pode exercer sobre os solos varia entre espécies, com valores médios de pressão axial que se situam entre 0,9 e 1,3 MPa e para pressão radial entre 0,5 e 0,7 MPa.

Esta característica, possivelmente dá vantagem competitiva em relação a outras plantas que poderiam competir com *C. madagascariensis*, principalmente com relação à própria regeneração natural. Talvez seja este um dos fatores que dificulta o crescimento de herbáceas ou arbustos importantes no processo sucessional nas áreas invadidas por *C. madagascariensis*, sendo comum encontrar gramíneas ou ciperáceas explorando a camada superficial do solo, 0-10 cm, por apresentar menor resistência à penetração. Outra possibilidade está no fato de que tanto *C. madagascariensis* como as nativas estejam explorando profundidades muito além daquelas abordadas neste estudo, que possivelmente apresentam condições mais favoráveis ao crescimento vegetal.

4. CONCLUSÃO

Os solos estudados apresentaram ampla variação textural, sendo a variabilidade deste e de outros atributos físicos relacionada com a pedogênese de cada classe de solo. A umidade do solo talvez seja o principal atributo físico que permita o estabelecimento da espécie em ambiente separado daquele onde se encontra a vegetação nativa e por fim, as condições físicas encontradas permitem que as populações de *Cryptostegia madagascariensis* completem seu ciclo de vida e avancem no processo de invasão de novos ambientes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N. ; MOTA, J. C. A. Estrutura do solo. In: _____. **Física do solo: conceitos e aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008b. cap. 5. p. 107-133.

BALL, R.A.; OOSTERHUIS, D.M.; MAUROMOUSTAKOS, A. Growth dynamics of the cotton plant during water-deficit stress. **Agronomy Journal**, v.86, p. 788-795, 1994.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.

BENITES, V. M. & MENDONÇA, E. S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.1, p.215-222, 1998.

BRASIL. Ministério de Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisas Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento exploratório-reconhecimento dos solos do estado do Ceará**. Recife, 1973. 2v. (Boletim Técnico, 28), (Brasil, SUDENE – DRN. Divisão de Agrologia – Série Pedologia, 16).

BUCK, J. R.; CLAIR, S. B. S. Aspen Increase Soil Moisture, Nutrients, Organic Matter and Respiration in Rocky Mountain Forest Communities. **Plos One**, v. 7, n. 12, p. 1-6, 2012.

CALLAWAY, R. M.; NEWINGHAM, B.; ZABINSKI, C. A.; MAHALL, B. E. Compensatory growth and competitive ability of an invasive weed are enhanced by soil fungi and native neighbors. **Ecology Letters.**, v. 4, p. 1-5, 2001.

CÂMARA SETORIAL DA CARNAÚBA. **A Carnaúba: preservação e sustentabilidade**. Fortaleza, 2009. 40 p.

CARVALHO, I. V.; MESQUITA, A. A.; SANTOS, P. G. L.; SANTOS, J. S. Densidade de potencial eólico nas diferentes regiões do estado. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 5, p.1317 – 1327, 2012.

EAVIS, B.W.; RATLIFF, L.F.; TAYLOR, H.M. Use of the dead-load technique to determine the axial root growth pressure. **Agronomy Journal**, v. 61, p. 640-643, 1969

EHRENFELD, J. G. Implications of invasive species for belowground community and nutrient. **Weed Technology**, v. 18, p. 1232-1235, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2013. 353 p.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FERREIRA, M.M. Caracterização física do solo. In: JONG VAN LIER, Q., ed. **Física do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.1-27.

GARCÍA, R. A.; FUENTES-RAMÍREZ, A.; PAUCHARD, A. Effects of two nitrogen-fixing invasive plants species on soil chemical properties in south-central Chile. **Gayana Botánica**, v. 69, n. 1, p. 189 - 192, 2012.

HAUBENSAK, K. A.; D'ANTONIO, C. M.; ALEXANDER, J. Effects of nitrogen-fixing shrubs in Washington and coastal California. **Weed Technology**, v. 18, p. 1475 - 1479, 2004

HAWKES, C. V.; WREN, I. F.; HERMAN, D. J.; FIRESTONE, M. K. Plant invasion alters nitrogen cycling by modifying the soil nitrifying community. **Ecology Letters**, v. 8, p. 976 - 985, 2005.

HELALIA, A.M.; LETEY, J.; GRAHAM, R.C. Crust formation and clay migration effects on infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, p. 251-255, 1988.

INSTITUTO HÓRUS. **Banco de dados sobre espécies invasoras no Brasil**. Disponível em: <<http://www.institutohorus.org.br>>. Acesso em: 28 de mar. de 2015.

IPECE (2014a) **Perfil Básico Municipal de Ibarretama**. Fortaleza: IPECE, 2014. 17 p. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2014/Ibaretama.pdf. Acesso em: 25 de setembro de 2015.

IPECE (2014b) **Perfil Básico Municipal de Quixadá**. Fortaleza: IPECE, 2014. 17 p. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2011/Quixada.pdf. Acesso em: 25 de setembro de 2015.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979. P. 191-215.

KLACKENBERG, J. Revision of the genus *Cryptostegia* R. Br. (Apocynaceae, Periplocoideae). **Adansonia**, v. 23, n. 2, p. 205 - 218, 2001.

LEÃO, T. C. C.; ALMEIDA, W. R.; DECHOUM, M.; ZILLER, S. R. **Espécies Exóticas Invasoras no Nordeste do Brasil: Contextualização, Manejo e Políticas Públicas**. Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste e Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental. Recife, PE. 2011. 99 p.

LOPES, R. M. **Informe sobre as espécies exóticas invasoras marinhas no Brasil**. Ministério do Meio Ambiente; Rubens M. Lopes/IO-USP. Brasília: MMA/SBF (Série Biodiversidade, 33), 2009. 440 p.

MARLER, M. M.; ZABINSKI, C. A.; CALLAWAY, R. M. Mycorrhizae indirectly enhance competitive effects of an invasive forb on a native bunchgrass. **Ecology**, n. 80, p. 1180-1186, 1999.

MITCHELL, J.K. **Fundamentals of soil behavior**. New York, John Wiley, 1976. 422p.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p.1196-1206, 2013.

PAULA, R. K.; **Cenários de balanço hídrico no Ceará decorrentes de mudanças climáticas**. Campina Grande, 2011. 65f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande.

RICHARDSON, D. M.; ALLSOPP, N.; D'ANTONIO, C. M.; MILTON, S. J.; REJMÁNEK, M. Plant invasions - the role of mutualisms. **Biological Reviews**, n. 75, p. 65 - 93, 2000.

SAGGAR, S.; MCINTOSH, P.; HEDLEY, C.; KNICKER, H. Changes in soil microbial biomass, metabolic quotient and organic matter turnover under *Hieracium pilosella* L. **Biology and Fertility of Soils**, v. 30, p. 232 - 238, 1999.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT: user's guide version 9.2 (software)**. Cary. 2008.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington, USDA, 1993. 437p. (Handbook, 18).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TAYLOR, H.M.; RATLIFF, L.F. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. **Soil Science**, v. 108, p. 113-119, 1969.

ZILLER, S. R.; ZENNI, R. D.; NETO, J. G. Invasões biológicas: introdução, impactos e espécies exóticas invasoras no Brasil. In: **Princípios e rudimentos do controle biológico de plantas** - Coletânea. Curitiba. Laboratório Neotropical de controle biológico de plantas. UFPR. 2004. , p. 17-41.

CAPÍTULO III

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS INVADIDOS POR *Cryptostegia*
madagascariensis Bojer ex. Decne. NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DO CEARÁ**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS INVADIDOS POR *Cryptostegia*
madagascariensis Bojer ex. Decne. NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DO CEARÁ**

RESUMO

Plantas exóticas invasoras podem causar graves impactos sobre os ecossistemas, estando seu estabelecimento dependente de condições que permitam o completo desenvolvimento da planta, sendo as condições químicas do solo um fator relevante deste processo. Neste sentido, esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de caracterizar, quanto aos atributos químicos, solos invadidos por *C. madagascariensis* Bojer ex. Decne no estado do Ceará, visando identificar condições químicas específicas relacionadas à presença da invasora. Amostras de solos foram coletadas em quatro classes de solo: Planossolo Háplico, Neossolo Regolítico, Vertissolo Hidromórfico e Neossolo Flúvico, sendo cada classe constituída por dois ambientes, um invadido por *C. madagascariensis*, denominado ambiente invadido e outro ocupado pela vegetação nativa, denominado ambiente não invadido. Em cada ambiente foram obtidas amostras compostas de solo em quatro profundidades (0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm), nas quais se analisou os atributos químicos: acidez ativa, fósforo assimilável, cálcio, magnésio e potássio trocáveis, soma de bases, CTC efetiva, saturação por bases, matéria orgânica, percentagem de sódio trocável e condutividade elétrica do extrato de saturação. Os dados foram submetidos à análise de variância em parcela subdividida. As classes de solo foram estudadas na parcela, os ambientes (invadido e não invadido) na subparcela e, na subdividida foram estudadas as profundidades. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O pH foi mais elevado no Neossolo Flúvico, não diferindo entre os ambientes, nem tão pouco em profundidade. Os teores de fósforo variaram entre as classes de solos, foi 31% menor no ambiente invadido, sendo a profundidade de 0-5 cm a que apresentou maiores valores. Os teores de cálcio e magnésio, a soma de bases, a CTC efetiva, a saturação por bases foram superiores no Vertissolo Hidromórfico, no entanto, exceto o magnésio, os demais atributos foram superiores no ambiente invadido. Os teores de potássio variaram entre as classes de solo, ambientes e profundidades, apresentando efeito significativo da interação tripla. O teor de matéria orgânica em geral foi baixo, apresentou supremacia no Neossolo Regolítico, Vertissolo Hidromórfico, bem como, na profundidade de 0-5 cm. Quanto à salinidade, foi constatado no Planossolo Háplico ambiente invadido valores de condutividade elétrica igual a 22,0 dS.m⁻¹ e uma percentagem de saturação por sódio de 6,32%. Existe alta variabilidade dos atributos

químicos do solos, tanto onde encontra-se *C. madagascariensis*, bem como, nos solos sob a vegetação nativa. Os baixos teores de fósforo podem indicar que *C. madagascariensis* é uma espécie extratora desse elemento e, o fato de encontrar-se estabelecida em solo salino, revela a tolerância da espécie a ambientes afetados por sais, talvez devido a alguns ajustes fisiológicos, demonstrando a ampla capacidade adaptativa do táxon, que pode desenvolver-se sob distintas condições químicas de solo.

Palavras-chave: Biodiversidade, Invasão biológica, Espécie invasora, Qualidade do solo.

**SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES INVADED BY *Cryptostegia madagascariensis* Bojer
ex. Decne. IN THE SEMIARID OF THE CEARÁ STATE**

ABSTRACT

Invasive alien plants can cause serious impacts on ecosystems, their establishment being dependent on conditions that allow the full development of the plant, and soil chemical conditions are a relevant factor of this process. In this sense, this research was developed with the objective of characterizing, regarding the chemical attributes, soils invaded by *C. madagascariensis* in the state of Ceará, aiming to identify specific chemical conditions related to the presence of the invader. Soil samples were collected in four soil classes: Planossolo Háplico, Neossolo Regolítico, Vertissolo Hidromórfico e Neossolo Flúvico, each class consisting of two environments, one invaded by *C. madagascariensis*, called the invaded environment and the other one occupied by the native vegetation, called the environment not invaded. In each environment, soil samples were obtained at four depths (0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm), in which the chemical attributes were analyzed: active acidity, assimilable phosphorus, calcium, magnesium and potassium exchangeable, base sum, effective CTC, base saturation, organic matter, percentage of exchangeable sodium and electrical conductivity of the saturation extract. Data were submitted to analysis of variance in a sub-divided plot. The soil classes were studied in the plot, the environments (invaded and not invaded) in the subplot and, in the subsub-plot the depths were studied. The means were compared by the Tukey test at 5% probability. The pH was higher in the Neossolo Flúvico, not differing between environments, nor in depth. The phosphorus content varied among the soil classes, it was 31% lower in the invaded environment, and the depth of 0-5 cm showed the highest values. The calcium and magnesium contents, the sum of bases, the effective CTC and the base saturation were higher in the Vertissolo Hidromórfico, however, except for magnesium, the other attributes were higher in the invaded environment. The potassium contents varied among soil classes, environments and depths, presenting a significant effect of triple interaction. The content of organic matter in general was low, presented supremacy in the Neossolo Regolítico, Vertissolo Hidromórfico, as well, in the depth of 0-5 cm. As for salinity, it was observed in the planossolo Háplico invaded environment values of electrical conductivity equal to 22.0 dS.m⁻¹ and a percentage of saturation by sodium of 6.32%. There is high variability of soil chemical attributes, both where *C. madagascariensis* is found, as well as in soils under native vegetation. The low levels of phosphorus can indicate that *C.*

madagascariensis is an extractive species of this element and, since it is established in saline soil, reveals the tolerance of the species to environments affected by salts, perhaps due to some physiological adjustments, adaptive capacity of the taxon, which can develop under different soil chemical conditions.

Keywords: Biodiversity, Biological invasion, Invasive plant, Soil quality.

1. INTRODUÇÃO

Contaminação biológica, ou invasão biológica é o processo de introdução e adaptação de espécies que não fazem parte naturalmente de um ecossistema, mas que se naturalizam e passam a provocar mudanças em seu funcionamento (ZILLER, 2000). Segundo Andrade et al. (2010), os impactos deste processo tendem a se agravar, diferentemente do que acontece com a maioria dos problemas ambientais que se atenua com o tempo, constituindo assim, uma das principais causas de perda de biodiversidade no planeta atualmente.

No Brasil, espécies com alta capacidade invasora têm motivado estudos com fins de entender o comportamento e o impacto desses indivíduos na biodiversidade. Fabricante et al. (2012) estudaram os impactos causados por *Artocarpus heterophyllus* Lam. sobre a riqueza, diversidade da fitocenose de um fragmento de Floresta Ombrófila e concluíram que a espécie causa significativas alterações na riqueza, diversidade e nos solos dos sítios invadidos. Na região amazônica, Silveira (1999) observou que a presença de bambus *G. weberbaueri* Pilger e *G. sarcocarpa* Londonõ & Peterson reduz drasticamente a riqueza de espécies arbóreas, além de diminuir em 50% a biomassa de áreas de terra firme.

Dentre as espécies com alta capacidade invasiva e de degradação da biodiversidade, a *Cryptostegia madagascariensis* tem se revelado uma das espécies invasoras com maior efeito depauperante do meio. A ocorrência dessa espécie se dá principalmente no bioma caatinga, e sua dispersão é rápida devido à facilidade de deslocamento de suas sementes, que são transportadas pelo vento, além de apresentar alto índice de germinação (ANSELMO et al., 2010).

Segundo Andrade (2013), devido ao seu hábito de crescimento, a espécie *C. madagascariensis* vem causando sérios danos à vegetação das matas ciliares do bioma caatinga no estado do Ceará, onde compete principalmente com a carnaubeira (*Copernicia prunifera* Mill.). Esta espécie autóctone vem sendo suprimida por populações da exótica, que através do excessivo sombreamento causado por seus ramos trepadores, associado ao elevado volume de biomassa, impede a passagem de luz, causa estrangulamento e tombamento dos espécimes atingidos.

Em sistemas agrícolas, não há relatos na literatura recente que pautem a relação dos cultivos com *C. madagascariensis*, mas outras invasoras, igualmente severas foram estudadas com foco nesse ambiente. Santos e Cury (2011) avaliaram o comportamento de *Bidens pilosa* L., uma das mais competitivas espécies invasoras e concluíram que além de ser uma planta bastante agressiva e de competir com as culturas por recursos de produção, pode servir de

hospedeiro de pragas e doenças, podendo provocar perdas significativas de rendimento nos cultivos agrícolas.

Outro importante dano causado por espécies vegetais invasoras é também a perda de qualidade quanto às propriedades químicas do solo. Sabe-se que os contaminantes biológicos, de modo geral, alteram o pH do solo, provocam a perda de nutrientes e da fertilidade (ZILLER, 2001, FABRICANTE, 2013). Resultados de Fabricante et al. (2012) demonstraram que a introdução de *Artocarpus heterophyllus* Lam. em solos de um fragmento de Floresta Ombrófila Aberta, causam impactos nos ambientes onde se dispersa devido, dentre outros fatores conhecidos, das alterações químicas e de fertilidade dos solos pela presença da espécie.

Neste sentido, esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de caracterizar, quanto aos atributos químicos, solos invadidos por *C. madagascariensis* Bojer ex. Decne no estado do Ceará, visando identificar condições químicas específicas relacionadas à presença da invasora.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização das Áreas de Estudo, Localização e Aspectos Climáticos

As quatro áreas utilizadas para o estudo estão localizadas no estado do Ceará e pertencem aos municípios de Quixadá e Ibaretama (Figura 1), os quais estão inseridos na macrorregião do Sertão Central, mesorregião dos Sertões Cearenses, microrregião de Quixeramobim (IPECE, 2014a; 2014b). Por conveniência, as áreas estudadas são identificadas conforme as classes de solos que apresentam.

Na área I predomina os Planossolos e está localizada a 29 km da sede da Cidade de Quixadá, seguindo pela rodovia CE – 265, ao lado direito, no sentido Quixadá-Ibicuitinga. Já na área II predomina os Neossolos Regolíticos, dista da sede 36,6 km, sendo encontrada a direita da rodovia 122 no sentido Quixadá-Triunfo. Nas áreas III e IV há um predomínio de Vertissolo e Neossolo Flúvico, as quais estão localizadas no município de Ibaretama e distam 8,4 e 14,2 km da sede do município, respectivamente. As coordenadas geográficas de cada área estão apresentadas na Tabela 1.

O clima da região é caracterizado como tropical quente semiárido, com temperatura média entre 26 e 28 °C, tendo como período chuvoso os meses de janeiro a abril (IPECE, 2014a), podendo ser classificado segundo Köppen como BShw'. A altitude média é de 185 m, e de acordo com Carvalho et al. (2012), na região os ventos superficiais variam, nas alturas de 10 e 100 m, de 2,74 a 10,76 m.s⁻¹ respectivamente, com precipitação de 706 mm.ano⁻¹ e evapotranspiração em torno de 815 mm.ano⁻¹, segundo Paula (2011).

Tabela 1. Coordenadas geográficas em UTM das áreas utilizadas no estudo.

Coordenadas	CLASSES DE SOLOS			
	SXz	RRe	VGo	RYve
	UTM			
X	526154	526044	522275	527408
Y	9454383	9472777	9476590	9476334

SXz = Planossolo Háptico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico.

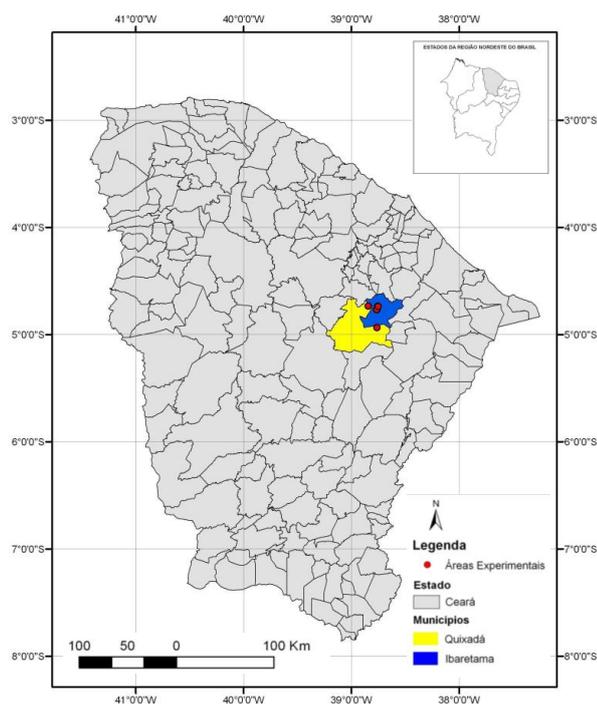


Figura 1. Localização das áreas de estudo nos municípios de Quixadá e Ibaretama no semiárido do estado do Ceará.

2.2. Relevo, Geologia e Vegetação

A região encontra-se sob o domínio do embasamento cristalino, que abrange toda a depressão sertaneja, apresenta relevo plano e suave ondulado. Geologicamente estas áreas são referidas na sua quase totalidade ao Pré-Cambriano Indiviso. São áreas resultantes de um sistema erosivo intenso, arrasando e modelando grandes extensões sob condições de clima semiárido. Trata-se de um processo em que predomina o intemperismo físico, que atua desagregando as rochas mais superficiais durante o prolongado período seco, sendo estas massas desagregadas, posteriormente carregadas por enxurradas breves, de alto poder transportador. O intemperismo químico é um fator importante principalmente no curto período chuvoso (BRASIL, 1973). A vegetação predominante é composta por Caatinga Arbustiva Densa e Floresta Caducifólia Espinhosa (IPECE, 2014a; 2014b).

2.3. Histórico das Áreas Estudadas

2.3.1. Área I

- **Ambiente invadido** – Caracterizado por apresentar populações de *C. madagascariensis* intercaladas por espaços ocupados por uma espécie de gramínea. O solo apresentava afloramento de sais e não foi relatado uso agrícola. Em época de boa estação chuvosa, o ambiente sofre alagamento. Moradores locais relatam que a espécie foi notada em meados década de 80.
- **Ambiente não invadido (vegetação nativa)** – Este ambiente, sem a presença da invasora, é constituído por gramíneas, arbustos e árvores nativas, com altura que variam de 3 a 8 m. Não foi relatado uso agrícola, embora, é praticado o extrativismo de madeira.

2.3.2. Área II

- **Ambiente invadido** – Este ambiente apresentava um maciço populacional de *C. madagascariensis* de 1,5 ha. O solo apresentava-se coberto por uma camada média de serrapilheira de 3,0 cm, a qual era composta exclusivamente por fitomassa da invasora. A área já foi utilizada para fins agrícolas (milho e feijão) sem o uso de adubação. A ausência de árvores mortas, galhos e tocos evidencia que esta Apocinaceae ou habita o local a bastante tempo ou determinada perturbação da área, como a retirada da vegetação nativa, possa ter favorecido seu estabelecimento no ambiente.
- **Ambiente não invadido** – Neste ambiente, a vegetação nativa exibia bem o caráter decíduo, prevalecia à presença de árvores e arbustos com formação de serapilheira. As plantas apresentavam espaçamento médio de 1,5 a 3,0 m com altura máxima em torno de 10 m. Não foi relatado uso agrícola, embora, é praticado o extrativismo vegetal.

2.3.3. Área III

- **Ambiente invadido** – Este ambiente sofreu corte raso a mais de quatro anos, a partir do qual se constatou o estabelecimento da invasora. Nota-se no local, poucas espécies arbustivo-arbóreas nativas, presença de indivíduos de carnaúba, *Copernicia prunifera* (Miler) H. E. Moore, bem como grupos de plantas da exótica formando pequenas populações e plantas isoladas da espécie invasora intercaladas por solo nu. Sazonalmente a área é alagada e quando não, sofre com pastejo extensivo de caprinos e bovinos.
- **Ambiente não invadido** – A vegetação é semelhante aos demais ambientes não invadidos das outras áreas, porém, apresenta árvores de maior porte e forma uma serrapilheira rala.

2.3.4. Área IV

- **Ambiente invadido** – A invasora ocupava o ambiente ciliar de um rio que corta a propriedade, no qual a vegetação foi retirada ao longo dos anos permitindo a entrada da invasora.
- **Ambiente não invadido** – Este ambiente sofre cortes esporádicos, ação da pecuária extensiva e encontrando-se adjacente ao ambiente invadido.

2.4. Escolha das Áreas e Divisão Espacial dos Ambientes Visando o Estudo Comparativo

A seleção das áreas foi feita a princípio pelo tipo de solo, de tal forma que cada tipo constituía uma das classes de solo supracitadas. Espacialmente, cada classe era composta por dois ambientes. Um caracterizado pela presença da vegetação nativa em aspecto preservado e outra constituída unicamente pela espécie invasora *C. madagascariensis* (Figura 2).

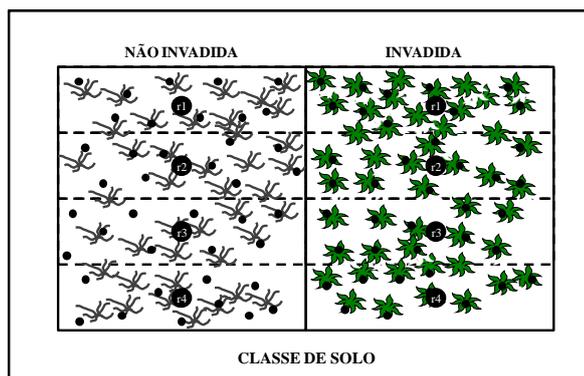


Figura 2. Layout esquemático das áreas selecionadas e do procedimento de amostragem do solo sob as coberturas vegetais de vegetação nativa e *C. madagascariensis*.  = planta nativa área não invadida;  = planta de *C. madagascariensis*; - - = Subdivisões da área; ● = Amostras simples; ⑪ = representação da obtenção de uma amostra composta por dez amostras simples.

2.5. Amostragem e Coleta dos Materiais de Solo e Preparo das Amostras

As amostras de solo foram coletadas nos ambientes invadidos e não invadidos, em quatro profundidades (0-5; 5-10, 10-20 e 20-30 cm) e em cada uma das quatro classes de solo selecionadas. Conforme ilustra a Figura 2, cada ambiente (invadido e não invadido) de cada classe de solo foi fracionado em função do relevo, cor do solo, mudança textural e outras possíveis variações constatadas visualmente no solo, dos quais foram obtidas dez amostras simples, que depois de homogeneizadas, formaram amostras compostas. As coletas foram realizadas em cada subdivisão de cada área. Frações iguais de solo foram retiradas em cada uma das profundidades supracitadas sob a copa das plantas a uma distância de 20 cm do caule (Figura 3). Após a coleta, as amostras compostas foram acondicionadas em sacolas plásticas e devidamente identificadas para posteriores análises.



Figura 3. Coleta das amostras de solos dos ambientes invadidos sob a copa de *C. madagascariensis*.

2.6. Atributos Químicos Analisados

2.6.1. Fertilidade do solo

As análises de fertilidade do solo foram realizadas no Laboratório de Matéria Orgânica do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências da Universidade Federal da Paraíba. As amostras após serem secas ao ar e passadas em peneira de malha de 2,0 mm foram submetidas às seguintes determinações: acidez ativa, fósforo assimilável, sódio e potássio trocáveis extraídos com solução de Mehlich 1, cálcio e magnésio extraídos com KCl 1 mol L⁻¹. A matéria orgânica foi obtida multiplicando-se o carbono orgânico total (COT) pelo fator "Van Bemmelen" de 1,724. O COT foi determinado pelo método de oxidação úmida-difusão (SNYDER E TROFYMOW, 1984) e a quantificação foi feita por titulação potenciométrica com HCl 0,25 mol L⁻¹, entre os pHs 8,3 e 3,7 (SAMPAIO e SALCEDO, 1982). A Soma de bases resultou do somatório dos cátions trocáveis (Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺ + K⁺ + Na⁺); CTC efetiva (SB + Al⁺⁺⁺); o Al⁺⁺⁺ foi determinado por extração com solução KCl 1 mol L⁻¹ e determinação volumétrica com solução diluída de NaOH 0,025 1 mol L⁻¹, até a coloração verde-azulada persistente. Saturação por bases ou valor V e a saturação por

alumínio ou valor m% através das fórmulas: Valor V = (SB/CTC)*100 e Valor m% = (Al trocável/CTC)*100 (DONAGEMMA et al., 2011).

2.6.2. Salinidade do solo

Quanto à salinidade, as análises foram realizadas no Laboratório de Solos do Instituto Federal da Paraíba, campus São Gonçalo, Souza, PB. A partir do extrato de saturação da pasta saturada foi determinada a condutividade elétrica (CEes) e utilizando-se a relação $(Na^+ \text{ trocável}/CTC) \times 100$, foi calculado o Percentual de Sódio trocável -PST (RICHARDS, 1954).

2.7. Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância em parcela subdividida conforme apresentado na tabela 2. As classes de solos foram estudadas na parcela, as coberturas (área invadida e não invadida) na subparcela e, na subsubparcela foram estudadas as profundidades, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados foram analisados através do software estatístico SAS/STAT 9.2 (SAS Institute, 2008), utilizando o procedimento MIXED, com pseudo repetições, considerando-as dentro de cada área e medidas repetidas no tempo para profundidade (BUCK e CLAIR, 2012).

Tabela 2. Esquema do quadro da análise de variância para os fatores: classes de solo, cobertura vegetal (nativa e *C. madagascariensis*) e profundidades.

FONTES DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE
Classes de solo (CS)	3
<i>Resíduo (a)</i>	12
Cobertura vegetal (Cob)	1
CS x Cob	3
<i>Resíduo (b)</i>	12
Profundidade (P)	3
P x CS	9
P x Cob	3
P x CS x Cob	9
<i>Resíduo (c)</i>	72
Total	127

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Fertilidade do solo

Matéria Orgânica do Solo

Os maiores teores de matéria orgânica foram constatados no Vertissolo e no Neossolo Regolítico, cujos valores foram de 1,49 e 1,39 dag.kg⁻¹ (Figura 4A). Os ambientes invadidos e não invadidos apresentaram teores estatisticamente iguais (Figura 4B), 1,23 e 1,10 dag.kg⁻¹ respectivamente. A profundidade de 0-5 cm apresentou maiores teores, os quais decrescem à medida que se aprofunda no perfil do solo (Figura 4C).

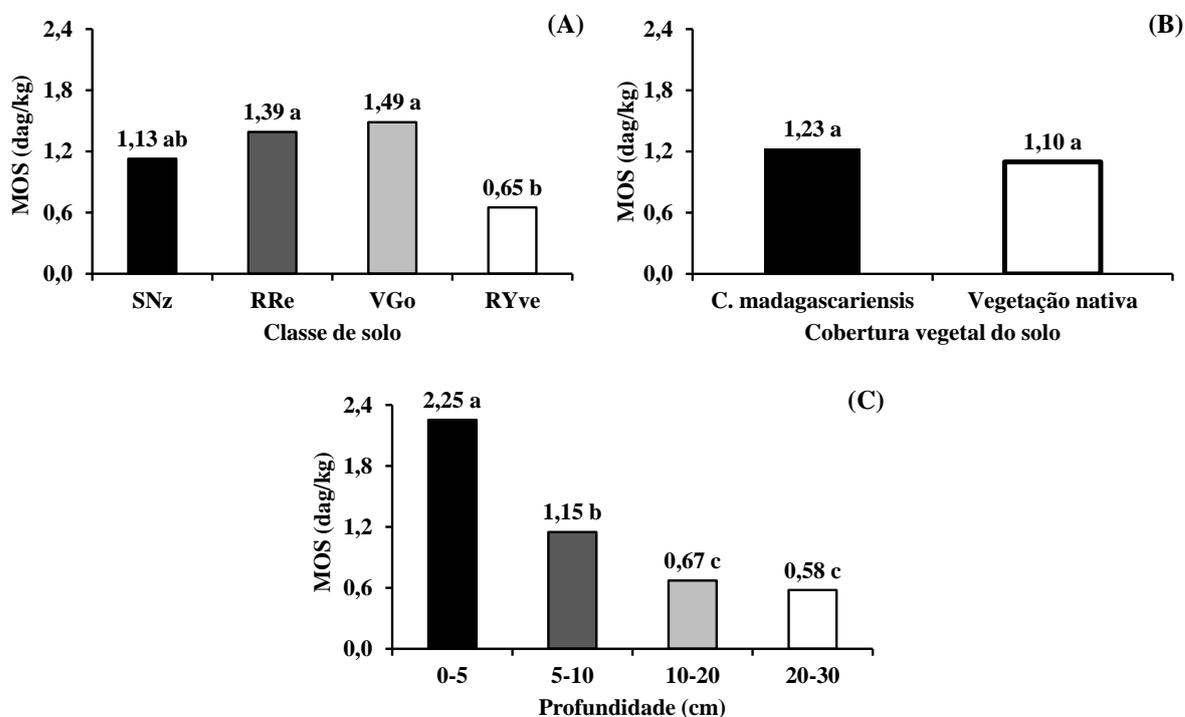


Figura 4. Teores de matéria orgânica do solo (MOS) para as classes de solo (A) cobertura vegetal (B) e profundidade (C). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados semelhantes foram observados por Melo (2014), constatando que *P. juliflora* incrementou os teores de MOS alterando o ambiente edáfico na projeção da copa. Liao et al. (2008) demonstraram que plantas invasoras incrementam a serrapilheira e que o carbono total do solo é mais elevado quando a espécie invasora é arbórea.

Dessa forma, é importante destacar dois pontos: primeiro, a elevada produção de biomassa pela invasora beneficia o solo e conseqüentemente o crescimento, o desenvolvimento da invasora e o processo invasivo e, segundo, a degradação da vegetação nativa promove a redução do aporte de MOS, desequilibrando o sistema e reduzindo a resiliência da vegetação autóctone. Segundo Mielniczuk (2008), a perturbação antrópica do sistema estável (solo + cobertura vegetal) normalmente causa mais perdas do que ganhos de carbono, implicando a redução do seu teor ao longo do tempo e a degradação da qualidade do solo no desempenho das suas funções básicas. Lopes et al. (1990), relatam que a serapilheira acumulada no solo corresponde ao reservatório de nutrientes e de matéria orgânica que influencia e regula muitos processos funcionais dos ecossistemas. Sendo assim, os baixos valores de MOS encontrados em ambos os ambientes (ALVAREZ et al., 1999), refletem a degradação ambiental pela ação antrópica, que concomitantemente ao processo de invasão promovem a perda da biodiversidade.

Acidez Ativa

A análise de variância revelou efeito significativo da interação classe de solo x profundidade ($p > 0,05$). Na Tabela 3, nota-se que no PLANOSSOLO houve uma sutil acidificação com o aumento da profundidade. Além da ocorrência natural da acidez do solo, as plantas também exercem efeito sobre este parâmetro. Maiores mudanças no pH da rizosfera são atribuídas à extrusão e absorção de H^+ ou de HCO_3^- , respiração da raiz, liberação de exsudatos de baixa massa molecular (ácidos orgânicos, açúcares, fenóis, etc.) e, especialmente, à relação entre a absorção de cátions e a de ânions (HINSINGER et al., 2003; TAIZ E ZEIGER, 2013).

Tabela 3. Acidez ativa do solo por classe de classe de solo e profundidade.

Profundidade (cm)	Classe de solo							
	SXz		RRe		VGo		RYve	
	pH							
0-5	5,51	A c	6,33	A b	6,23	A b	7,11	A a
5-10	5,16	AB c	6,21	A b	6,33	A b	6,95	A a
10-20	5,05	B c	6,28	A b	6,59	A ab	7,01	A a
20-30	5,12	B b	6,38	A a	6,82	A a	6,96	A a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. SXz = Planossolo Háptico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico.

Nessa perspectiva, SCOTT et al. (2001), avaliando o impacto biogeoquímico da invasão de *Hieracium* sobre o solo, observaram que o pH do solo foi significativamente menor no solo sob a invasora do que na área sem a planta ou sob o campo de erva nativa, cujos valores alcançaram a condição de 4,76. Os valores de pH observados no ambiente invadido permaneceram próximo a neutralidade, na faixa onde os elementos essenciais estão disponíveis em maior quantidade para as plantas (MALAVOLTA, 1997), aumentando assim a vantagem da invasora sobre as nativas. Resultados semelhantes foram obtidos por Melo (2014) estudando o pH de solos invadidos por *Prosopis juliflora*, de acordo com o autor, os solos sob a copa da invasora apresentaram valor médio de 6,7.

Fósforo Disponível

O fósforo disponível foi maior nos Neossolos Flúvico e Regolítico, alcançando teores de 3,47 e 2,73 mg.kg⁻¹ e os menores no Vertissolo (0,69 mg.kg⁻¹) e Planossolo (0,71 mg.kg⁻¹), conforme mostra a Figura 5A.

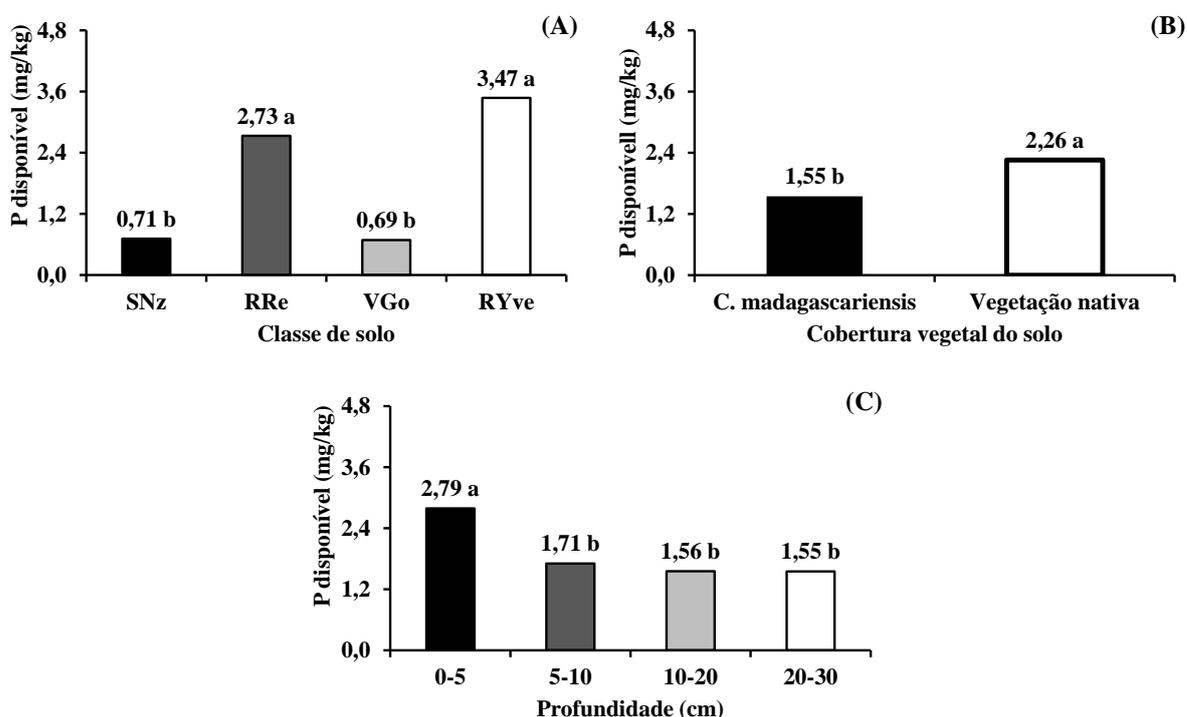


Figura 5. Teores de fósforo disponível de acordo com as classes de solo (A), cobertura vegetal (B) e profundidades do solo (C). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os ambientes invadidos por *C. madagascariensis* apresentam 31% menos fósforo do que aqueles onde habita vegetação nativa (Figura 5B). Constatou-se teores mais elevados na profundidade de 0-5 cm (Figura 5C).

O fósforo é elemento fundamental para o crescimento das plantas, de acordo com Magid et al. (1996), a forma e a dinâmica do fósforo no solo podem ser afetadas significativamente por mudanças no uso do solo, incluindo mudanças na cobertura vegetal, na produção de biomassa e na ciclagem de nutrientes. Segundo Rheinheimer e Anghinoni (2003), o fósforo orgânico pode constituir de 5 a 80% do fósforo total do solo e, nos solos tropicais, é fonte de fósforo às plantas e deve ser levado em consideração em estudos envolvendo a sua dinâmica e biodisponibilidade. Neste contexto, é evidente que ambas as coberturas exercem influência sobre os teores deste elemento devido ao incremento da matéria orgânica depositada na superfície do solo. Melo (2014), estudando os efeitos de *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. em domínio do semiárido, expõe que esta espécie incrementa consideravelmente os teores deste elemento no solo.

Cálcio Trocável

Os teores de cálcio foram significativamente diferentes entre as classes de solo e entre as coberturas vegetais ($p < 0,01$). No primeiro caso, o menor e o maior valor foram apresentados pelo Planossolo e o Vertissolo, respectivamente (Figura 6A). No segundo, observa-se que *C. madagascariensis* está presente em solos com os teores mais elevados em cálcio (Figura 6B).

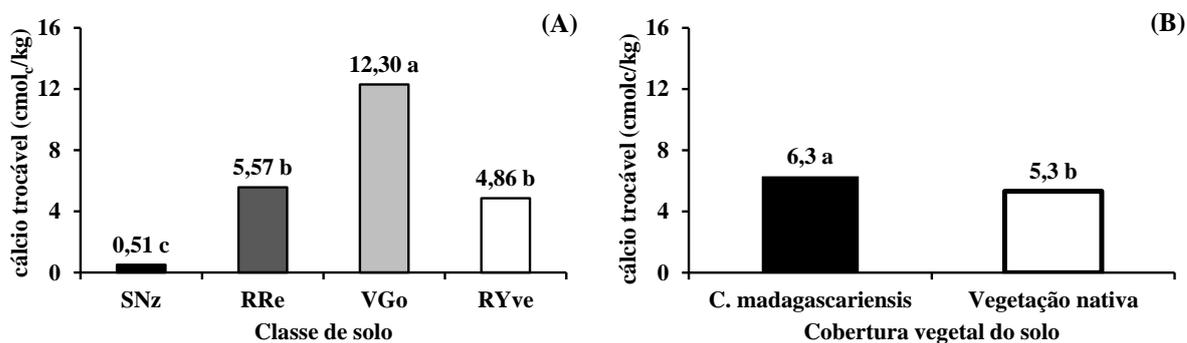


Figura 6. Teores de cálcio trocável para as classes de solo (A) e cobertura vegetal (B). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O cálcio tem muitos efeitos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas (TAIZ e ZEIGER, 2013). Sabe-se que cálcio é essencial para manter a integridade estrutural das membranas e das paredes celulares e sua necessidade aumenta com o crescimento da planta (MALAVOLTA et al., 1997). A maior parte do cálcio no tecido vegetal está localizada nas paredes celulares e um aumento na concentração de Ca^{2+} na solução externa leva a um aumento no conteúdo de cálcio nas folhas, podendo retornar ao solo através do processo de mineralização da matéria orgânica (VITTI et al., 2006).

Magnésio trocável

Efeito significativo quanto aos teores de magnésio foram encontrados apenas em relação às classes de solo (Figura 7), sendo o Vertissolo aquele que apresentou maior valor, $12,75 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Este cátion está presente no solo na forma iônica Mg^{2+} , em solução e como cátion trocável. Além disso, participa da estrutura de micas e minerais de argila do tipo 2:1, encontrados em solos menos intemperizados. O Mg aparece no solo como minerais primários (piroxênios, anfibólios, olivina, turmalina), carbonatos (dolomita) e sulfatos (epsomita), minerais secundários (montmorilonita, illita e clorita) mediante substituição do Al octaédrico; matéria orgânica e minerais ferromagnesianos facilmente intemperizados, além disso, elevados teores de magnésio podem estar relacionados a condições de má drenagem, (VITTI et al., 2006).

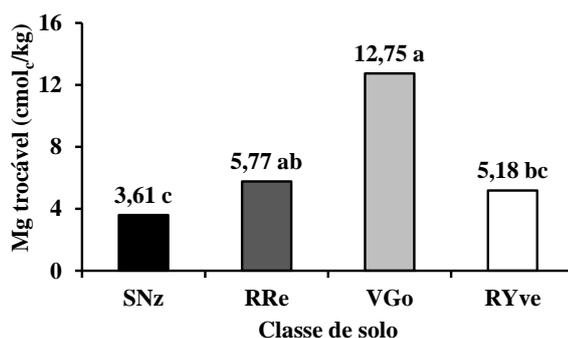


Figura 7. Teores de magnésio (Mg) trocável das classes de solo Planossolo Háplico (SNz), Neossolo Regolítico (RRe), Vertissolo Hidromórfico (VGo) e Neossolo Flúvico (RYve). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Potássio trocável

A análise de variância revelou efeito significativo da interação classe de solo x cobertura vegetal x profundidade, conforme pode ser observado na tabela 4, mostrando a grande variabilidade deste elemento no solo. Observa-se uma tendência de decréscimo com o aumento da profundidade, sendo os maiores teores encontrados de 0-5 cm. O maior e o menor teor do elemento foi constatado na profundidade de 0-5 cm no ambiente invadido do Neossolo Regolítico e na profundidade de 20-30 do ambiente invadido do Planossolo. De acordo com Sampaio et al. (2003), a serrapilheira é uma forma de transferência de nutrientes, conforme constataram Vital et al. (2004). O potássio trocável é a fonte mais importante na nutrição vegetal, visto que restitui rapidamente o potássio retirado da solução do solo pelas plantas ou perdido por lixiviação (ERNANI et al., 2007).

Tabela 4. Teores de potássio em função de classes de solo, cobertura vegetal e profundidade.

Profundidade (cm)	Classe de solo/Cobertura vegetal do solo															
	Planossolo Háplico				Neossolo Regolítico				Vertissolo Hidromórfico				Neossolo Flúvico			
	I		NI		I		NI		I		NI		I		NI	
	mg/kg															
0-5	16,70	A a $\alpha\beta$	4,00	A b β	20,67	A a $\alpha\beta$	9,54	A b β	25,23	A a α	21,71	A a α	12,92	A a β	10,94	A a β
5-10	4,55	B a χ	1,49	A a β	15,33	AB a $\alpha\beta$	8,68	A a β	25,05	A a α	23,26	A a α	12,54	A a $\beta\chi$	5,87	A a β
10-20	4,05	B a β	1,35	A a β	10,58	B a β	8,24	A a β	25,78	A a α	25,46	A a α	13,01	A a β	5,80	A b β
20-30	3,96	B a β	1,33	A a β	9,45	B a β	9,17	A a β	28,52	A a α	27,26	A a α	10,76	A a β	9,42	A a β

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras romanas maiúsculas na coluna comparam as profundidades dentro de cobertura vegetal e classe de solo; letras romanas minúsculas na linha comparam as coberturas em cada classe de solo dentro de profundidade; letras gregas na linha comparam a mesma cobertura vegetal nas diferentes classes de solo dentro de cada profundidade; I = Ambiente invadido por *C. madagascariensis*; NI = Não invadido (vegetação nativa).

Soma de Bases

Para a soma de bases (SB), as classes de solo foram estatisticamente distintas, de fato são devido a gênese de cada tipo de solo (AMARO FILHO et al., 2008), destacando a supremacia do Vertissolo, com $25,28 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ (Figura 8A), bem como, os ambientes ocupados pela invasora, que superaram em 37,8% os ambientes onde habitam as plantas nativas (Figura 8B). Não foram encontradas diferenças entre as profundidades (Figura 8C), mostrando que até os 30 cm existe uma distribuição ligeiramente uniforme deste parâmetro.

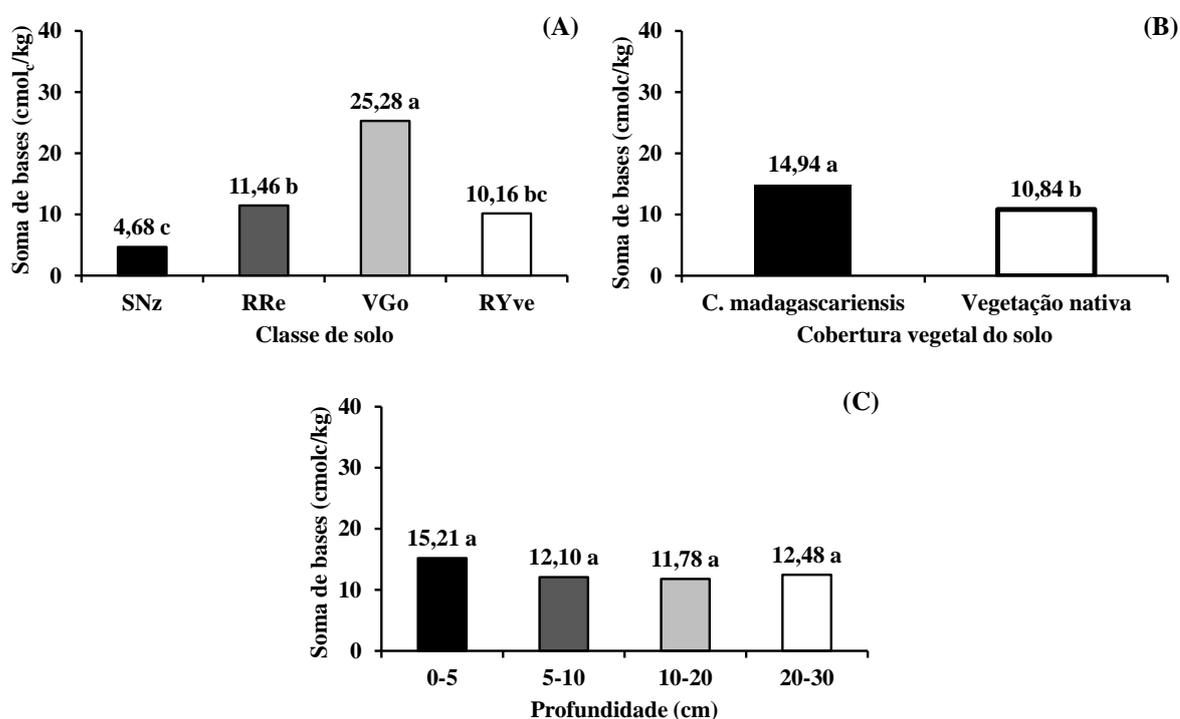


Figura 8. Soma de bases das classes de solo (A), cobertura vegetal (B) e profundidade (C). SXz = Planossolo Háptico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CTC Efetiva

Efeito significativo da CTC efetiva foi obtido para os fatores principais classe de solo, e cobertura vegetal (Figura 9). Para as classes de solo, em ordem decrescente tem-se o Vertissolo > Neossolo Regolítico > Neossolo Flúvico > Planossolo, cujos valores foram 25,3; 11,5; 10,2 e 4,7 $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, respectivamente (Figura 9A). Apesar da CTC está diretamente

relacionada com a textura e com o teor de matéria orgânica do solo, observa-se que neste caso, a fração argila é a principal responsável pelas cargas negativas no Vertissolo, o que pode ser confirmado pela forte e positiva correlação igual a 0,83, e pela fração areia no Planossolo Háplico, que apresentou correlação de -0,79, em ambos os casos bastante superior àquela constatada para a matéria orgânica (MOS), que revelou uma correlação de 0,38 (Tabela 5), evidenciando, que a matéria orgânica nos ambientes invadidos, além de fonte de nutrientes, pode estar atuando principalmente como condicionador físico do solo.

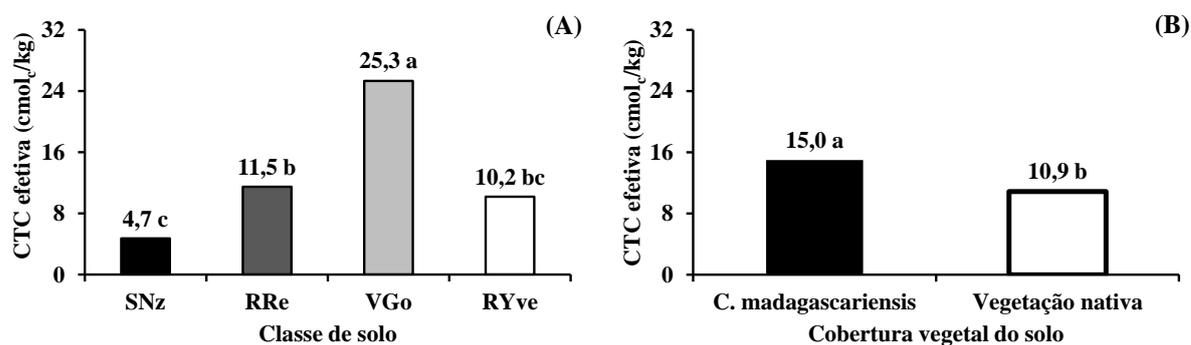


Figura 9. CTC efetiva para as classes de solo (A) e cobertura vegetal (B). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Correlação de Pearson entre os atributos matéria orgânica do solo (MOS), areia total (Areia) e argila total (Argila) e a capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe).

	CTCe
MOS	0,38*
Areia	-0,79*
Argila	0,83*

* = Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Saturação por Bases (Valor V)

Para a saturação por bases, que representa a participação de bases trocáveis em relação ao total de cátions no complexo, todos os solos foram eutróficos, sendo o Vertissolo o que apresentou maior valor V (93,5%), mostrando-se significativamente diferente das demais classes de solos estudadas, Figura 10A. Foi possível constatar que os ambientes ocupados pela invasora expressam maior saturação por bases trocáveis, alcançando valor V de 83,6%,

conforme observado na Figura 10B. A percentagem de saturação por bases está relacionada com o nível de fertilidade do solo. Solos com baixo Valor V apresentam maior adsorção de Al^{3+} e H^+ e quantidades menores dos cátions básicos Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , adsorvidos nos coloides do solo.

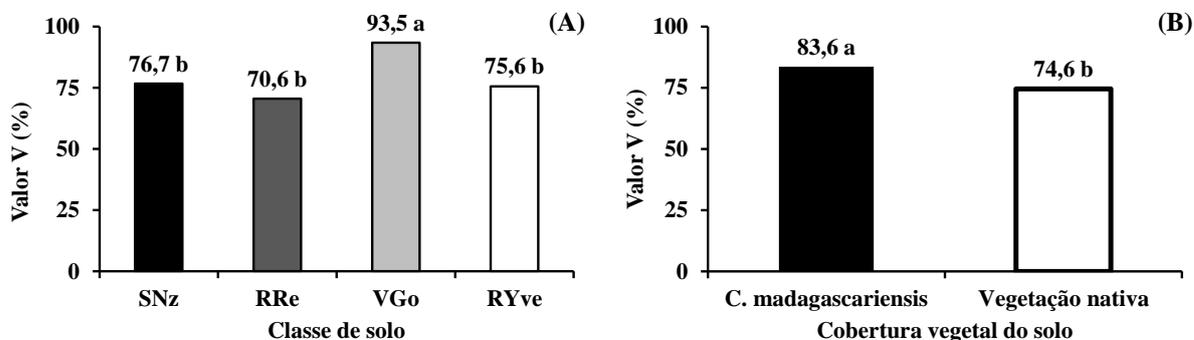


Figura 10. Saturação por bases (Valor V) para as classes de solo (A) e cobertura vegetal (B). SXz = Planossolo Háptico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Saturação por Alumínio (Valor m%)

A saturação por alumínio foi maior no Planossolo, alcançando 2,9%, provavelmente pelo baixo pH deste solo, cujo valor foi de 5,21 (Figura 10), que pode favorecer a prevalência do alumínio no complexo sortivo em relação aos outros cátions do solo.

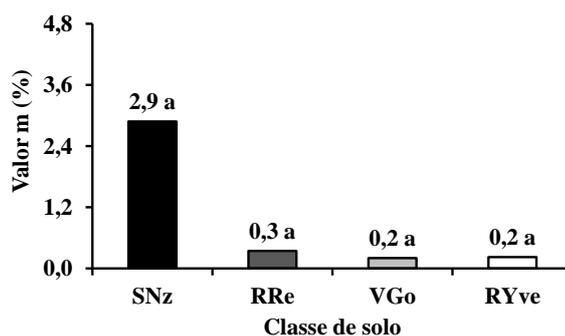


Figura 11. Saturação por alumínio (Valor m%) das diferentes classes de solos estudadas. SXz = Planossolo Háptico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

nutritivo; por outro lado, o excesso de sais e sódio no solo proporciona alterações químicas e físicas no solo, os quais em última instância se refletem no comportamento das espécies vegetais (QADIR et al., 2007; HAZEGAWA et al., 2000; TAIZ e ZEIGER, 2013).

Condutividade Elétrica do Extrato de Saturação (CEes)

Para a CEes houve efeito significativo da interação classe de solo x cobertura vegetal x profundidade. É possível observar na Tabela 7 que a invasora foi capaz de se estabelecer sobre um ambiente edáfico altamente salino, cujos valores alcançaram os 22 dS.m⁻¹ na profundidade de 0-5 cm. Apesar da salinidade reduzir o crescimento das plantas em razão do acúmulo de sais tóxicos de vários íons e da redução do potencial osmótico da solução do solo, que restringe a absorção de água pelas plantas (FAROOQ et al., 2010; NIVAS et al., 2011), *C. madagascariensis* foi capaz de se integrar a este ambiente que é adverso para a maioria das plantas.

Na ocasião, *C. madagascariensis* possui características que permitem seu crescimento nestes ambientes, cuja presença pode estar associada à oportunidade de nicho (MATOS e PIVELLO, 2009), já que nem todas as plantas são igualmente afetadas pelo mesmo nível de sais, algumas são mais tolerantes que outras e podem extrair água com mais facilidade sob condições adversas de salinidade (DIAS e BLANCO, 2010).

Tabela 7. Condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) do solo por classe de solo, cobertura vegetal e profundidade.

Profundidade (cm)	Classe de solo/Cobertura vegetal do solo															
	Planossolo Háptico				Neossolo Regolítico				Vertissolo Hidromórfico				Neossolo Flúvico			
	I		NI		I		NI		I		NI		I	NI		
	dS.m ⁻¹															
0-5	22,06	A a α	4,95	A b α	0,61	A a β	0,84	A β	0,63	A a β	0,34	A a β	1,24	A a β	1,20	A a β
5-10	14,11	B a α	1,80	B b α	0,43	A a β	0,43	A α	0,49	A a β	0,16	A a α	0,99	A a β	0,26	A a α
10-20	10,31	C a α	1,38	B b α	0,39	A a β	0,35	A α	0,82	A a β	0,25	A a α	1,20	A a β	0,53	A a α
20-30	11,73	BC a α	1,83	B b α	0,37	A a β	0,38	A α	1,59	A a β	0,51	A a α	1,46	A a β	0,30	A a α

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras romanas maiúsculas na coluna comparam as profundidades dentro de cobertura vegetal e classe de solo; letras romanas minúsculas na linha comparam as coberturas em cada classe de solo dentro de profundidade; letras gregas na linha comparam a mesma cobertura vegetal nas diferentes classes de solo dentro de cada profundidade; SXz = Planossolo Háptico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. I = Ambiente invadido; NI = Não invadido.

4. CONCLUSÃO

Existe alta variabilidade dos atributos químicos do solos, tanto onde encontra-se *C. madagascariensis*, bem como, nos solos sob a vegetação nativa. Os baixos teores de fósforo podem indicar que *C. madagascariensis* é uma espécie extratora desse elemento e, o fato de *C. madagascariensis* encontrar-se estabelecida em solo salino, revela a tolerância da espécie a ambientes afetados por sais, talvez devido a alguns ajustes fisiológicos, demonstrando a ampla capacidade adaptativa do táxon, que pode desenvolver-se sob distintas condições edáficas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N. ; MOTA, J. C. A. Estrutura do solo. In: _____. **Física do solo: conceitos e aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008b. cap. 5. p. 107-133.

ANDRADE, L. A. **Plantas Invasoras: espécies exóticas invasoras da caatinga e ecossistemas associados**. 1ª Edição. Epgraf. Campina Grande. 2013. 100p.

ANDRADE, L. A.; FABRICANTE, J. R.; OLIVEIRA, F. X. Impactos da invasão de *Prosopis juliflora* (sw.) DC. (Fabaceae) sobre o estrato arbustivo-arbóreo em áreas de Caatinga no estado da Paraíba. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 32, n. 3, p. 249-255, 2010.

ANSELMO, G. C; CARNEIRO, L. A; NASCIMENTO, C. A; BRITO, C. B. M; COELHO, I. M. A; BONILLA, O. H. Estudo de fitoinvasores cearenses. 62ª reunião anual da SBPC, **Ciências do Mar: herança para o futuro**. ISSN: 2176-1221. 2010.

BRASIL. Ministério de Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisas Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento exploratório-reconhecimento dos solos do estado do Ceará**. Recife, 1973. 2v. (Boletim Técnico, 28), (Brasil, SUDENE – DRN. Divisão de Agrologia – Série Pedologia, 16).

BORGES, A. L.; KIEHL, J. C.; SOUZA, L. S. Alteração de propriedades físicas e atividade microbiana de um latossolo amarelo álico após o cultivo com fruteiras perenes e mandioca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p.1019-1025. 1999.

BUCK, J. R.; CLAIR, S. B. S. Aspen Increase Soil Moisture, Nutrients, Organic Matter and Respiration in Rocky Mountain Forest Communities. **Plos One**, v. 7, n. 12, p. 1-6, 2012.

CARVALHO, I. V.; MESQUITA, A. A.; SANTOS, P. G. L.; SANTOS, J. S. Densidade de potencial eólico nas diferentes regiões do estado. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 5, p.1317 – 1327, 2012.

COLOZZI FILHO, A.; BALOTA, E. L.; ANDRADE, D. de S. Microrganismos e processos biológicos no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas: Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 487 - 508.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L.; CAMARGO, F. A. O. (org.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 137 - 158.

DELHAIZE, E.; RYAN, P.R. Aluminium toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiology**, v. 107, p. 315-321, 1995.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura**. Fortaleza, INCTSal, Parte III, 2010. p. 130-140.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro. 2013. 353p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS R. F.; ALVAREZ V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007, p. 551-594.

FABRICANTE, J. R. **Plantas exóticas e exóticas invasoras da caatinga**. 1 ed. Florianópolis: Bookess, v.1, 2013. 51p.

FABRICANTE, J. R.; ARAÚJO, K. C. T.; ANDRADE, L. A.; FERREIRA, J. V. A. Invasão biológica de *Artocarpus heterophyllus* Lam. (Moraceae) em um fragmento de Mata Atlântica no Nordeste do Brasil: impactos sobre a biodiversidade e os solos dos sítios invadidos. **Acta Botânica Brasilica**, v. 26, n. 2, p.399-407. 2012.

FAROOQ, H.; BATOOL, N.; IQBAL, J.; NOUMAN, W. Effect of Salinity and Municipal Wastewater on Growth Performance and Nutrient Composition of *Acacia nilotica*. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 12, n. 4, p. 591-596, 2010.

HASEGAWA, P. M. BRESSAN, R. A.; ZHU, J.; BOHNERT, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.51, p.463-499, 2000.

HINSINGER, P.; PLASSARD, C.; TANG, C. & JAILLARD, B. Origins of root-induced pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review. **Plant Soil**, v. 248, p. 43-59, 2003.

IPECE (2014a) **Perfil Básico Municipal de Ibarretama**. Fortaleza: IPECE, 2014. 17 p. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2014/Ibaretama.pdf. Acesso em: 25 de setembro de 2015.

IPECE (2014b) **Perfil Básico Municipal de Quixadá**. Fortaleza: IPECE, 2014. 17 p. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2011/Quixada.pdf. Acesso em: 25 de setembro de 2015.

KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminium toxicity and resistance in plant. **Plant Physiology Plant Molecular Biology**, v. 46, p. 237-260, 1995.

LIAO, C. Z.; PENG, R. H.; LUO, Y. Q.; ZHOU, X. H.; WU, X. W.; FANG, C. M.; CHEN, J. K.; LI, B. Altered ecosystem carbon and nitrogen cycles by plant invasion: a meta-analysis. **New Phytologist**, v. 177, p. 706 - 714, 2008.

MAGID, J.; TIESSEN, H. CONDRON, L. M. **Dynamics of organic phosphorus in soils under natural and agricultural ecosystems**. In: PICCOLO, A., ed. Humic substances in terrestrial ecosystems. Amsterdam, Elsevier, 1996. p.429-466.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba, Potafos, 1997. 319 p.

MATOS, D. M. S.; PIVELLO, V. R. O impacto das plantas invasoras nos recursos naturais de ambientes terrestres - alguns casos brasileiros. **Ciência e Cultura**. São Paulo, v.61, n.1, 2009.

MELO, R. S. S. **Caracterização edáfica e fisiográfica de sítios ocupados por *Prosopis juliflora* (sw.) DC. em domínio do semiárido**. Areia, 2014. 84f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba.

MEURER, E.J., ed. **Fundamentos de química do solo**. 3.ed. Porto Alegre, Evangraf, 2006. 285p.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, A. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, v. 24, p. 11-30, 2010.

NIVAS, D.; GAIKWAD, D. K.; CHAVAN, P. D. Physiological responses of two Morinda species under saline conditions. **América Journal of Plant Physiology**, p. 1- 10, 2011.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-537

PAULA, R. K.; **Cenários de balanço hídrico no Ceará decorrentes de mudanças climáticas**. Campina Grande, 2011. 65f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande.

QADIR, M. OSTER, J. D.; SCHUBERT, S.; NOBLE, A. D.; SAHRAWAT, K. L. Phytoremediation of Sodic and Saline-Sodic Soils. **Advances in Agronomy**, v.96, p.197-247, 2007.

RHEINHEIMER, D.S; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, n.15/16, p.2339-2354, 2003.

RICHARDS, L. A. **Diagnostico y rehabilitacion de suelos salinos y sódicos**. Mexico: USDA, 1954. 174 p. (Manual de Agricultura, 60).

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Efeito da adição de nitrogênio e palha-14C na liberação de CO₂ e formação de biomassa microbiana em latossolo vermelho amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 6, p. 177-181, 1982.

SANTOS, J. B.; CURY, J. P. Picão-preto: uma planta daninha especial em solos tropicais. **Planta Daninha**, v. 29, p. 1159-1171, 2011.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT: user's guide version 9.2** (software). Cary. 2008.

SCOTT, N. A.; SAGGAR, S.; MCINTOSH, P. D. Biogeochemical impact of Hieracium invasion in New Zealand's grazed tussock grasslands: sustainability implications. **Ecological Applications**, v. 11, p. 1311-1322, 2001.

SILVEIRA, M. "Ecological aspects of bamboo-dominated forest in southwestern amazonia: an ethnoscience perspective". **Ecotropica**, v. 5, p. 213-216, 1999.

SNYDER, J. D.; TROFYMOW, J. A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure of determining organic and inorganic carbon in plant and soil samples, *Cmm. Soil Sci. Plant Anal*, v. 15, p. 587-597, 1984.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

VITAL, A. R. T; GUERRINI, I. A.; FRANKEN, W. K.; FONSECA, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, v.28, n.6, p.793-800, 2004.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-325.

ZILLER, S.R. Plantas exóticas invasoras: a ameaça da contaminação biológica. Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas e da Auto-sustentabilidade (Ideas) PR. **Ciência Hoje**, v.30, n.178, p.77-79, 2001.

ZILLER, S. R. **A estepe Gramínio-lenhosa no segundo Planalto do Paraná**: diagnóstico ambiental com enfoque à contaminação biológica. Tese de doutoramento. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2000, 268p.

CAPÍTULO IV

**ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DE SOLOS INVADIDOS POR *Cryptostegia*
madagascariensis Bojer ex. Decne. NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DO CEARÁ**

**ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DE SOLOS INVADIDOS POR *Cryptostegia
madagascariensis* BOJER EX. DECNE. NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DO CEARÁ**

RESUMO

O processo de invasão biológica constitui uma ameaça à biodiversidade nativa em todo o mundo e as alterações do ambiente provocadas pelo fenômeno pela ação de plantas exóticas invasoras podem afetar a microbiota do solo. Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido com objetivo de caracterizar parâmetros biológicos de solos invadidos por *C. madagascariensis* no estado do Ceará, visando identificar condições específicas que estejam relacionadas com a presença da invasora. Amostras de solos foram coletadas em quatro classes de solo: Planossolo Háptico, Neossolo Regolítico, Vertissolo Hidromórfico e Neossolo Flúvico, sendo cada classe constituída por dois ambientes, um invadido por *C. madagascariensis*, denominado ambiente invadido e outro ocupado pela vegetação nativa, denominado ambiente não invadido. Em cada ambiente foram obtidas amostras compostas de solo em quatro profundidades (0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm), nas quais se analisou as seguintes variáveis: densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, bactérias totais cultiváveis, fungos totais cultiváveis, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico e microbiano e carbono orgânico total. Os dados foram submetidos à análise de variância em parcela subdividida. As classes de solo foram estudadas na parcela, os ambientes (invadido e não invadido) na subparcela e, na subsubparcela foram estudadas as profundidades. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Observou-se que a densidade de populações de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) foi maior no Planossolo Háptico, alcançando 2.626 esporos.kg⁻¹ de solo. Esta classe também apresentou quantidades inferiores de populações de bactérias totais. Os ambientes invadidos apresentam maiores valores de populações de fungos totais, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico e carbono orgânico total. O quociente microbiano foi maior nos ambientes de vegetação nativa. Os atributos microbiológicos não expressam relação com a presença de *C. madagascariensis*, demonstrando poucas diferenças entre os ambos invadidos e não invadidos apesar do incremento de carbono promovido pelo táxon.

Palavras-chave: Biodiversidade, Invasão biológica, Planta ornamental, Nordeste.

**SOIL BIOLOGICAL ATTRIBUTES INVADED BY *Cryptostegia madagascariensis*
Bojer ex. Decne. IN THE SEMIARID OF THE CEARÁ STATE**

ABSTRACT

The biological invasion process is a threat to native biodiversity around the world and changes in the environment caused by the action of invasive alien plants can affect the soil microbiota. In this sense, this work was developed with the objective of characterizing biological parameters of soils invaded by *C. madagascariensis* in the state of Ceará, in order to identify specific conditions that are related to the presence of the invader. Soil samples were collected in four soil classes: Planossolo Háplico, Neossolo Regolítico, Vertissolo Hidromórfico e Neossolo Flúvico, each class consisting of two environments, one invaded by *C. madagascariensis*, called the invaded environment and the other one occupied by the native vegetation, called the environment not invaded. In each environment, soil samples were obtained at four depths (0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm), in which the following variables were analyzed: arbuscular mycorrhizal fungus density, total cultivable bacteria, Total cultivable fungi, microbial biomass carbon, metabolic and microbial quotient, and total organic carbon. Data were submitted to analysis of variance in a sub - divided plot. The soil classes were studied in the plot, the environments (invaded and not invaded) in the subplot and, in the subsub-plot the depths were studied. The means were compared by the Tukey test at 5% probability. It was observed that the population density of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) was higher in Planossolo Háplico, reaching 2,626 spores.kg⁻¹ of soil. This class also showed lower amounts of populations of bacterial species. The invaded environments present higher values of total fungi populations, microbial biomass carbon, metabolic quotient and total organic carbon. The microbial quotient was higher in native vegetation environments. The microbiological attests do not express a relation with the presence of *C. madagascariensis*, showing few differences between the two invaded and not invaded despite the carbon increment promoted by the taxon.

Keywords: Biodiversity, Biological invasion, ornamental plant; Brazilian Northeast.

1. INTRODUÇÃO

A invasão biológica é uma ameaça à biodiversidade nativa em todo o mundo, onde a substituição de espécies nativas por exóticas, a “poluição genética” devida à criação de híbridos e à perda de pools gênicos, alterações no funcionamento dos ecossistemas, além de grandes perdas econômicas, são algumas das principais consequências deste fenômeno (NOVACEK e CLELAND, 2001; PETENON e PIVELLO, 2008, ZENNI e ZILLER, 2011).

De acordo com a Convenção sobre Diversidade Biológica - CDB, espécies exóticas invasoras são organismos que, introduzidos fora da sua área de distribuição natural, ameaçam ecossistemas, habitats ou outras espécies. Estes organismos possuem elevado potencial de dispersão, de colonização e de dominação dos ambientes invadidos, criando, em decorrência desse processo, pressão sobre as espécies nativas e até sua própria exclusão.

Países como Nova Zelândia, Austrália, Estados Unidos, África do Sul e Ilhas do Pacífico são as regiões que se destacam pelo elevado número de espécies exóticas (RICHARDSON e REJMÁNEK, 2011). No Brasil, há 117 espécies de plantas exóticas reconhecidas como estabelecidas e um número desconhecido de plantas introduzidas no país, principalmente como ornamentais, atingindo, pelo menos, 103 Unidades de Conservação espalhadas por 17 estados e pelo Distrito Federal (ZENNI e ZILLER, 2011).

A intensificação da atividade humana como agente de dispersão e introdução de espécies, está intimamente vinculada à crescente facilidade de seu deslocamento entre as diferentes regiões do mundo e ao transporte de mercadorias e organismos, pelos mais diversos meios de transporte (MCNELLY, 2006). Apesar disso, o sucesso de uma invasão depende de muitos fatores, como a amplitude geográfica do invasor, abundância do invasor na fase de chegada (“Propagule pressure”), características genéticas e fenotípicas, bem como a associação entre estes e o meio ambiente (WILLIAMSON e FITTER, 1996).

No caso das plantas, são frequentes causas de invasão biológica o revolvimento ou a fertilização do solo, alterações microclimáticas, ou ainda, a eliminação de espécies indesejáveis, deixando oportunidades de nicho a outras (MATOS e PIVELLO, 2009). Provavelmente, perturbações do ambiente possam ter favorecido a introdução e o estabelecimento de populações da planta invasora *Cryptostegia madagascariensis* no Nordeste brasileiro.

A espécie invasora *C. madagascariensis*, conhecida popularmente como margarida, viúva-alegre ou trepadeira, é uma Apocynaceae arbustiva originária do continente Africano, mais especificadamente da ilha de Madagáscar (MAROHASY e FORSTER, 1991;

KRITICOS et al., 2003). Esta exótica pode ser encontrada na região Nordeste, especificamente no estado do Ceará, ocupando ambientes alterados, alagadiços e áreas de matas ciliares, onde ela forma maciços populacionais de alta densidade, que dificultam ou impedem o recrutamento de espécies locais por limitação de recursos, bem como o acesso de pessoas e animais de médio e grande porte (ANSELMO et al., 2010; ANDRADE, 2013).

Plantas e organismos do solo são altamente interdependentes, a planta fornece carbono que impulsiona a cadeia alimentar abaixo do solo, beneficiando direta ou indiretamente os organismos do solo, que por outro lado, afetam direta e indiretamente o crescimento das plantas. Portanto, a presença de uma determinada planta altera a composição da comunidade solo, bem como, a composição da comunidade do solo muda devido a presença de determinada planta, causando um feedback entre a composição da comunidade abaixo do solo e taxa de crescimento da planta (PIROZYNSKI e MALLOCH, 1975; REDECKER et al., 2000; BEVER, 2003).

Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido com objetivo de caracterizar parâmetros biológicos de solos invadidos por *C. madagascariensis* no estado do Ceará, visando identificar condições específicas que estejam relacionadas com a presença da invasora.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização Áreas de Estudo

As quatro áreas utilizadas para o estudo estão localizadas no estado do Ceará e pertencem aos municípios de Quixadá e Ibaretama (Tabela 1). Na área I predomina os Planossolos e está localizada a 29 km da sede da Cidade de Quixadá, seguindo pela rodovia CE – 265, ao lado direito, no sentido Quixadá-Ibicuitinga. Já na área II predomina os Neossolos Regolíticos, dista da sede 36,6 km, sendo encontrada a direita da rodovia 122 no sentido Quixadá-Triunfo. Nas áreas III e IV há um predomínio de Vertissolo e Neossolo Flúvico, as quais estão localizadas no município de Ibaretama e distam 8,4 e 14,2 km da sede do município, respectivamente. As coordenadas geográficas de cada área estão apresentadas na Tabela 1. As coordenadas geográficas de cada área estão apresentadas na. Os municípios estão inseridos na macrorregião do Sertão Central, mesorregião dos Sertões Cearenses, microrregião de Quixeramobim (IPECE, 2014a; 2014b).

Tabela 1. Coordenadas geográficas em UTM das áreas utilizadas no estudo.

ÁREAS	CLASSES DE SOLOS	Localização (UTM)	
		X	Y
I	Planossolo Háptico	526154,0	9454383,0
II	Neossolo Regolítico	526044,0	9472777,0
III	Vertissolo Hidromórfico	522274,5	9476590,0
IV	Neossolo Flúvico	527408,0	9476334,0

2.2. Aspectos Climáticos, Relevo, Geologia e Vegetação e Solos Utilizados no Estudo

O clima da região é caracterizado como tropical quente semiárido, com temperatura média entre 26 e 28 °C, tendo como período chuvoso os meses de janeiro a abril (IPECE, 2014a), podendo ser classificado segundo Köppen como BShw'. A altitude média é de 185 m, e de acordo com Carvalho et al. (2012), na região os ventos superficiais variam, nas alturas de 10 e 100 m, de 2,74 a 10,76 m.s⁻¹ respectivamente, com precipitação de 706 mm.ano⁻¹ e evapotranspiração em torno de 815 mm.ano⁻¹, segundo Paula (2011).

A região encontra-se sob o domínio do embasamento cristalino, que abrange toda a depressão sertaneja, apresenta relevo plano e suave ondulado. Geologicamente estas áreas são referidas na sua quase totalidade ao Pré-Cambriano Indiviso. São áreas resultantes de um sistema erosivo intenso, arrasando e modelando grandes extensões sob condições de clima

semiárido. Trata-se de um processo em que predomina o intemperismo físico, que atua desagregando as rochas mais superficiais durante o prolongado período seco, sendo estas massas desagregadas, posteriormente carregadas por enxurradas breves, de alto poder transportador. O intemperismo químico é um fator importante principalmente no curto período chuvoso (BRASIL, 1973). A vegetação predominante é composta por Caatinga Arbustiva Densa e Floresta Caducifólia Espinhosa (IPECE, 2014a; 2014b).

2.3. Caracterização Geral dos Ambientes Invadidos e Não Invadidos por *C. madagascariensis*

2.3.1. Área I

- ***Ambiente invadido*** – Caracterizado por apresentar populações de *C. madagascariensis* intercaladas por espaços ocupados por uma espécie de gramínea. O solo apresentava afloramento de sais e não foi relatado uso agrícola. Em época de boa estação chuvosa, o ambiente sofre alagamento. Moradores locais relatam que a espécie foi notada em meados década de 80.
- ***Ambiente não invadido (vegetação nativa)*** – Este ambiente, sem a presença da invasora, é constituído por gramíneas, arbustos e árvores nativas, com altura que variam de 3 a 8 m. Não foi relatado uso agrícola, embora, é praticado o extrativismo de madeira.

2.3.2. Área II

- ***Ambiente invadido*** – Este ambiente apresentava um maciço populacional de *C. madagascariensis* de 1,5 ha. O solo apresentava-se coberto por uma camada média de serrapilheira de 3,0 cm, a qual era composta exclusivamente por fitomassa da invasora. A área já foi utilizada para fins agrícolas (milho e feijão) sem o uso de adubação. A ausência de árvores mortas, galhos e tocos evidencia que esta Apocinaceae ou habita o local a bastante tempo ou determinada perturbação da área, como a retirada da vegetação nativa, possa ter favorecido seu estabelecimento no ambiente.

- ***Ambiente não invadido*** – Neste ambiente, a vegetação nativa exibia bem o caráter decíduo, prevalecia à presença de árvores e arbustos com formação de serapilheira. As plantas apresentavam espaçamento médio de 1,5 a 3,0 m com altura máxima em torno de 10 m. Não foi relatado uso agrícola, embora, é praticado o extrativismo vegetal.

2.3.3. Área III

- ***Ambiente invadido*** – Este ambiente sofreu corte raso a mais de quatro anos, a partir do qual se constatou o estabelecimento da invasora. Nota-se no local, poucas espécies arbustivo-arbóreas nativas, presença de indivíduos de carnaúba, *Copernicia prunifera* (Miler) H. E. Moore, bem como grupos de plantas da exótica formando pequenas populações e plantas isoladas da espécie invasora intercaladas por solo nu. Sazonalmente a área é alagada e quando não, sofre com pastejo extensivo de caprinos e bovinos.
- ***Ambiente não invadido*** – A vegetação é semelhante aos demais ambientes não invadidos das outras áreas, porém, apresenta árvores de maior porte e forma uma serrapilheira rala.

2.3.4. Área IV

- ***Ambiente invadido*** – A invasora ocupava o ambiente ciliar de um rio que corta a propriedade, no qual a vegetação foi retirada ao longo dos anos permitindo a entrada da invasora.
- ***Ambiente não invadido*** – Este ambiente sofre cortes esporádicos, ação da pecuária extensiva e encontrando-se adjacente ao ambiente invadido.

2.4. Escolha das Áreas e Divisão Espacial dos Ambientes Visando o Estudo Comparativo

A seleção das áreas foi feita a princípio pelo tipo de solo, de tal forma que cada tipo constituía uma das classes de solo supracitadas. Espacialmente, cada classe era composta por dois ambientes. Um caracterizado pela presença da vegetação nativa em aspecto preservado e outra constituída unicamente pela espécie invasora *C. madagascariensis*, conforme ilustra a Figura 6. A partir destes, foram tomadas as amostras de solo.

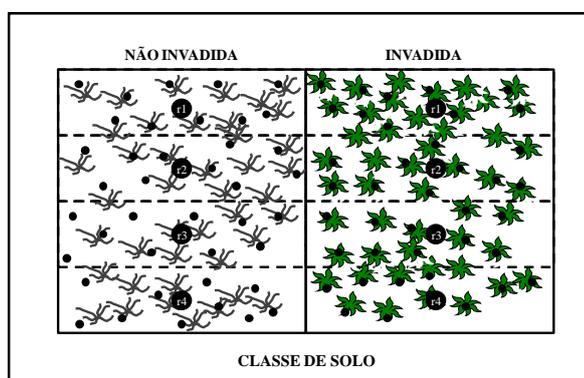


Figura 12. Layout esquemático das áreas selecionadas e do procedimento de amostragem do solo sob as coberturas vegetais de vegetação nativa e *C. madagascariensis*.  = planta nativa área não invadida;  = planta de *C. madagascariensis*; — — = Subdivisões da área; ● = Amostras simples; 10 = representação da obtenção de uma amostra composta por dez amostras simples.

2.5. Amostragem e Coleta dos Materiais de Solo e Preparo das Amostras

As amostras de solo foram coletadas nos ambientes invadidos e não invadidos, em quatro profundidades (0-5; 5-10, 10-20 e 20-30 cm) e em cada uma das quatro classes de solo selecionadas (Figura 7). Conforme ilustra a Figura 6, cada ambiente (invadido e não invadido) de cada classe de solo foi fracionado em função do relevo, cor do solo, mudança textural e outras possíveis variações constatadas visualmente no solo, dos quais foram obtidas dez amostras simples, que depois de homogeneizadas, formaram amostras compostas. As coletas foram realizadas em cada subdivisão de cada área. Frações iguais de solo foram retiradas em cada uma das profundidades supracitadas sob a copa das plantas a uma distância de 20 cm do caule. Após a coleta, as amostras compostas foram devidamente identificadas, acondicionadas em sacolas plásticas e mantidas refrigeradas em caixas de isopor contendo gelo.

2.6. Atributos Biológicos Analisados

2.6.1. Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Para a contagem de esporos de FMA foi empregado o método de peneiramento via úmido proposto por Gerdemann e Nicolson (1963), seguido de centrifugação e flutuação em sacarose.

2.6.2. Bactérias totais e fungos filamentosos cultiváveis (Bactot)

As populações de bactérias e fungos filamentosos foram determinadas por contagem indireta, estimando-se unidades formadoras de colônias (UFC) de amostras diluídas em série, de acordo com Pelczar (1996). A partir das suspensões diluídas até 10^{-5} foram retiradas alíquotas de 0,1 mL, e plaqueadas em Ágar Nutriente e Meio Martin para contagem de bactérias e fungos respectivamente. Foram preparadas três placas para cada diluição e cada amostra de solo. O número de UFC de bactérias e de fungos totais foi estimado após 24, 48 e 72 horas de incubação das placas, respectivamente, até não mais se observarem variações em população. As colônias foram contadas com auxílio de lupa (aumento de 6x).

2.6.3. Carbono da biomassa microbiana (Cbiomas)

A determinação da biomassa microbiana foi realizada conforme Jenkinson e Powlson (1976). As amostras de solo (20 g) tiveram seu teor de umidade elevado para 80% da capacidade de retenção de água, e as mesmas foram pré-incubadas, no escuro, por sete dias, a temperatura ambiente. A seguir, metade das amostras foi fumigada (F) por 48 horas em um dessecador contendo uma placa de Petri com 25 ml de clorofórmio livre de álcool. Neste período, as amostras não fumigadas (NF) foram mantidas à temperatura ambiente. Após a fumigação, as amostras F e NF foram transferidas para recipientes de vidro com tampas rosqueáveis e capacidade de 500 ml contendo um frasco contendo 10 ml de KOH $0,3 \text{ mol L}^{-1}$. As amostras foram então incubadas, no escuro, por 10 dias, à temperatura ambiente, sendo a quantidade de CO_2 liberado do solo determinada por titulação com HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ usando fenolftaleína 1% como indicador. A quantificação do carbono da biomassa microbiana realizada conforme Mendonça e Matos (2005).

2.6.4. Quociente metabólico (qCO₂)

O quociente metabólico do solo, obtido segundo Anderson e Domsch (1993), é um índice que expressa a taxa de respiração - μg C-CO₂ (ALEF e NANNIPIERI, 1995) por unidade de biomassa microbiana - μg CBM (VANCE et al., 1987).

$$qCO_2 = \left(\frac{\mu g C - CO_2}{\mu g CBM} \right)$$

2.6.5. Quociente microbiano (Qmic)

A partir dos resultados obtidos nas análises do CBM foi calculado o quociente microbiano, o qual relaciona o carbono da biomassa com o carbono orgânico total do solo (COT) e reflete a conversão de substratos orgânicos em carbono da biomassa microbiana (SPARLING, 1992).

$$Qmic = \left(\frac{CBM}{COT} \right)$$

2.6.6. Carbono Orgânico Total (COT)

O COT foi determinado pelo método de oxidação úmida-difusão (SNYDER E TROFYMOW, 1984) e a quantificação foi feita por titulação potenciométrica com HCl 0,25 mol L⁻¹, entre os pHs 8,3 e 3,7 (SAMPAIO e SALCEDO, 1982).

2.7. Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância em parcela subdividida conforme apresentado na Tabela 2. As classes de solos foram estudadas na parcela, as coberturas (área invadida e não invadida) na subparcela e, na subsubparcela foram estudadas as profundidades, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados foram analisados através do software estatístico SAS/STAT 9.2 (SAS Institute, 2008), utilizando o procedimento MIXED, com pseudorrepetições, considerando-as dentro de cada área e medidas repetidas no tempo para profundidade (BUCK e CLAIR, 2012).

Tabela 2. Esquema do quadro da análise de variância para os fatores: classes de solo, cobertura vegetal (nativa e *C. madagascariensis*) e profundidade.

FONTES DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE
Classes de solo (CS)	3
<i>Resíduo (a)</i>	12
Cobertura vegetal (Cob)	1
CS x Cob	3
<i>Resíduo (b)</i>	12
Profundidade (P)	3
P x CS	9
P x Cob	3
P x CS x Cob	9
<i>Resíduo (c)</i>	72
Total	127

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade de Esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares

Para a densidade de esporos, observa-se diferença estatística apenas entre as classes de solo (Figura 1). O Planossolo superou em 57%, 78,75% e 81,59% as classes Neossolo Regolítico, Vertissolo e Neossolo Flúvico, respectivamente.

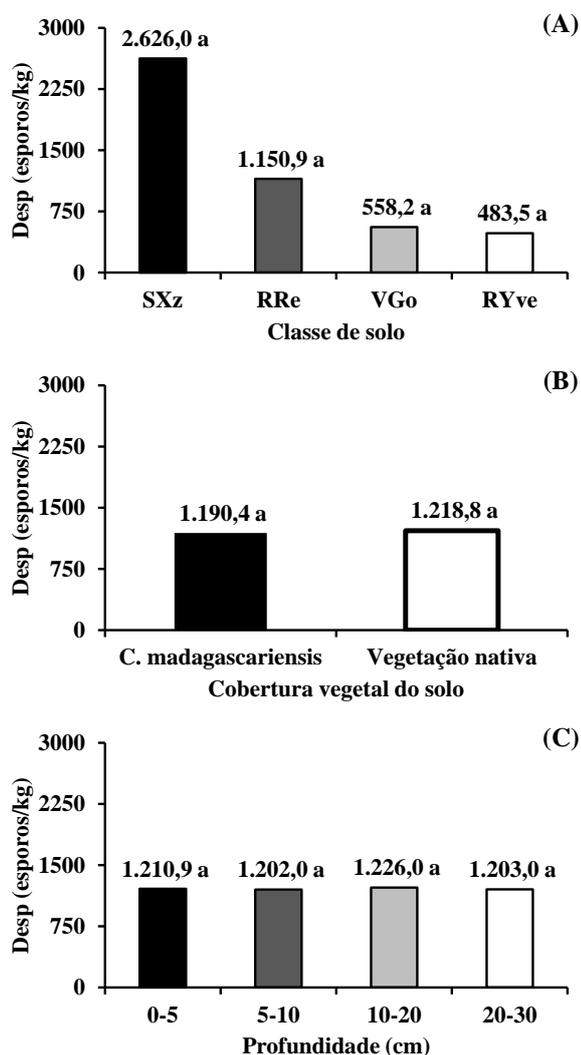


Figura 1. Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (Desp) em função das diferentes classes de solo (A), da cobertura vegetal (B) e das diferentes profundidades (C). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Sob diversas condições de estresse, a maioria das plantas superiores é colonizada por FMAs, beneficiando o seu crescimento. Assim, os FMAs são críticos no estabelecimento e adaptação das plantas em locais severamente perturbados, reduzindo as perdas por estresse (MUNIERLAMY et al., 2007; FOLLI-PEREIRA et al., 2012). Serrano-Carreón et al. (2015) verificaram que o aumento na pressão osmótica intensificou o crescimento miceliar.

Fungos micorrízicos arbusculares são formados por associações mutualísticas com cerca de 70% das famílias de plantas (BRUNDRETT, 2002), ocorrem tanto em ecossistemas naturais quanto em ecossistemas alterados (SYLVIA e CHELLEMI, 2002) em diferentes biomas (TRESSEDER e CROSS, 2006), e são fundamentais no sistema solo-planta, influenciando a fertilidade do solo e a nutrição de plantas (SMITH e READ, 2008; GOSLING et al., 2010). De acordo com Siqueira et al. (2010), a micorrização de plantas promove vantagens significativas para ambos os simbioss, com os fungos recebendo carboidratos das plantas e as plantas nutrientes absorvidos do solo.

Atividades microbianas são particularmente relevantes na interface raiz-solo, da rizosfera, onde os microrganismos interagem com as plantas e os constituintes do solo (GIRI et al., 2005; LAMBERS et al., 2009; DESSAUX et al., 2010). Entre os componentes mais ativos da microbiota do solo têm-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), responsáveis pelo estabelecimento de micorrizas com espécies de plantas vasculares de diversos ecossistemas terrestres (BAREA et al., 2008).

Yang et al. (2015) avaliando o crescimento da invasora *Triadica sebifera* L. com e sem salinidade, adubação e FMAs, constataram que planta invasora foi capaz de se desenvolver em ambientes salinos quando o solo apresentava alta fertilidade ou presença de FMAs. Segundo os autores, a importância da biota do solo parece ser maior em solos de baixa fertilidade, nos quais os FMA fornecem benefícios significativos.

Bactérias Totais Cultiváveis (Bactot)

De acordo com Figura 2A, as menores populações de bactérias totais foram obtidas no Planossolo, $2,82 \times 10^6$ UFC g⁻¹ de solo, que em termos percentuais corresponde a 25% a menos do que as populações das demais classes de solo. Não obstante, constata-se nas Figuras 2B e 2C que não houve diferença entre os ambientes e entre as profundidades, revelando a similaridade destes ambientes, ou ainda, que as diferenças neste atributo se dão devido a características inerentes as classes de solo, e não devido à influência da espécie exótica. De maneira geral estes resultados foram inferiores aos encontrados por Lima et al. (2014), os

quais obtiveram $5,0 \times 10^6$ UFC g^{-1} de solo em áreas de Caatinga do sudoeste do estado do Ceará. Deve-se ressaltar que as amostras foram coletadas no período de estiagem e as populações de microrganismo provavelmente foram bastante degradadas.

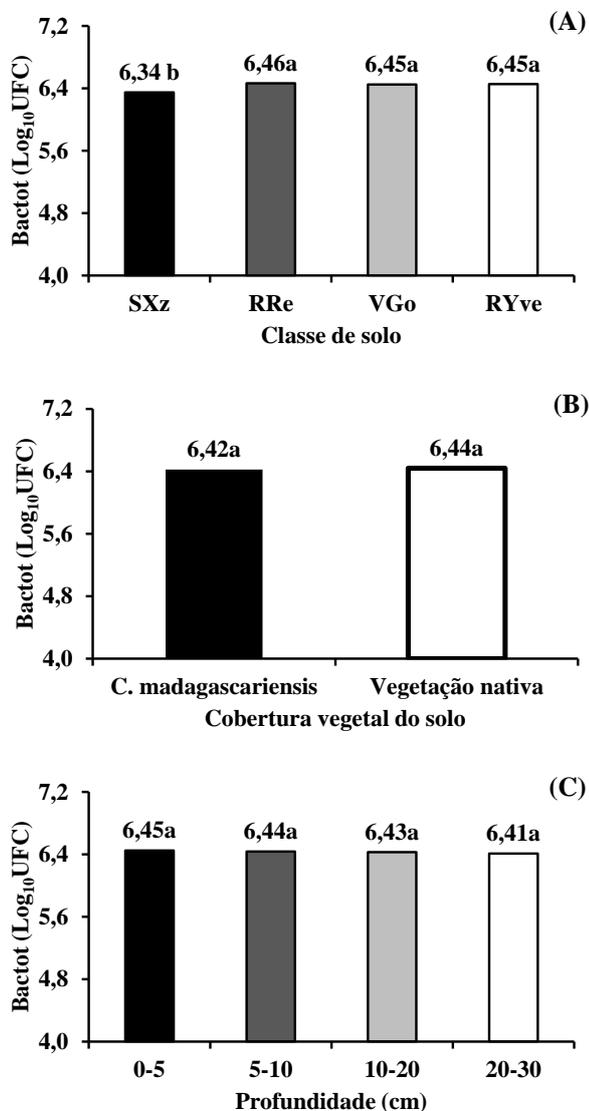


Figura 2. Bactérias totais por classe de solo (A) e cobertura vegetal (B) e profundidade do solo (C). Planossolo Háplico (SXz), Neossolo Regolítico (RRe), Vertissolo Hidromórfico (VGo) e Neossolo Flúvico (RYve). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fungos Totais Cultiváveis (Fungtot)

As populações de fungos totais não diferiram entre as classes de solo (Figura 3A), revelando significância apenas entre os ambientes e profundidades. Observa-se uma diferença de 5,64% entre os ambientes, com superioridade do ambiente invadido, $3,56 \times 10^6$ contra $3,37$

x 10^6 UFC.g⁻¹ (Figura 3B). Menores valores foram constatados na profundidade de 10-20 cm, que apresentou $3,1 \times 10^6$ UFC.g⁻¹ (Figura 3C). De acordo com Folli-Pereira et al. (2012), sob diversas condições de estresse, a maioria das plantas superiores é colonizada por FMAs, beneficiando o seu crescimento. Assim, os FMAs são cruciais no estabelecimento e adaptação das plantas em locais severamente perturbados reduzindo as perdas por estresse. Neste contexto, os maiores valores de populações de fungos totais em relação às de bactérias talvez se deva a capacidade dos fungos serem mais resistentes a ambientes estressantes (MAZZONI et al., 2012). No entanto, esses resultados são superiores aos observados por Lima et al. (2014), os quais obtiveram a média de $2,5 \times 10^4$ UFC.g⁻¹ na caatinga natural do estado do Ceará.

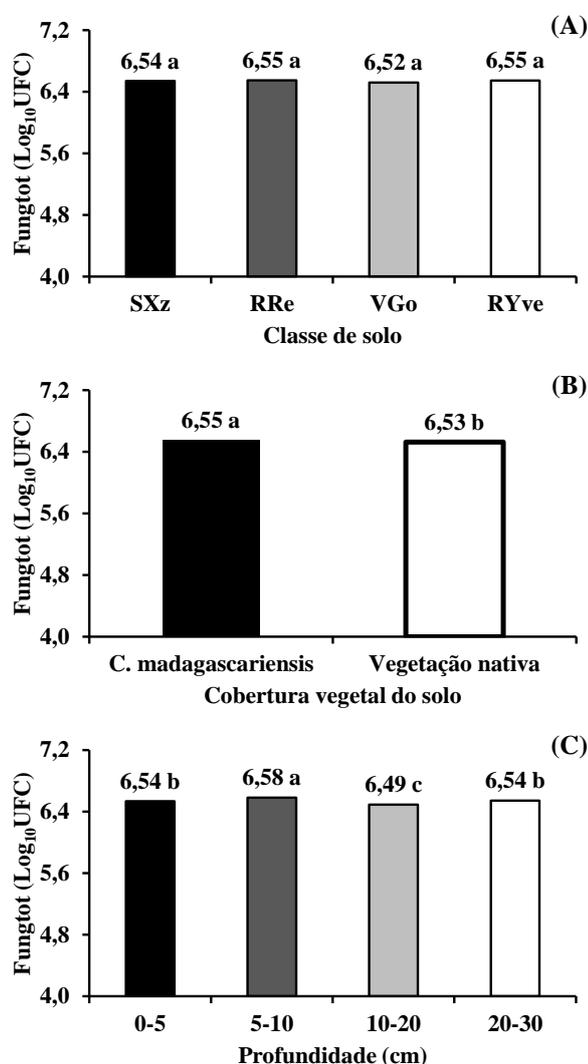


Figura 3. Populações de Fungos Totais em unidade formadora de colônia por classe de solo (A), Cobertura vegetal (B) e profundidades (C). Planossolo Háplico (SXz), Neossolo Regolítico (RRe), Vertissolo Hidromórfico (VGo) e Neossolo Flúvico (RYve). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Carbono da biomassa microbiana (CBM)

Os teores de carbono da biomassa microbiana foram maiores no Vertissolo Hidromórfico e menores no Neossolo Regolítico (Figura 4A). O ambiente invadido apresentou superioridade de 48% em relação ao ambiente nativo, 151,4 contra 102,3 mg.kg⁻¹ (Figura 4B), e em profundidade, a camada de 20-30 cm apresentou os maiores teores de CBM, 156,0 mg.kg⁻¹ (Figura 4C).

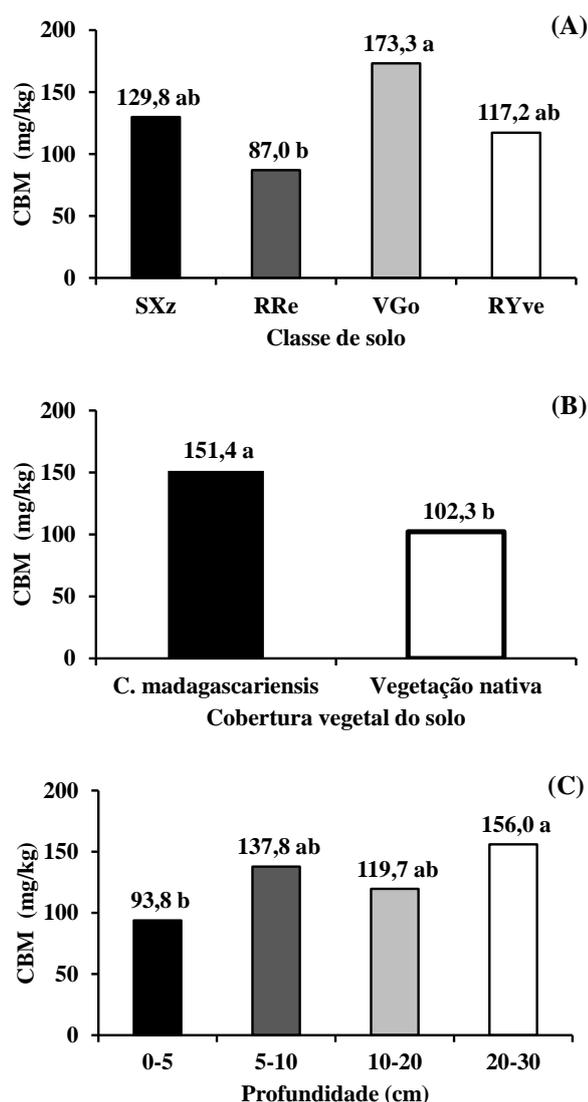


Figura 4. Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) das diferentes classes de solos (A), do tipo de cobertura vegetal (B). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A biomassa microbiana do solo é a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo (KASCHUK et al., 2009) e estes resultados podem estar relacionados ao maior conteúdo de água apresentado no Vertissolo e pelos ambientes invadidos, que afeta a atividade dos microrganismos (ALVES et al., 2011). Segundo Moreira e Siqueira (2006), os microrganismos do solo podem ser considerados aquáticos, pois necessitam de água para absorção de nutrientes e integridade da superfície celular.

Venzke Filho et al. (2008) mostraram que a quantidade e a composição da biomassa microbiana podem ser influenciadas por diversos fatores, entre eles o sistema de cultivo, a rotação de cultura e a textura do solo. Avaliando as alterações microbiológicas do solo sob cultivo do melão (*Cucumis melo* L.), em Cambissolo Háplico eutrófico, a fim de compará-los com os do solo da vegetação nativa (Caatinga), Lopez et al. (2012) observaram que o valor mais elevado de carbono da biomassa microbiana no solo, sob a mata natural, deve-se ao aporte contínuo e diversificado de matéria orgânica incorporada ao solo, principalmente via deposição pelas plantas.

Ferreira et al. (2007) mostraram que o teor de carbono da biomassa microbiana mantiveram-se significativamente maiores na profundidade de 0-10 cm de profundidade, independentemente das características das áreas estudadas. Matsuoka et al. (2003) estudando solos do Cerrado, obtiveram reduções nos teores do carbono da biomassa microbiana em profundidades, encontrando-se os seus maiores teores na camada superficial.

Quociente metabólico (qCO_2)

Para o quociente metabólico (qCO_2), as classes de solo, bem como os ambientes, não demonstraram diferenças (Figura 5A e B). No entanto, observou-se efeito significativamente em profundidade com supremacia da profundidade 0-5 cm, 0,0069 mg de C g⁻¹ CBM (Figura 5C), possivelmente devido maior condição de estresse hídrico que influencia na atividade dos microrganismos. De acordo com Anderson e Domsch (2010), valores mais baixos de qCO_2 estão relacionados a maior eficiência dos microrganismos na utilização do C orgânico. Em geral, um baixo qCO_2 reflete um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio, valores elevados são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio (TÓTOLA e CHAER, 2002). Comparando os ambientes invadidos e não invadidos, é possível deduzir que apesar da igualdade estatística, as populações da espécie invasora estão estabelecidas em ambientes ligeiramente mais estáveis.

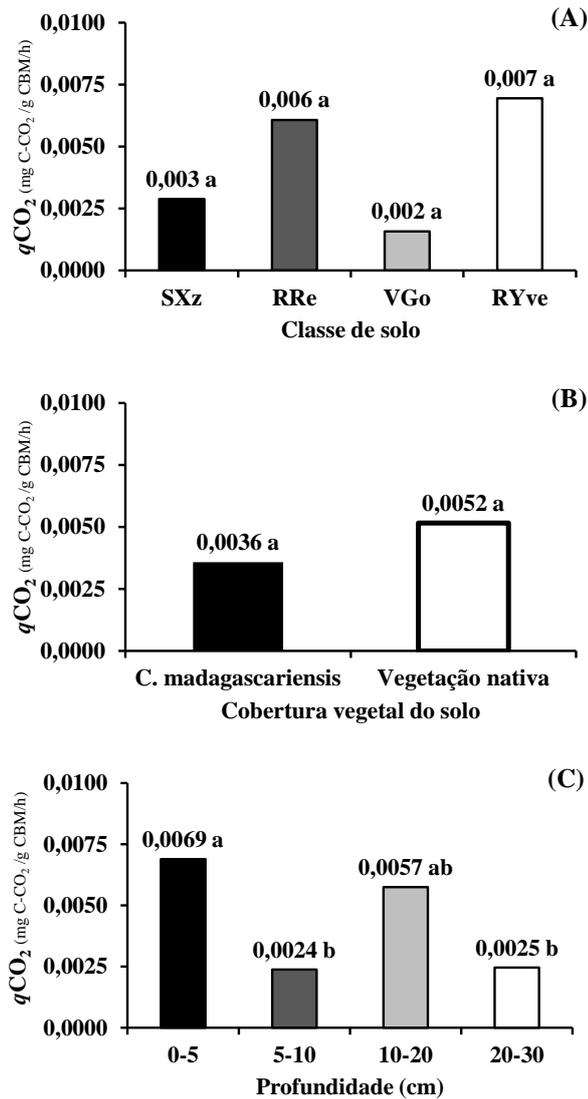


Figura 5. Quociente metabólico do solo nas diferentes classes de solo (A), cobertura vegetal (B) e profundidades (C). SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quociente microbiano (qMIC)

A análise de variância revelou efeito significativo para as interações classe de solo x cobertura vegetal, classe de solo x profundidade e profundidade x cobertura vegetal (Tabelas 3, 4 e 5). Na Tabela 3, nota-se os ambientes invadidos diferiram apenas nas classes SXz e RYve. Na Tabela 4, observa-se que os valores de qMIC variam em profundidade. Na Tabela

5, constatou-se que os valores de qMIC aumentam com a profundidade em ambos os ambientes, invadidos e não invadidos.

Tabela 3. Quociente Microbiano em função da classe de solo e cobertura vegetal.

Cobertura vegetal do solo	Classe de solo							
	SXz		RRe		VGo		RYve	
	mg C-CO ₂ /g CBM/h							
<i>C. madagascariensis</i>	5,72	A a	1,28	A c	3,53	A b	5,88	A a
Vegetação nativa	1,73	B a	1,84	A a	2,47	A a	3,22	B a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico.

Tabela 4. Quociente Microbiano em função da classe e profundidade do solo.

Profundidade (cm)	Classe de solo							
	SXz		RRe		VGo		RYve	
	mg C-CO ₂ /g CBM/h							
0-5	0,50	C a	0,86	B a	0,72	B a	1,05	C a
5-10	2,86	BC ab	0,78	B b	2,56	B ab	4,47	B a
10-20	5,60	AB a	0,34	B b	3,08	AB a	5,10	AB a
20-30	5,94	A ab	4,26	A b	5,65	A ab	7,59	A a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico.

Tabela 5. Quociente Microbiano em função da profundidade e cobertura vegetal do solo.

Cobertura vegetal do solo	Profundidade (cm)							
	0-5		5-10		10-20		20-30	
	mg C-CO ₂ /g CBM/h							
<i>C. madagascariensis</i>	0,81	A c	3,30	A b	4,38	A b	7,92	A a
Vegetação nativa	0,75	A b	2,04	A ab	2,68	A ab	3,80	B a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com MENDES et al. (2009), o qMIC é um índice que fornece indicações sobre a qualidade da matéria orgânica, no qual valores elevados expressam matéria orgânica de boa qualidade. Segundo Bayer e Mielniczuk (2008), a matéria orgânica afeta diretamente as características biológicas do solo, pois atua como fonte de carbono, energia e nutrientes para os microrganismos. Neste sentido, populações da espécie invasora podem se beneficiar, usufruindo de uma microbiota mais eficiente no desempenho de suas funções no solo. No entanto, estes resultados foram inferiores aos encontrados por Melo (2014), ao estudar

atributos edáficos de ambientes invadidos por *Prosopis juliflora* (sw.) DC. em domínio do semiárido, constatando valor de 8,5% de qMIC sob a copa da espécie invasora e 8,36% na profundidade de 0-5 cm.

Carbono orgânico total (COT)

Para o carbono orgânico total (COT), constatou-se significância para as interações classe de solo x cobertura vegetal, classe de solo x profundidade e profundidade x cobertura vegetal (Tabelas 6, 7 e 8). Observa-se na Tabela 6, que nas classes RRe, VGo e RYve, os ambientes invadidos apresentam teores de COT iguais aos dos ambientes de vegetação nativa, chegando a ser mais elevado no SXz.

Tabela 6. Carbono Orgânico Total (COT) em função da classe e cobertura vegetal do solo.

Cobertura vegetal do solo	Classe de solo							
	SXz		RRe		VGo		RYve	
	g/kg							
<i>C. madagascariensis</i>	7,96	A a	9,01	A a	7,71	A a	3,86	A b
Vegetação nativa	5,13	B b	7,12	A ab	9,53	A a	3,69	A b

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico.

Considerando o efeito da interação classe de solo x profundidade (Tabela 7), observa-se que em todas as classes, os teores de COT tendem a diminuir com o aumento da profundidade, de fato estes resultados são esperados, pois é na superfície que ocorre a deposição de fitomassa e formação de serrapilheira.

Tabela 7. Carbono Orgânico Total (COT) em função da classe e profundidade do solo.

Profundidade (cm)	Classe de solo							
	SXz		RRe		VGo		RYve	
	g/kg							
0-5	15,68	A a	14,21	A a	15,73	A a	6,68	A b
5-10	4,99	B ab	8,94	B a	9,18	B a	3,58	AB b
10-20	2,95	B a	4,63	C a	5,36	BC a	2,66	B a
20-30	2,56	B a	4,48	C a	4,20	C a	2,17	B a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. SXz = Planossolo Háplico; RRe = Neossolo Regolítico; VGo = Vertissolo Hidromórfico; RYve = Neossolo Flúvico.

Na Tabela 8, evidencia-se que os ambientes invadidos superaram os teores de COT em 32,7; 0,42 e 12,08% nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, embora, apresentou uma redução de 27,4% na profundidade de 20-30 cm.

Tabela 8. Carbono Orgânico Total (COT) em função da profundidade e cobertura vegetal do solo.

Cobertura vegetal do solo	Profundidade (cm)							
	0-5		5-10		10-20		20-30	
	g/kg							
<i>C. madagascariensis</i>	14,91	A a	6,69	A b	4,13	A c	2,82	A c
Vegetação nativa	11,24	B a	6,66	A b	3,68	A c	3,89	A c

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O carbono orgânico do solo inclui os resíduos de animais, plantas e microrganismos em diferentes fases de decomposição, associada com partículas de argila e silte do solo (POST e KWON, 2000; SIX et al., 2006). De acordo com Six et al. (2006), o carbono é o principal constituinte da matéria orgânica e seu conteúdo no solo é regulado principalmente pelo balanço entre a entrada de material orgânico e a sua perda por decomposição e erosão. Dessa forma, os maiores teores de COT evidenciados nos ambientes invadidos podem estar relacionados com a elevada deposição de fitomassa invasora. Estes resultados corroboram com os encontrados por Melo (2014), o qual constatou incremento nos teores de COT em ambientes invadidos por *P. juliflora*, observando redução em profundidade de 6,9 g.kg⁻¹ na profundidade de 0-5 cm para 3,8 g.kg⁻¹ na profundidade de 20-30 cm. Bem como, com aqueles apresentados por Truscott et al. (2008), os quais estudando os efeitos de da espécie invasiva *Mimulus guttatus*, constatou supremacia nos teores de carbono total nos ambientes invadidos.

4. CONCLUSÃO

Os atributos microbiológicos não expressam relação com a presença de *C. madagascariensis*, demonstrando poucas diferenças entre os ambos invadidos e não invadidos apesar do incrementode de carbono promovido pelo táxon.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. New York: Academic Press, 1995. 576p.

ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Soil microbial biomass: The ecophysiological approach. **Soil Biology and Biochemistry**. 2010. 1-5 p.

ANDRADE, L.A. **Plantas invasoras: espécies vegetais exóticas invasoras da caatinga e ecossistemas associados**. Areia: CCA/UFPB, 2013. 100p.

ANSELMO, G. C.; CARNEIRO, L. A.; NASCIMENTO, C. A.; BRITO, C. B. M.; COELHO, I. M. A.; BONILLA, O. H. Estudo de fitoinvasores cearenses. 62^a reunião anual da SBPC, **Ciências do Mar: herança para o futuro**. ISSN: 2176-1221. 2010.

BAREA, J. M.; FERROL, N.; AZCÓN-AGUILAR, C.; AZCÓN, R. Mycorrhizal symbioses. Series. In: WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P. (Eds.), *The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions*. **Plant Ecophysiology**, v. 7, p. 143-163. 2008.

BEVER, J. D. Soil community feedback and the coexistence of competitors: conceptual frameworks and empirical tests. **New Phytologist**, v. 157, p. 465 – 473, 2003.

BRASIL. Ministério de Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisas Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento exploratório-reconhecimento dos solos do estado do Ceará**. Recife, 1973. 2v. (Boletim Técnico, 28), (Brasil, SUDENE – DRN. Divisão de Agrologia – Série Pedologia, 16).

BRUNDRETT, M. C. Co evolution of roots and mycorrhizas of land plants. **New Phytologist**, v. 154, p. 275-304. 2002.

BAYER, C.; MIELNICZUCK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A. et al. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, Cap. 2, 2008. p. 9-23,

BUCK, J. R.; CLAIR, S. B. S. Aspen Increase Soil Moisture, Nutrients, Organic Matter and Respiration in Rocky Mountain Forest Communities. **Plos One**, v. 7, n. 12, p. 1-6, 2012.

CARVALHO, I. V.; MESQUITA, A. A.; SANTOS, P. G. L.; SANTOS, J. S. Densidade de potencial eólico nas diferentes regiões do estado do Ceará – litoral, serra, sertão. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 5, p.1317 – 1327, 2012.

DESSAUX , Y.; HINSINGER, P.; LEMANCEAU, P. **Rhizosphere: Achievements and Challenges**. Springer, New York. 2010. 536 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco diferentes épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1625-1635, 2007.

FOLLI-PEREIRA, M. S.; MEIRA-HADDAD, L. S.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, p. 1663-1679, 2012.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogene espécies extracted from soil by wet sieving and decating. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 46, p. 235 - 244, 1963.

GIRI, B.; GIANG, P. H., KUMARI, R ., PRASAD, R . Microbial diversity in soils. In: BUSCOT, F., VARMA, A. (Eds.). **Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions**. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 2005. p. 195-212.

GOSLING, P.; OZAKI, A.; JONES, J.; TURNER, M.; RAYNS, F.; BENDING, G. D. Organic management of tilled agricultural soils results in a rapid increase in colonisation potential and spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 139, p. 273-279, 2010.

IPECE (2014a) **Perfil Básico Municipal de Ibarretama**. Fortaleza: IPECE, 2014. 17 p. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2014/Ibaretama.pdf. Acesso em: 25 de setembro de 2015.

IPECE (2014b) **Perfil Básico Municipal de Quixadá**. Fortaleza: IPECE, 2014. 17 p. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2011/Quixada.pdf. Acesso em: 25 de setembro de 2015.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effect of biocidal treatment on metabolism in soil. A method of measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 209 – 213, 1976.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 1-13, 2010.

KRITICOS, D. J.; SUTHERST, R. W.; BROWN, J. R.; ADKINS, S. W.; MAYWALD, G. F. Climate change and biotic invasions: a case history of a tropical woody vine. **Biological Invasions**, v. 5, n. 3, p. 147-165, 2003.

LAMBERS, H .; MOUGEL, C .; JAILLARD, B.; HINSINGER, P. Plant-microbe-soil interactions in the rhizosphere: an evolutionary perspective. **Plant and Soil**, v. 321, p. 83-115. 2009.

LIMA, J. V. L. ; PINHEIRO, M. S.; FIÚZA, L. M. C.G.; MARTINS, S. C. S.; MARTINS, C. M. Populações microbianas cultiváveis do solo e serrapilheira de uma unidade de conservação no semiárido brasileiro. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.18; p. 2014.

LOPES, H. S. S.; MEDEIROS, M. G.; SILVA, J. R.; MEDEIROS JÚNIOR, F. A.; SANTOS, M. N.; BATISTA, R. O. Biomassa microbiana e matéria orgânica em solo de Caatinga, cultivado com melão na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ceres**, v. 59, n.4, p. 565-570, 2012.

MATOS, D. M. S.; PIVELLO, V. R. O impacto das plantas invasoras nos recursos naturais de ambientes terrestres - alguns casos brasileiros. **Ciência e Cultura**, v. 61, n. 1, 2009.

MAZZONI, R.A., DE MESQUITA, A.J., FLEURY, L.F., DE MESQUITA, S.P. Septicemia em girinos de criação na fase pré-metamórfica. **Ciência Animal Brasileira**, v.13, p. 76-84, 2012.

MAROHASY, J.; FORSTER, P.I. A taxonomic revision of *Cryptostegia* R. Br. (Asclepiadaceae: Periplocoideae). **Australian Systematic Botany**, v.4, n.3, p.571-577, 1991.

MATSUOKA, M, MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 425- 433, 2003.

MELO, R. S. S. **Caracterização edáfica e fisiográfica de sítios ocupados por *Prosopis juliflora* (sw.) DC. em domínio do semiárido.** Areia, 2014. 84f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba.

MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; REIS-JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M.F.; CHAER, G.M.; MERCANTE, F.M.; ZILLI, J.E. **Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade?** Planaltina-DF, Embrapa Cerrados, 2009. 31p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 246).

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises.** 1. Ed. Ponte Nova: D & M Gráfica e Editora Ltda, v.1, 2005. 107 p.

MCNELLY, J. A. The future of invasive alien species: changing social views. In: MITCHELL, C.E. et al. Biotic interactions and plant invasions. **Rev. Ecology letters**, v.9, p.726-40, 2006.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MUNIER-LAMY, C.; DENEUX-MUSTIN, S.; MUSTIN, C.; MERLET, D.; BERTHELIN, J.; LEYVAL, C. Selenium bioavailability and uptake as affected by four different plants in a loamy clay soil with particular attention to mycorrhizae inoculated ryegrass. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 97, p. 148-158, 2007.

NOVACEK, M. J.; CLELAND, E. E. The current biodiversity extinction event: scenarios for mitigation and recovery. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 98, p. 5466-5470, 2001.

PAULA, R. K.; **Cenários de balanço hídrico no Ceará decorrentes de mudanças climáticas.** Campina Grande, 2011. 65f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande.

PELCZAR, M. J.; CHANG, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia: conceitos e aplicações.** 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1996. 517 p.

PETENON, D.; PIVELLO, V. R. Plantas invasoras: representatividade da pesquisa dos países tropicais no contexto mundial. **Rev. Natureza & Conservação**, v. 6, n. 1, p. 65-77, 2008.

PIROZYNSKI K. A.; MALLOCH, D. W. The origin of land plants: a matter of mycotropism. **Biosystems**, v. 6, p. 153-164, 1975.

POST, W. M.; KWON, K. C. Soil Carbon Sequestration and Land-Use Change: Processes and Potential. **Global Change Biology**, v. 6, p. 317-327, 2000.

REDECKER D.; KODNER R.; GRAHAM, L. E. Glomalean fungi from the Ordovician. **Science**, v. 289, p. 1920-1921, 2000.

RICHARDSON, D. M.; REJMÁNEK, M. Trees and shrubs as invasive alien species a global review. **Diversity and Distributions**, v. 17, p. 788-809, 2011.

SAMPAIO, E. V. S. B. e SALCEDO, I. H. Efeito da adição de nitrogênio e palha-¹⁴C na liberação de CO₂ e formação de biomassa microbiana em latossolo vermelho amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 6, p. 177-181, 1982.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: user's guide version 9.2 (software). Cary. 2008.

SERRANO-CARREÓN, L., GALINDO, E., ROCHA-VALADÉZ, J.A., HOLGUÍN-SALAS, A., CORKIDI, G. Hydrodynamics, Fungal Physiology, and Morphology. In: Krull, R., Bley, T. (Eds.), *Filaments in Bioprocesses*. **Springer International Publishing**, p. 55-90, 2015.

SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas**: 30 anos de pesquisa no Brasil. Editora UFLA, 2010. 716 pp.

SIX, J.; FREY, S. D.; THIES, R. K.; BATTEN, K. M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society America Journal**, v. 70, p.555-569, 2006.

SMITH S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3 ed. Academic Press. London, 2008. 803 p.

SNYDER, J. D.; TROFYMOW, J. A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure of determining organic and inorganic carbon in plant and soil samples, Cmm. **Soil Science and Plant Analysis**, v. 15, p. 587-597, 1984.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, p. 195 - 207, 1992.

SYLVIA, D. M., CHELLEMI, D. O. Interactions among root-inhabiting fungi and their implications for biological control of root pathogens. **Advances in Agronomy**, v. 73, n.1, p. 1-33. 2002.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ VENEGAS, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 195-276.

TRESEDER, K. K.; CROSS, A. Global distributions of arbuscular mycorrhizal fungi. **Ecosystems**, v. 9, p. 305–316. 2006.

TRUSCOTT, A.; PALMERC, S. C.; SOULSBYB, C.; WESTAWAYA, S.; HULMEA, P. E. Consequences of invasion by the alien plant *Mimulus guttatus* on the species composition and soil properties of riparian plant communities in Scotland. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**. v. 10, p. 231-240, 2008.

VANCE, E. D; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703 - 707, 1987.

VENZKE FILHO, S. P., FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; SIQUEIRA, NETO, M.; CERRI, C. C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais – Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 599-610, 2008.

WILLIAMSON, M. H.; FITTER, A. The characters of successful invaders. **Biological Conservation**, v. 78, p. 163-170, 1996.

YANG, Q.; LI, B.; SIEMANN, E. Positive and negative biotic interactions and invasive *Triadica sebifera* tolerance to salinity: a crosscontinent comparative study. **Oikos**, v. 124, p. 216-24. 2015.

ZENNI, R. D.; ZILLER, S. R. An overview of invasive plants in Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.34, n.3, p.431-446, 2011.

CAPÍTULO V

**ANÁLISE MULTIVARIADA DE ATRIBUTOS EDÁFICOS DE AMBIENTES
INVADIDOS POR *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex. Decne. NO SEMIÁRIDO
DO ESTADO DO CEARÁ**

**ANÁLISE MULTIVARIADA DE ATRIBUTOS EDÁFICOS DE AMBIENTES
INVADIDOS POR *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex. Decne. NO SEMIÁRIDO
DO ESTADO DO CEARÁ**

RESUMO

Espécies vegetais invasoras têm a capacidade de alterar as condições ecológicas dos ecossistemas e o estudo dos atributos do solo em ambientes invadidos permite identificar a magnitude das alterações provocadas. Não obstante, técnicas de análise multivariadas possibilitam explicar o máximo de correlação entre as variáveis e descobrir quais delas são mais importantes. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo identificar atributos físicos, químicos e biológicos de maior importância em ambientes invadidos pela espécie *Cryptostegia madagascariensis*, empregando a análise multivariada, visando detectar qual destes atributos foram mais sensíveis na distinção dos ambientes. Amostras de solos foram coletadas em quatro classes de solo: Planossolo Háptico, Neossolo Regolítico, Vertissolo Hidromórfico e Neossolo Flúvico, sendo cada classe constituída por dois ambientes, um invadido por *C. madagascariensis*, denominado ambiente invadido e outro ocupado pela vegetação nativa, denominado ambiente não invadido. Em cada ambiente foram obtidas amostras compostas de solo em quatro profundidades (0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm). Os dados foram submetidos à análise descritiva, bem como, as análises multivariadas de componentes principais (ACP) e de agrupamentos hierárquicos aglomerativos. Por fim, as combinações das classes de solos, ambientes e profundidades foram utilizadas para elaborar o dendrograma e os Clusters. A análise de componentes principais explica a variabilidade de ambientes invadidos pela espécie *Cryptostegia madagascariensis*, bem como ambientes de vegetação nativa. Entre os atributos avaliados, os mais importantes foram: umidade gravimétrica, areia total, argila total, argila natural, grau de floculação, cálcio e magnésio trocáveis, soma de bases, pH, capacidade de troca de cátions efetiva, as percentagens de saturação por bases e alumínio, o pH da pasta saturada, população de bactérias e fungos filamentosos totais e o carbono da biomassa microbiana. Verificou-se a formação de cinco grupos que mostra o potencial adaptativo da espécie invasora.

Palavras-chave: Invasão biológica, Plantas invasoras; Análise de componentes principais, Biodiversidade.

**MULTIVARIATE ANALYSIS OF SOIL ATTRIBUTES OF THE ENVIRONMENTS
INVADED BY *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex. Decne. IN THE SEMIARID OF
THE CEARÁ STATE**

ABSTRACT

Invasive plant species have the ability to change the ecological state of ecosystems and the study of soil properties in invaded environments allows us to identify the magnitude of the changes caused. However, multivariate analysis techniques make it possible to explain the maximum correlation between the variables and figure out which ones are most important. Thus, this study aimed to identify physical, chemical and biological attributes most important in environments invaded by the species *Cryptostegia madagascariensis*, using multivariate analysis. Soil samples were collected in four areas, each of which is characterized by a certain class of soil [Area I = Planosolo Háplico (SXz); Area II = Neossolo Regolítico (RRe); Area III = Vertissollo Hidromórfico (VGo) and Area IV = Neossolo Flúvico (RYve)]. Each of the classes showed exotic population of *C. madagascariensis* (invaded Environment) and adjacent native vegetation (Environment not invaded). In each environment soil samples were collected at four depths (0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm), in which we analyzed physical, chemical and biological soil. Data were submitted to descriptive analysis and the multivariate principal component analysis (PCA) and agglomerative hierarchical clustering. Finally, combinations of soil types, vegetation cover and depths were used to prepare the dendrogram and Clusters. The principal component analysis explains the variability of environments invaded by the species *Cryptostegia madagascariensis*, and native vegetation environments. Among the evaluated attributes, the most important were: gravimetric moisture, total sand, all clay, natural clay, flocculation, calcium and magnesium exchangeable, sum of bases, pH, ability of effective cation exchange, the base saturation percentages and aluminum, the pH of the saturated paste, the population of bacteria and filamentous fungi and total microbial biomass carbon. It was found the formation of five groups showing adaptive potential of invasive species.

Keywords: Biological invasion, Invasive plants; Principal component analysis, Biodiversity.

1. INTRODUÇÃO

Um dos problemas ambientais da atualidade é o processo de invasão biológica por espécies vegetais, fenômeno este considerado uma ameaça à biodiversidade em diferentes partes do mundo (PETENON e PIVELLO, 2008). O fenômeno de invasão biológica ocorre quando uma espécie exótica é introduzida em um novo ambiente, adapta-se e passa a competir com a biota autóctone. Ao invadir ecossistemas naturais, tais como florestas, zonas ribeirinhas ou habitats perturbados, as espécies invasoras têm a capacidade de alterar as condições ecológicas, tornando esses ambientes vulneráveis a novas invasões (DEVINE e FEI, 2011).

A espécie vegetal invasora *Cryptostegia madagascariensis* tem sua ocorrência marcada em diferentes países, a exemplo da Austrália, Estados Unidos, Índia e Porto Rico (ISSG, 2010), bem como no Brasil (ANDRADE, 2013), supostamente introduzida com fins ornamentais. No Nordeste brasileiro, especialmente no estado do Ceará, tem sido encontrada, sobretudo, em áreas de matas ciliares, nas quais estabelece um processo competitivo eliminando espécies notadamente por asfixia, ao cobrir completamente a copa das árvores com seus ramos trepadores (ANSELMO et al., 2010).

O estudo dos atributos do solo permite quantificar a magnitude e duração das alterações provocadas por diferentes modelos de ambiente. Por serem sensíveis, esses atributos são importantes para estabelecer se houve degradação ou melhoria da qualidade do solo em relação ao ambiente climax (REICHERT et al., 2009). Dessa forma, o conhecimento das condições edáficas de solos ocupados pela invasora *C. madagascariensis*, pode fornecer subsídios para adoção de práticas que permitam garantir a sustentabilidade do ambiente, bem como, a conservação da biodiversidade nativa.

Plantas invasoras podem modificar processos e atributos edáficos (HAUBENSAK et al., 2004.; HAWKES et al., 2005). A matéria orgânica é um componente fundamental para o solo, agindo em sua estrutura pelo fornecimento de substâncias agregantes, no suprimento de macro e micronutrientes, na capacidade de troca catiônica e tamponamento do pH, na ciclagem de nutrientes, complexação de elementos tóxicos e estruturação do solo. (CONCEIÇÃO et al., 2005).

O solo como um sistema complexo, resulta da interação de fatores que juntos formam indicadores que o caracterizam. Não obstante, técnicas de análise multivariadas possibilitam explicar o máximo de correlação entre as variáveis e descobrir quais delas contribuem mais para a caracterização e, ou, alteração do solo. O método da análise dos componentes principais (ACP) reescreve as coordenadas das amostras em outro sistema mais conveniente

para a análise de dados. Este método permite a redução do número de variáveis avaliadas e pode ser usado para julgar a importância das próprias variáveis originais escolhidas, ou seja, aquelas que apresentam maior peso e são mais importantes do ponto de vista estatístico (MOITA NETO e MOITA, 1998; ABDI e WILLIAMS, 2010).

Trabalhos relacionados ao uso de métodos estatísticos multivariados no estudo do fenômeno da invasão biológica são comuns. Edwards et al. (2011) compararam o uso de métodos univariado e multivariado para avaliar variação clinal em populações *Lythrum salicaria* L. Hovick et al. (2012) utilizaram PCA para caracterizar 20 espécies de plantas incluindo nativas e exóticas visando prever o processo de invasão em zonas húmidas da Pensilvânia, USA. Blanchet et al. (2014) utilizaram PCA e Cluster em estudos genéticos da invasora Sul-africana *Senecio inaequidens* DC.. Chun et al. (2007) aplicaram PCA visando pesquisar a plasticidade fenotípica da planta invasora *Lythrum salicaria* L.. Axmacher e Sang (2013) utilizaram PCA no estudo de plantas invasoras na China e Heberling e Fridley (2013) para o estudo de características fisiológicas de folhas de 32 espécies de arbustos e lianas, sendo 14 nativas e 18 exóticas em florestas caducifólias no leste da América do Norte.

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo identificar atributos físicos, químicos e biológicos de maior importância em ambientes invadidos pela espécie *Cryptostegia madagascariensis*, empregando a análise multivariada, visando detectar qual destes atributos foram mais sensíveis na distinção dos ambientes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e Aspectos climáticos da região e Solos Utilizados no Estudo

As quatro áreas utilizadas para o estudo estão localizadas no estado do Ceará e pertencem aos municípios de Quixadá e Ibaretama, os quais estão inseridos na macrorregião do Sertão Central, mesorregião dos Sertões Cearenses, microrregião de Quixeramobim (IPECE, 2014a; 2014b). O clima da região é classificado, Segundo Köppen, como BShw' com temperatura média de 27 °C e período chuvoso de janeiro a abril (IPECE, 2014a). A região possui altitude média de 185 m e pluviosidade em torno de 815 e 706 mm/ano (PAULA, 2011).

2.2. Escolha das Áreas, Esquema Amostral e Divisão Espacial dos Ambientes

A seleção das áreas foi realizada de tal forma que os ambientes invadidos, bem como a vegetação nativa, estivessem sobre a mesma classe de solo. Espacialmente, cada classe era composta por dois ambientes, um caracterizado pela presença da vegetação nativa em aspecto preservado e outra constituída unicamente pela espécie invasora *C. madagascariensis* conforme ilustra a Figura 1.

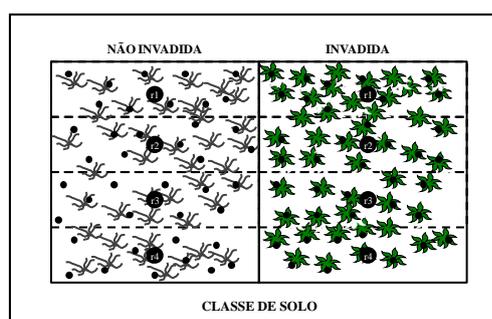


Figura 1. Layout esquemático das áreas selecionadas e do procedimento de amostragem do solo sob as coberturas vegetais de vegetação nativa e *C. madagascariensis*.  = planta nativa área não invadida;  = planta de *C. madagascariensis*; - - = Subdivisões da área; ● = Amostras simples; ① = representação da obtenção de uma amostra composta por dez amostras simples.

2.3. Amostragem Coleta e preparo das Amostras de Solo

As amostras de solo foram coletadas nos ambientes invadidos e não invadidos, em quatro profundidades (0-5; 5-10, 10-20 e 20-30 cm), Figura 7, e em cada uma das quatro classes de solo selecionadas (Figura 8). Para o estudo foram utilizadas amostras compostas obtidas a partir de dez amostras simples. As amostras foram coletadas sob a copa das plantas a uma distância de 20 cm do caule (Figura 9). Após a coleta, as amostras compostas foram acondicionadas em sacolas plásticas, devidamente identificadas e armazenadas, para posteriores análises.

2.3.1. Variáveis físicas

As variáveis estudadas foram a umidade gravimétrica (U_{mi}), análise granulométrica (areia total, silte e argila) e argila natural pelo método do densímetro, o grau de flocculação (G_f) pela expressão $G_f = 100[(\text{argila total} - \text{argila natural})/\text{argila total}]$, a porosidade total do solo (P_t) através da fórmula $P_t = 100[1 - (D_s/D_p)]$, a densidade do solo (D_s) pelo método do torrão parafinado, a densidade da partícula (D_p) pelo método do balão volumétrico, todas obtidas conforme metodologias sugeridas pela Donagema et al. (2011) e por fim, a resistência do solo à penetração (R_P) determinada com o auxílio de um penetrômetro de haste automática.

2.3.2. Variáveis Químicas

Os atributos químicos estudados foram quanto à fertilidade e salinidade, conforme metodologias descritas por Donagema et al. (2011) e Richards (1954). As amostras após serem secas ao ar e peneiradas em malha de 2,0 mm foram submetidas às seguintes determinações: acidez ativa, fósforo disponível, sódio e potássio trocáveis extraídos com solução de Mehlich 1, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis extraídos com KCl 1 mol L^{-1} , o carbono orgânico total (COT.) foi determinado pelo método de oxidação úmida-difusão (SNYDER e TROFYMOW, 1984) e a quantificação foi feita por titulação potenciométrica com HCl $0,25 \text{ mol L}^{-1}$, entre os pHs 8,3 e 3,7 (SAMPAIO e SALCEDO, 1982). A Soma de bases resultou do somatório dos cátions trocáveis ($Ca^{++} + Mg^{++} + K^+ + Na^+$); CTC efetiva ($SB + Al^{+++}$); Saturação por bases (V) e a saturação por alumínio (m) através das fórmulas: $V = (SB/CTC)*100$ e $Valor \ m\% = (Al \ trocável/CTC)*100$. Quanto à salinidade do solo, os

parâmetro foram analisados a partir do preparo da pasta saturada, sendo determinado o pH da pasta saturada (pHpasta), os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e o Percentual de Sódio trocável (PST), através da expressão $PST\% = [100 \times (Na \text{ trocável} / CTC)]$ (DONAGEMA et al., 2011).

2.3.3. Variáveis Biológicas

As variáveis biológicas foram o carbono da biomassa microbiana (Cbiomas), conforme Jenkinson e Powlson (1976). O Quociente microbiano (Qmic) através da equação $Qmic = 100 \times (CBM / COT)$, onde CBM corresponde ao carbono da biomassa microbiana (SPARLING, 1992) e COT o carbono orgânico total do solo. O Quociente metabólico (Qmet) foi obtido segundo Anderson e Domsch (1993), pela relação entre o carbono da biomassa microbiana (VANACE et al., 1987) e a taxa respiratória do solo (ALEF e NANNIPIERI, 1995). As Bactérias totais (Bactot) e fungos filamentosos cultiváveis (Fungtot) foram determinadas por contagem indireta, estimando-se unidades formadoras de colônias (UFC) de amostras diluídas em série, de acordo com Pelczar (1996). Para a Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (densespor) foi empregado o método de peneiramento via úmido proposto por Gerdemann e Nicolson (1963), seguido de centrifugação e flutuação em sacarose.

2.4. Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos à análise descritiva, bem como, as análises multivariadas de componentes principais (ACP) e de agrupamentos hierárquicos aglomerativos. Os componentes principais resumiram a variação multidimensional das variáveis em um diagrama ordenado em eixos, de acordo com suas similaridades (ALVARENGA e DAVID, 1999). Consistiu em transformar um conjunto de 'p' variáveis originais X_1, X_2, \dots, X_p , pertencentes a 'n' indivíduos ou populações, em um novo conjunto de variáveis, Y_1, Y_2, \dots, Y_p , de dimensão equivalente, chamados de componentes principais (STRAPASSON, 2000). Por fim, as combinações das classes de solos [$A_i, i = 1$ (SNz), 2 (RRe), 3 (VGo) e 4 (RYve)], coberturas vegetais [$C_i, i = 1$ (ambiente invadido) e 2 (não invadido)] e profundidades [$P_i, i = 1$ (0-5 cm), 2 (5-10 cm), 3 (10-20 cm) e 4 (20-30 cm)] foram utilizadas para a formação de grupos. Os dados foram analisados através do software estatístico SAS/STAT 9.2 (SAS Institute, 2008).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise Descritiva

As medidas estatísticas de posição (média, mediana e moda), de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação), o mínimo e o máximo, a curtose e a assimetria dos dados das variáveis edáficas para ambientes invadidos e não invadidos por *C. madagascariensis* estão representadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

O coeficiente de variação (CV) expressa a variabilidade inerente a pesquisa (BANZATO e KRONKA, 2006). Valores de CV entre 0-15, 16-35 e >36% são classificados como baixos, moderados e altos de acordo com Wilding (1985). Observa-se nas Tabelas 1 e 2 que em ambos os ambientes, invadidos e não invadidos, as variáveis Gf, Pt, Ds, Dp, pH, V%, pHpasta, Bactot e Fungtot apresentaram CV < 35%, corroborando com Mulla e McBratney (2002).

A densidade do solo variou de 1,21 a 1,87 g.cm⁻³ nos ambientes invadidos, enquanto que nas áreas de vegetação nativa foi de 1,46 a 1,86 g.cm⁻³. Os valores médios de umidade do solo e resistência à penetração (RP), observados no mês de outubro de 2013, foram de 3,68% e 4,48 MPa nos ambientes invadidos e de 2,04% e 3,05 MPa nos nativos.

Com relação aos atributos relativos à fertilidade do solo, observa-se nos dois ambientes que o pH em água, os teores de cálcio, magnésio, potássio e a V% são bastante elevados com valores acima de 6,0; 4,0 e 1,0 cmol_c.kg⁻¹, 120 mg.kg⁻¹ e 80%. Os teores de matéria orgânica e fósforo são muito baixos, inferiores a 2,5% e 7,0 mg.kg⁻¹ e a CTC é média, dentro da faixa de 5,1-15,0 cmol_c.kg⁻¹ (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2004).

Quanto à salinidade do solo, Richards (1954) classifica os solos com problemas de sais em salinos, salino-sódicos e sódicos com base em três parâmetros: condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), percentagem de sódio trocável (PST) e potencial hidrogeniônico (pH). Solos salinos são aqueles que possuem CEes > 4,0 dS.m⁻¹, pH < 8,5 e PST < 15; solos salino-sódicos apresentam CEes > 4,0 dS.m⁻¹, pH < 8,5 e PST > 15 e os sódicos CEes < 4,0 dS.m⁻¹, pH > 8,5 e PST > 15.

Tabela 1. Análise descritiva dos dados amostrais obtidos nos ambientes invadidos por *C. madagascariensis*.

Variável	Medidas								
	Média	Mediana	Moda	σ	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo	CV%
Umi	3,68	2,85	5,43	2,91	14,42	2,91	0,10	19,90	79,07
Areia total	503	594	505	208	-1,32	-0,43	125,65	806,60	41,41
Silte	234	225	408	89	-0,14	0,43	54,65	446,74	37,87
Argila	263	165	86	188	-0,07	1,01	60,51	819,70	71,41
ArgNat	95	69	20	76	-0,30	0,97	0,00	299,40	79,78
GF	64,63	61,97	77,71	13,42	-0,07	0,03	32,19	100,00	20,77
PT	0,38	0,38	0,49	0,04	2,18	1,16	0,31	0,52	10,37
DS	1,64	1,64	1,85	0,15	0,25	-0,58	1,21	1,87	9,14
DP	2,63	2,62	2,52	0,06	2,21	0,86	2,51	2,84	2,22
RP	4,48	6,27	6,27	2,11	-1,51	-0,49	0,87	6,64	47,00
Ca ²⁺	6,31	5,57	0,48	4,95	-0,95	0,48	0,44	17,08	78,57
Mg ²⁺	8,26	7,43	-	5,32	1,27	1,04	-0,62	26,59	64,40
Na ⁺	72,07	29,83	-	103,81	9,36	2,81	1,69	568,17	144,04
K ⁺	11,88	7,48	-	12,60	2,68	1,84	0,20	49,48	106,04
SB	14,94	12,32	-	9,32	0,03	0,77	2,37	42,58	62,33
P	1,55	1,00	0,50	1,86	17,56	3,94	0,36	11,02	120,05
pH	6,34	6,25	5,56	0,78	-0,22	-0,08	4,46	7,98	12,27
Al ³⁺	0,06	0,05	0,00	0,09	5,55	2,40	0,00	0,35	148,64
t	15,00	12,37	-	9,34	0,03	0,77	2,38	42,68	62,27
V%	99,54	99,78	100,00	0,61	4,83	-2,04	97,05	100,00	0,61
m%	0,46	0,22	0,00	0,61	4,83	2,04	0,00	2,95	131,60
MOS	12,30	8,27	-	10,65	1,30	1,49	2,25	44,07	86,52
COT	7,14	4,80	-	6,17	1,30	1,49	1,31	25,56	86,52
PST	2,65	0,71	-	0,13	0,25	1,38	0,06	11,63	140,02
CEes	4,28	0,93	0,93	98,34	8,36	2,56	0,24	38,28	162,83
pHpasta	5,91	5,98	5,12	3,70	-0,06	-0,46	4,05	7,10	12,33
Densespor	1190,44	725,77	2971,77	6,97	-1,06	0,75	169,02	2971,77	83,43
Bactot	2,65	2,72	2,17	0,73	4,02	-1,54	1,12	3,19	13,54
Fungtot	3,56	3,64	3,12	993,14	-0,21	0,25	2,82	4,75	12,28
Cbiomas	151,39	142,30	45,66	0,36	-0,50	0,55	4,57	456,59	76,03
Qmet	0,00	0,00	-	0,44	8,40	2,77	0,00	0,03	174,00
Qmic	4,10	1,84	-	0,12	3,19	1,75	0,04	22,74	118,18

σ = Desvio padrão; CV = Coeficiente de variação. Umi = umidade gravimétrica; ArgNat = argila natural; GF=grau de floculação; PT = porosidade total; DS = densidade do solo; DP = densidade da partícula; RP=resistência à penetração; Ca²⁺ = cálcio trocável; Mg²⁺ = magnésio trocável; Na⁺ = sódio trocável; K⁺=potássio trocável; SB = soma de bases; P = fósforo assimilável; pH; Al³⁺ = alumínio trocável; t = CTC efetiva; V% = saturação por bases; m% = saturação por alumínio; MOS = matéria orgânica do solo; COT = carbono orgânico total; PST = percentagem de sódio trocável; CEes = condutividade elétrica do extrato de saturação; Phpasta = pH da pasta saturada; densespor = densidade de esporos; Bactot = bactérias totais; Fungtot = fungos totais; Cbiomas = carbono da biomassa microbiana; Qmet = quociente metabólico; Qmic = quociente microbiano.

Observa-se que os ambientes de vegetação nativa são constituídos por solos não salinos com valores de CEes, pH e PST que não satisfazem a classificação acima. Nos ambientes invadidos, foi constatado um ambiente salino que consistiu de um Planossolo Háplico que apresentou CEes de até 38,28 dS.m⁻¹. Nos geral, os ambientes invadidos expressaram alta variabilidade com relação à CEes, com CV de 162%, revelando a capacidade apresentada pela espécie invasora de crescer e tolerar ambientes com alto índice salino. Resultados semelhantes foram observados por Rodrigues (2011), que ao avaliar o crescimento de *Azadirachta indica* em solo com excesso de sódio constatou redução do crescimento das plantas entre os 90 e 120 dias após a semeadura.

Cruz (2014) avaliando a germinação de sementes de *C. madagascariensis* constatou que a salinidade até 9,73 µS.cm⁻¹ não impediu a germinação de sementes, embora o crescimento inicial de plântulas foi reduzido quando as sementes foram submetidas à CE superior a 4 µS.cm⁻¹. De acordo com ZHU (2001), três aspectos das atividades metabólicas fazem a planta tolerar a salinidade, aqueles que levam a planta a evitar ou aliviar os danos causados pelo estresse, como a exclusão iônica; restabeleceras condições homeostáticas (iônica e osmótica) e retomar o crescimento, ainda que a uma taxa reduzida. Possivelmente, algum mecanismo que fisiológico permita a espécie crescer nestes ambientes.

Pela análise de componentes principais, foram necessários três componentes (CP) para explicar um percentual mínimo de 63,62% da variação total existente nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Tabela 3). Melo (2014) estudando os solos de ambientes invadidos por *Prosopis juliflora* no semiárido paraibano obteve três componentes que explicaram 73,82% da variância acumulada, no entanto, o número de variáveis analisadas pelo autor foi relativamente menor.

Tabela 2. Análise descritiva dos dados amostrais obtidos nos ambientes de vegetação nativa.

Variável	Medidas								
	Média	Mediana	Moda	σ	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo	CV%
Umi	2,04	1,14	0,65	2,13	8,24	2,46	0,35	12,42	104,59
Areia total	658	732	759	194	-0,89	-0,80	299,17	879,55	29,47
Silte	154	159	124	58	-1,27	-0,16	45,17	258,35	37,41
Argila	188	127	117	149	-0,62	1,04	38,89	490,96	79,37
ArgNat	62	25	25	75	0,22	1,33	0,00	266,95	121,27
GF	75,45	78,31	100,00	13,22	0,04	-0,56	43,38	100,00	17,52
PT	0,37	0,38	0,30	0,06	0,57	0,02	0,21	0,51	15,66
DS	1,69	1,68	1,81	0,09	-0,68	-0,12	1,46	1,86	5,25
DP	2,63	2,63	2,60	0,10	5,25	-1,35	2,20	2,87	3,81
RP	3,05	2,31	6,27	2,12	-1,16	0,44	0,00	7,28	69,53
Ca²⁺	5,32	4,76	0,50	4,17	-0,18	0,73	0,48	17,00	78,41
Mg²⁺	5,39	3,41	-	4,71	-0,81	0,88	0,01	15,00	87,23
Na⁺	18,22	7,10	-	24,21	4,93	2,18	0,30	109,36	132,86
K⁺	15,52	12,25	-	11,79	0,64	1,03	0,81	53,76	75,97
SB	10,84	8,13	-	8,73	-0,64	0,82	0,55	29,35	80,53
P	2,26	1,16	8,28	2,44	2,36	1,77	0,20	9,70	108,18
pH	6,17	6,39	6,69	0,76	-0,28	-0,88	4,47	7,38	12,26
Al³⁺	0,03	0,00	0,00	0,10	51,93	6,92	0,00	0,76	379,28
t	10,87	8,16	-	8,72	-0,63	0,83	0,66	29,41	80,18
V%	98,63	100,00	100,00	4,69	26,92	-4,90	69,07	100,00	4,75
m%	1,37	0,00	0,00	4,69	26,92	4,90	0,00	30,93	343,29
MOS	10,98	8,22	4,74	7,68	2,09	1,43	2,68	38,32	69,93
COT	6,37	4,77	2,75	4,45	2,09	1,43	1,55	22,23	69,93
PST	1,23	0,24	-	0,16	4,08	2,28	0,02	8,60	179,21
CEes	0,97	0,43	0,29	29,93	26,35	4,64	0,16	11,23	166,36
pHpasta	5,64	5,92	5,95	2,20	11,68	-2,71	0,28	7,25	18,02
densespor	1218,82	892,13	457,88	1,62	-0,26	1,03	287,81	3134,13	73,13
Bactot	2,76	2,83	2,82	1,02	2,55	-1,57	1,30	3,38	15,06
Fungtot	3,37	3,43	2,82	891,33	-1,20	0,07	2,82	4,22	12,24
RB	0,11	0,12	-	0,42	-0,49	-0,03	0,04	0,21	33,03
Cbiomas	102,28	68,49	4,57	0,41	2,02	1,45	3,80	456,58	98,58
Qmet	0,01	0,00	-	0,04	5,20	2,40	0,00	0,04	164,47
Qmic	2,32	1,43	-	100,83	2,42	1,66	0,03	11,68	114,29

σ = Desvio padrão; CV = Coeficiente de variação. Umi = umidade gravimétrica; ArgNat = argila natural; GF=grau de floculação; PT = porosidade total; DS = densidade do solo; DP = densidade da partícula; RP=resistência à penetração; Ca²⁺ = cálcio trocável; Mg²⁺ = magnésio trocável; Na⁺ = sódio trocável; K⁺=potássio trocável; SB = soma de bases; P = fósforo assimilável; pH; Al³⁺ = alumínio trocável; t = CTC efetiva; V% = saturação por bases; m% = saturação por alumínio; MOS = matéria orgânica do solo; COT = carbono orgânico total; PST = porcentagem de sódio trocável; CEes = condutividade elétrica do extrato de saturação; Phpasta = pH da pasta saturada; densespor = densidade de esporos; Bactot = bactérias totais; Fungtot = fungos totais; Cbiomas = carbono da biomassa microbiana; Qmet = quociente metabólico; Qmic = quociente microbiano.

Tabela 3. Análise de componentes principais dos atributos físicos, químicos e biológicos.

Componentes da variância	Componente		
	Comp1	Comp2	Comp3
Autovalor	10,386	6,672	5,209
Variância individual (%)	29,670	19,060	14,880
Variância acumulativa (%)	29,670	48,740	63,620
Variáveis	Autovetores		
Umi	0,235	0,154	-0,151
Arei	-0,267	-0,142	-0,011
Silt	0,112	0,262	0,126
Arg	0,280	0,051	-0,047
Argnat	0,274	0,048	-0,135
Gf	-0,196	-0,028	0,256
Pt	-0,089	0,179	0,017
Ds	0,131	-0,145	-0,227
Dp	-0,035	-0,169	-0,142
RP	0,092	-0,032	-0,303
Ca	0,295	-0,043	-0,017
Mg	0,276	0,142	0,044
Na	-0,020	0,330	-0,002
K	0,090	-0,091	0,316
SB	0,298	0,066	0,016
P	-0,040	-0,238	0,207
pH	0,188	-0,207	0,034
Al	0,000	0,021	-0,108
CTCe	0,298	0,066	0,015
V%	0,174	-0,016	0,104
m%	-0,174	0,016	-0,104
MOS	0,095	0,209	0,322
COT	0,095	0,209	0,322
PST	-0,013	0,002	0,161
CEes	0,030	0,311	-0,002
PHpasta	-0,158	0,283	-0,119
densespor	-0,100	0,315	-1,627
Bactot	0,193	-0,186	0,103
Fungtot	-0,229	0,230	-0,042
Cbiomas	0,157	-0,214	0,154
Qmet	-0,029	0,004	-0,004
Qmic	-0,025	-0,004	0,109

Os coeficientes de ponderação selecionados, em destaque na Tabela 3, de cada atributo em cada componente foram aqueles cujo valor em módulo foi igual ou superior à relação $0,5/\sqrt{\lambda_i}$ (RAGHUPATHI et al., 2002), sendo λ_i o autovalor de cada um dos componentes, resultando para o CP1, CP2 e CP3 nos valores 0,155; 0,194 e 0,219 respectivamente. Logo, com base nestes valores, dos 32 atributos edáficos analisados, 26 compuseram os três fatores selecionados.

Na Figura 2 a CP1, que explica 29,67% da variância, indicou pesos positivos nas variáveis umidade gravimétrica (Umi), argila (Arg), argila natural (Argnat), Ca, Mg, soma de bases (SB), pH, capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe), Saturação por bases (V%) e bactérias totais (Bactot), e negativamente com areia (Arei), grau de floculação (Gf), saturação

componente, destacam-se atributos relativos à salinidade e a MOS, evidenciando-se que estes atributos apresentam importância secundária. Técnicas multivariadas são comumente utilizadas no estudo do fenômeno da invasão biológica por plantas exóticas (CHUN et al.; 2007; EDWARDS et al., 2011; HOVICK et al., 2012; AXMACHER e SANG, 2013; HEBERLING e FRIDLEY, 2013; BLANCHET et al., 2014), auxiliando a elucidar as relações entre as plantas invasoras e os ecossistemas que invadem.

Na Figura 3, observam-se os grupos formados pelas combinações das classes de solo (A), cobertura vegetal (C) e profundidade (P). No Grupo 1, as combinações A3C1P2, A3C1P3, A3C1P4, A3C2P2, A3C2P3 e A3C2P4, evidenciam a presença da invasora e da vegetação nativa na classe VERTISSOLO Hidromórfico, que apresenta textura argilosa, maior conteúdo de água, menor porosidade total e maior densidade do solo (Tabela 3, 6, 9 e 10, cap. II). Além disso, oferece menores teores de matéria orgânica e fósforo disponível (Figura 4 e 11, cap III) apresentando os maiores scores nos componentes 2 e 3 (Figura 4). Este tipo de solo apresenta um perfil ligeiramente homogêneo devido à característica expansiva que promove a movimentação de massas de solo (EMBRAPA, 2013).

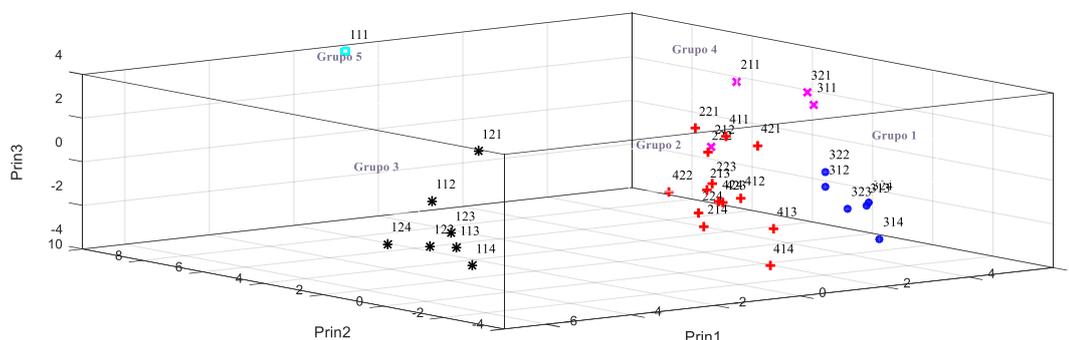


Figura 3. Análise de Cluster para os componentes 1, 2 e 3 pela combinação classe, cobertura vegetal e profundidade do solo.

No Grupo 2, formado pelas combinações A2C1P3, A2C1P4, A2C2P1, A2C2P2, A2C2P3, A2C2P4, A4C1P1, A4C1P2, A4C1P3, A4C1P4, A4C2P1, A4C2P2, A4C2P3 e A4C2P4, encontram-se as classes NEOSSOLO Regolítico e NEOSSOLO Flúvico com ambas as coberturas e todas as profundidades. A textura no RRe variou de argilosa na profundidade de 0-5 cm a franco-arenosa na camada de 20-30 cm, enquanto que no RYve a profundidade de 0-30 apresentou textura franco-arenosa. Densidade do solo variou de 1,51 a 1,75 g cm⁻³ (Tabela 10, cap II). Os teores de fósforo disponível foram maiores em relação as demais classes, alcançando 2,73 e 3,47 mg.kg⁻¹ na RRe e RYve, respectivamente. São atributos mais

relevantes dentro do componente 2, onde apresentou escores negativos, e do componente 3, onde mais de 50% do são positivos (Figura 4).

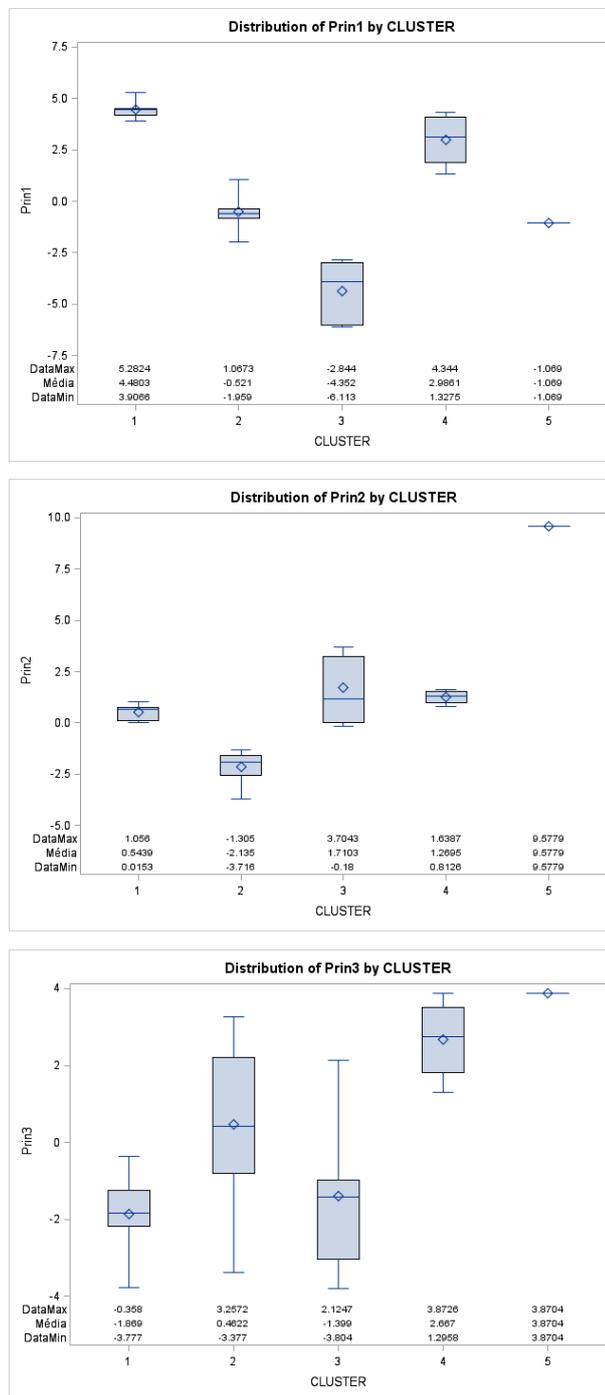


Figura 4. Distribuição dos componentes principais (Prin1, Prin2 e Prin3) para cada cluster.

O Grupo 3, composto pelas combinações A1C1P2, A1C1P3, A1C1P4, A1C2P1, A1C2P2, A1C2P3 e A1C2P4, que engloba a classe PLANOSSOLO Háplico, solo com menor CTC de $4,7 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ (Figura 8, cap III), menores teores de cálcio, $0,51 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ (Figura 5,

cap III). Observa-se na Figura 4, que para o G3 os escores apresentam maior amplitude, principalmente no componente 3. O G4, com escores positivos nos componentes 1 e 2 (Figura 4), corresponde as profundidades de 0-5 e 5-10 cm com predominância do ambiente invadido. A2C1P1, A2C1P2, A3C1P1 e A3C2P1 e são relacionados aos teores de matéria orgânica do solo (Figura 11, cap III). Por fim, o G5, apresentando apenas a combinação A1C1P1, está relacionado aos elevados valores de CEes de até 38,28 dS.m⁻¹ na profundidade de 0-5 cm de profundidade da classe Planossolo Háptico no ambiente invadido, apresentando maior escore no componente 2 (Figura 4).

Constata-se, que apesar da variabilidade dos grupos, a espécie invasora não apresenta um padrão de preferência que defina especificamente sua ocorrência. Sua capacidade de crescer em solos de elevada densidade, diferentes texturas, elevado índice salino, com baixos teores de fósforo e de matéria orgânica permite inferir que a espécie apresentou elevada capacidade adaptativa, e este é, provavelmente, um dos fatores que, associados às perturbações naturais ou antrópicas, contribuem para estabelecimento e dispersão da invasora no semiárido do estado do Ceará.

4. CONCLUSÃO

A densidade dos solos variou de 1,21 a 1,87 g.cm⁻³, o pH em água, os teores de cálcio, magnésio, potássio e a V% são bastante elevados com valores acima de 6,0; 4,0 e 1,0 cmolc.kg⁻¹, 120 mg.kg⁻¹ e 80%. Os teores de matéria orgânica e fósforo são muito baixos, inferiores a 2,5% e 7,0 mg.kg⁻¹ e a CTC é média, dentro da faixa de 5,1-15,0 cmolc/kg. A classe Planossolo Háplico apresentou valor máximo de CEes de 38,28 dS.m⁻¹. Foram necessários três componentes principais que explicaram 63,62% da variância total. Os atributos edáficos mais importantes foram a umidade gravimétrica, areia total, argila total, argila natural, grau de flocculação, cálcio e magnésio trocáveis, soma de bases, pH, capacidade de troca de cátions efetiva, as percentagens de saturação por bases e alumínio, o pH da pasta saturada, população de bactérias e fungos filamentosos totais e o carbono da biomassa microbiana. Verificou-se a formação de cinco grupos que revelam o potencial adaptativo da espécie exótica invasora *C. madagascariensis*.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI, H.; WILLIAMS, L. J.. Principal component analysis. **John Wiley & Sons**, v. 2, p. 433 - 459, 2010.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. New York: Academic Press, 1995.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.4, p.933-942, 1999.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of ecophysiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 251–255. 1990.

ANSELMO, G. C; CARNEIRO, L. A; NASCIMENTO, C. A; BRITO, C. B. M; COELHO, I. M. A; BONILLA, O. H. Estudo de fitoinvasores cearenses. 62ª reunião anual da SBPC, **Ciências do Mar: herança para o futuro**. ISSN: 2176-1221. 2010.

AXMACHER, J. C.; SANG, W. Plant Invasions in China – Challenges and Chances. **PLOS ONE**, v.8, n. 5, e64173, 2013.

BANZATO, D.; KRONKA, S. A. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: Funep, 2006. 237p.

BLANCHET, É.; PENONE, C.; MAUREL, N.; BILLOT, C.; RIVALLAN, R.; RISTERUCCI, A.; MAURICE, S.; JUSTY, F.; MACHON, N.; NOËL, F. Multivariate analysis of polyploid data reveals the role of railways in the spread of the invasive South African Ragwort (*Senecio inaequidens*). **Conservation Genetics**, p. 1 -11, 2014.

CHUN, Y. J.; COLLYER, M. L. MOLONEY, K. A.; NASON, J. D. Phenotypic plasticity of native vs. invasive purple loosestrife: a two-state multivariate approach. **Ecology**, vol. 88, n.6, 1499–1512, 2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.5, p.777-788, 2005.

CRUZ, F.R. S. **Invasão biológica por *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. no estado do Ceará: biometria, ecofisiologia de sementes e métodos de controle**. Areia, 2014. 126f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba.

DEVINE, K.; FEI, S. **A review of impacts by invasive exotic plants on forest ecosystem services**. In: Proceedings of the “17th Central Hardwood Forest Conference” (FEI, S; LHOTKA, J.M; STRINGER, J.W; GOTTSCHALK, K.W; MILLER, G.W. eds). Lexington (KY, USA) 5-7 April 2010. Northern Research Station, Forest Service, p.425-435, 2011.

EDWARDS, K. R.; BASTLOVÁ, D.; EDWARDS- JONÁŠOVÁ, M.; KVĚT, J. A comparison of univariate and multivariate methods for analyzing clinal variation in an invasive species. **Hydrobiologia**, v. 674, p. 119 -131, 2011.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2013. 353 p.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogene espécies extracted from soil by wet sieving and decating. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 46, p. 235 - 244, 1963.

HEBERLING, J. M. FRIDLEY, J D. Resource-use strategies of native and invasive plants in Eastern North American forests. **New Phytologist.**, v. 200, p. 523–533, 2013.

HAUBENSAK, K. A.; D’ANTONIO, C. M.; ALEXANDER, J. Effects of nitrogen-fixing shrubs in Washington and coastal California. **Weed Technology**, v. 18, p. 1475 - 1479, 2004

HAWKES, C. V.; WREN, I. F.; HERMAN, D. J.; FIRESTONE, M. K. Plant invasion alters nitrogen cycling by modifying the soil nitrifying community. **Ecology Letters**, v. 8, p. 976 - 985, 2005.

HOVICK, S. M.; PETERSON, C. J.; CARSON, W. P. Predicting invasiveness and range size in wetland plants using biological traits: a multivariate experimental approach. **Journal of Ecology**, p. 1-10, 2012.

IPECE (2014a) **Perfil Básico Municipal de Ibarretama**. Fortaleza: IPECE, 2014. 17 p. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2014/Ibaretama.pdf. Acesso em: 25 de setembro de 2015.

IPECE (2014b) **Perfil Básico Municipal de Quixadá**. Fortaleza: IPECE, 2014. 17 p. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2011/Quixada.pdf. Acesso em: 25 de setembro de 2015.

INVASIVE SPECIES SPECIALIST GROUP (ISSG) of the IUCN Species Survival Commission. 2010, Disponível em: <http://www.issg.org/database/species/distribution.asp?si=1628&fr=1&sts=sss&lang=EN>. Acesso em: 28 de out. 2015.

MELO, R. S. S. **Caracterização edáfica e fisiográfica de sítios ocupados por *Prosopis juliflora* (sw.) DC. em domínio do semiárido**. Areia, 2014. 84f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba.

MOITA NETO, J.M.; MOITA, G.C. **Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados**. Química Nova, v.21, p.467-469, 1998.

MULLA, D. J.; MCBRATNEY, A. B. Soil spatial variability. In: WARRICK, A. W. **Soil Physics Companion**. CRC Press, 2002. p. 343-359.

PAULA, R. K.; **Cenários de balanço hídrico no Ceará decorrentes de mudanças climáticas**. Campina Grande, 2011. 65f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande.

PELCZAR, M. J.; CHANG, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1996.

PETENON, D.; PIVELLO, V. R. Plantas invasoras: representatividade da pesquisa dos países tropicais no contexto mundial. **Revista Natureza & Conservação**, v. 6, n. 1, p. 65-77, 2008.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de ambiente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.3, p.310-319. 2009.

RICHARDS, L. A. **Diagnostico y rehabilitacion de suelos salinos y sódicos**. Mexico: USDA, 1954. 174 p. (Manual de Agricultura, 60).

RODRIGUES, R. M. **Comportamento vegetativo do nim em solo salino-sódico tratado com insumos orgânicos**. Areia, 2011. 85f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba.

RAGHUPATHI, H. B.; REDDY, B. M.; SRINIVAS, K. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in banana. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, vol. 33, p. 2131-2143, 2002.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Efeito da adição de nitrogênio e palha-14C na liberação de CO₂ e formação de biomassa microbiana em Latossolo vermelho amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 6, p. 177-181, 1982.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT: user's guide version 9.2** (software). Cary. 2008.

SNYDER, J. D.; TROFYMOW, J. A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure of determining organic and inorganic carbon in plant and soil samples, *Comm. Soil Science and Plant Analysis*, 15:587-597, 1984.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, p. 195-207. 1992.

STRAPASSON, E.; VENCOVSKY, R.; BATISTA, L. A. R. Seleção de descritores na caracterização de germoplasma de *Paspalum* sp. por meio de componentes principais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.2, p.373-381, 2000.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 703-707, 1987.

WILDING, L.P. Spatial variability: Its documentation, accommodation and implication to soil surveys. In: NIELSEN, D.R.; BOUMA, J., eds. **Soil spatial variability**. WORKSHOP ISSS AND SSSA, LAS VEGAS (NV), Wageningen, 1984. Proceedings... Wageningen, PUDOC, 1985.

ZHU, J. K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 06, n. 05, p. 441-445, 2003.

CAPÍTULO VI

**CRESCIMENTO INICIAL DE *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex. Decne. SOB
CONDIÇÕES DE SODICIDADE DO SOLO**

CRESCIMENTO INICIAL DE *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex. Decne. SOB CONDIÇÕES DE SODICIDADE DO SOLO

RESUMO

Espécies exóticas de plantas invasoras apresentarem determinadas características que oferecem vantagens competitivas em relação às nativas. Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o crescimento inicial de *Cryptostegia madagascariensis* em diferentes condições sodicidade do solo, visando identificar o potencial de estabelecimento da invasora em ambientes afetados por sódio. Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, com seis repetições, e consistiram de quatro percentuais de saturação de sódio: 2%; 25%, 57% e 88%. As unidades experimentais consistiram de 24 vasos com capacidade para 8,0 L, sendo acondicionados 4,0 L de materiais de solo com dreno na parte inferior. Em cada unidade experiencial foi mantida apenas uma planta, na qual se avaliou aos 120 dias os seguintes parâmetros: altura de planta, número de folhas, diâmetro do caule, matéria seca da parte aérea e da raiz, diâmetro da raiz e relação parte aérea/raiz. Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão polinomial. Nas variáveis altura de planta, matéria seca da parte aérea e da raiz, diâmetro e comprimento radicular o decréscimo observado foi de 50,9; 78,1; 75; 48,3; 42,9%. O diâmetro do caule alcançou crescimento máximo de 5,4 mm na PST de 10% e o número de folhas e a relação matéria seca da parte aérea/raiz não foram afetadas pelos níveis de PST estudados. Apesar de ter o crescimento reduzido, a espécie *C. madagascariensis* tolera condições de elevada sodicidade do solo, evidenciando o potencial da invasora e a susceptibilidade de ambientes afetados pelo excesso de sódio.

Palavras-chave: Salinidade, invasão biológica, biodiversidade, Caatinga.

**INITIAL GROWTH *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex. Decne. UNDER
CONDITIONS OF SOIL SODICITY.**

ABSTRACT

Exotic species of invasive plants present certain characteristics that offer competitive advantages over native ones. In this sense, this work was developed with the objective of evaluating the initial growth of *Cryptostegia madagascariensis* in different soil sodicity conditions, aiming to identify the potential of establishment of the invader in environments affected by sodium. The treatments were distributed in randomized blocks, with six replicates, and consisted of four percentages of sodium saturation: 2%; 25%, 57% and 88%. The experimental units consisted of 24 buckets with a capacity of 8.0 L, with 4.0 L of soil materials with a drain in the lower part. In each experimental unit only one plant was maintained, in which the following parameters were evaluated at 120 days: plant height, leaf number, stem diameter, aerial and root shoot dry matter, root diameter and ratio aerial part/root. Data were submitted to analysis of variance and polynomial regression. In the variables plant height, dry matter of shoot and root, diameter and root length, the observed decrease was 50.9; 78.1; 75; 48.3; 42.9%. The diameter of the stem reached a maximum growth of 5.4 mm in the PST of 10% and the number of leaves and the shoot dry matter/root dry matter ratio were not affected by the PST levels studied. Despite the reduced growth, *C. madagascariensis* tolerates conditions of high soil sodicity, evidencing the potential of invasive and the susceptibility of environments affected by excess sodium.

Keywords: Salinity, biological invasion, biodiversity, Brazilian savanna.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, ações antrópicas, intencionais e ou acidentais tem resultado na introdução de um grande número de espécies de plantas em habitats não-nativos em grande parte da biosfera. Após a sua introdução nos novos ambientes, algumas espécies podem se tornar invasoras e suprimir a biota nativa. O processo de invasão biológica por plantas exóticas tem afetado diferentes ecossistemas em todo mundo, chegando a ser considerada uma das principais causas de perda da biodiversidade no planeta (INDERJIT, 2012; MEISNER et al., 2011).

Os solos afetados por sais, também conhecidos por solos halomórficos ou solos salinos e sódicos, são solos desenvolvidos em condições imperfeitas de drenagem, que se caracterizam pela presença de sais solúveis, sódio trocável ou ambos, em horizontes ou camadas próximas à superfície (RICHARDS, 1954, RIBEIRO, 2010; CAVALCANTE et al., 2010). Embora algumas espécies possuam mecanismos de ajuste osmótico e consigam sobreviver em ambientes salinos, o mais frequente é que as plantas entrem em condições de estresse, o que provoca o fechamento dos estômatos, reduzindo a fotossíntese e diminuindo assim a translocação de nutrientes da raiz para a parte aérea, além de promover um gasto de energia para absorção de íons de forma ativa (SILVA, 2002).

No Brasil, espécies exóticas invasoras tem se proliferado de maneira desordenada. No Nordeste, especificamente no estado do Ceará, a espécie exótica *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne., pertencente à família Apocynaceae (ENDRESS e BRUYNS, 2000), vulgarmente conhecida como viúva-alegre, leiteira ou trepadeira, vem se espalhando com velocidade, sobretudo ao rápido crescimento e facilidade de dispersão das sementes promovida pelo vento, aliado ao seu elevado índice de germinação (VIEIRA et al., 2004).

O processo de invasão promovido por essas espécies acarreta impactos sobre a diversidade e funcionalidade dos ecossistemas, com reflexos sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, reduzindo o número de espécies nativas, alterando assim a biodiversidade e a capacidade produtiva nos ambientes onde as mesmas se proliferam (ANDRADE, 2013). É comum no semiárido nordestino a ocorrência da salinização natural dos solos. A principal causa dessa salinização é o acúmulo de sais provenientes de áreas circunvizinhas, por escoamento superficial e drenagem lateral, nos horizontes superiores dos solos de áreas rebaixadas, devido à presença de estratos impermeáveis em pequena profundidade. A salinização natural geralmente ocorre em áreas baixas, constituídas por

Neossolos Flúvicos, Planossolos, Vertissolos, Gleissolos ou outros solos relacionados com planícies aluviais ou áreas deprimidas (RIBEIRO, 2010).

Os solos denominados de sódicos se caracterizam por apresentarem PST > 15%; CEes < 4,0 dS.m⁻¹ e pH > 8,5. Solos sódicos apresentam problemas de ordem física, por apresentar excesso de sódio trocável no complexo de troca (RIBEIRO, 2010), que afetam negativamente a germinação das sementes, o crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, algumas espécies exóticas invasoras parecem apresentar tolerância a tais condições, que as tornem menos sensíveis a esses estresses e que favorecem o seu estabelecimento, até mesmo em áreas onde as espécies nativas cresceriam com dificuldades.

Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o crescimento inicial de *Cryptostegia madagascariensis* em diferentes condições sodicidade do solo, visando identificar o potencial de estabelecimento da invasora em ambientes afetados por sódio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização do Experimento

O experimento foi desenvolvido no período de março a junho de 2014, em ambiente telado do Laboratório de Ecologia Vegetal do Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia – PB.

2.2. Delineamento Experimental e Unidades Experimentais

Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, com seis repetições, e consistiram de quatro percentuais de saturação de sódio: 2%; 25%, 57% e 88% (Tabela 1). As unidades experimentais consistiram de 24 vasos com capacidade para 8,0 L, sendo acondicionados 4,0 L de materiais de solo com dreno na parte inferior, conforme Figura 2.

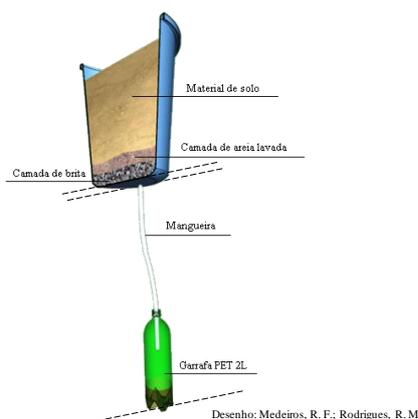


Figura 1. Unidade experimental: sistema de drenagem e de recepção do percolato.

O sistema de drenagem, utilizado para o monitoramento da CE do percolato durante a lavagem do solo, foi preparado utilizando-se uma camada de 4,0 cm de brita zero sob 4,0 cm de areia lavada de rio. Na parte inferior dos vasos foram conectadas mangueiras de PVC 5/16" x 0,8 mm para drenagem da água percolada até garrafas PET de dois litros para medição do pH e da condutividade elétrica do percolato (RODRIGUES, 2011).

2.3. Obtenção dos Solos Afetados por Sais

Os solos com as diferentes PSTs contaram de materiais de um Luvissole Crômico coletado na profundidade de 0-20 cm de profundidade, obtidos na área experimental do Instituto Federal da Paraíba, Unidade de São Gonçalo, Sousa-PB.

3. Lavagem do Solo, Semeadura, Desbaste e Irrigação

Cada unidade experimental foi submetida à lavagem contínua até o percolado atingir condutividade elétrica em torno de 3,0 dS.m⁻¹ para eliminação dos sais solúveis (RODRIGUES, 2011). Para a semeadura, foram utilizadas cinco sementes em cada parcela. As sementes foram obtidas de populações da invasora localizadas no município de Alagoa Grande- PB, e semeadas na profundidade de 1,0 cm. Após a formação das plântulas, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas a plântula mais vigorosa. As regas foram conduzidas por pesagem, sendo a água caracterizada de acordo com Richards (1954), conforme apresentada a Tabela 2.

Tabela 1. Caracterização química dos solos utilizados no experimento.

Características químicas	Solos utilizados			
	I	II	III	IV
Cálcio (meq.100g de solo ⁻¹)	7,23	2,98	1,34	0,8
Magnésio (meq.100g de solo ⁻¹)	1,17	2,04	2,22	0,18
Sódio (meq.100g de solo ⁻¹)	0,18	1,83	4,91	8,3
Potássio (meq.100g de solo ⁻¹)	0,22	0,45	0,1	0,16
pH – Extrato de saturação	7,56	8,54	9,1	9,34
CEes (dS.m ⁻¹)	2,82	0,83	2,19	3,28
Percentagem de saturação	20,66	20	20,33	22
PST%	2,04	25,03	57,29	87,9
Salinidade	Ligeira	Não salino	Ligeira	Ligeira
Classe do Solo	Normal	Sódico	Sódico	Sódico

PST = Percentagem de saturação de sódio; CEes = Condutividade elétrica do extrato de saturação

Tabela 2. Caracterização da água de irrigação.

CE	RAS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SC	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SA	Classificação
dS.m ⁻¹	(mmol.L) ^{1/2}	mmol.L ⁻¹										
0,48	2,91	1,18	0,72	2,63	0,13	4,66	3,69	0	0,31	0,79	4,79	C ₁ S ₁

CE = Condutividade elétrica; RAS = Relação de adsorção de sódio; C₁e C₄= Risco baixo e alto de salinizar o solo, respectivamente; S₁= Risco baixo de sodificar o solo; SC = Soma de cátions; SA = Soma de ânions.

4. Variáveis Analisadas

As variáveis analisadas 120 dias após a semeadura foram: o número de folhas, tomado por contagem direta; o diâmetro do caule, medido a 1,0 cm acima do colo da planta com o auxílio do paquímetro digital; a altura de planta, obtida utilizando régua milimétrica; a massa seca da parte aérea e de raiz, medida com auxílio de balança precisão, após o material vegetal ser seco em estufa de circulação de ar 65 °C até peso constante; o diâmetro de raiz, medida a 1,0 cm abaixo do colo com auxílio do paquímetro digital e comprimento de raiz medido com auxílio da régua milimétrica. A relação parte aérea/raiz dividindo-se a matéria seca da parte aérea pela matéria seca da raiz.

5. Análises Estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão polinomial, utilizando-se o software SAS/STAT (SAS INSTITUTE INC, 2008).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Altura de Planta

Observa-se na Figura 2 que o crescimento em altura foi bastante afetado pelo aumento da PST do solo. Nota-se que houve ajuste ao modelo linear, com redução de 0,32 cm por aumento unitário da PST. Relacionando-se a maior e a menor PST, observa-se uma diferença percentual de 50,9%. Apesar da redução observada, a invasora atingiu valores superiores a 20 cm, tolerando os efeitos resultantes do excesso de sódio no complexo de troca, seja pela toxicidade ou pelo empobrecimento da qualidade física do solo. Amorim et al. (2002), avaliando o efeito dos sais na água de irrigação e do modo aplicação da água no crescimento e produção do alho, constataram que até os 90 dias o crescimento não foi afetado. Rodrigues (2011), estudando o crescimento de *Azadirachta indica* A. juss. em solo sódico (PST de 59,44%), constatou que a espécie teve seu crescimento em altura negativamente afetado, no período entre os 62 aos 94 dias após a semeadura.

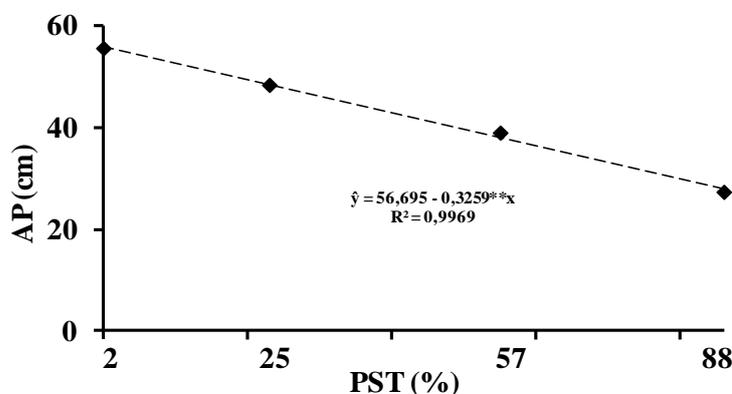


Figura 2. Altura de plantas (AP) *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura.** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Número de Folhas

O número de folhas não foi afetado pelos diferentes percentuais de sódio trocável (Figura 3), apresentando valor médio aproximado de 12 folhas por planta. Santos et al., (2014) avaliando o crescimento de *Crotalaria juncia* L. sob diferentes níveis de sais na água de irrigação, verificaram que aos 20 e 40 dias após a aplicação dos tratamentos salinos o

número de folhas também não foi afetado significativamente, porém, a tolerância à salinidade é variável entre espécies (KUDO et al., 2010) e até mesmo dentro da mesma espécie (MENDONÇA et al., 2007; ZHU et al., 2008), dependendo assim de fatores como o estágio fenológico (BUSTINGORRI e LAVADO, 2011) e a intensidade e duração do estresse salino (NEVES et al., 2009).

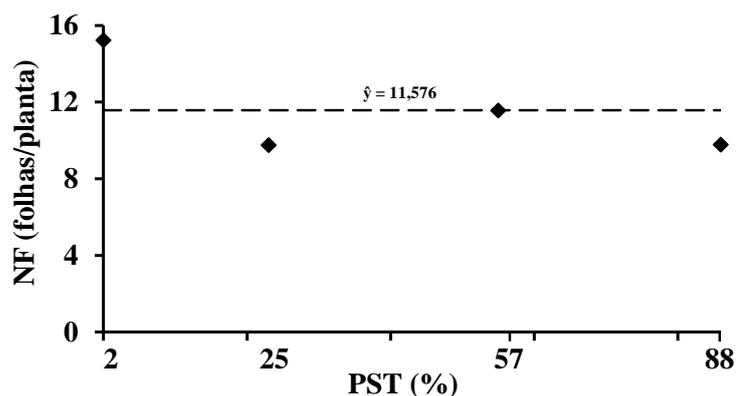


Figura 3. Número de folhas (NF) da espécie invasora *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura.

Diâmetro do Caule

O diâmetro do caule ajustou-se ao modelo quadrático com máximo crescimento de 5,4 mm na PST estimada de 10% (Figura 4). Esses resultados corroboram com os obtidos por Rodrigues (2011) trabalhando com nim (*A. indica*) em solo sódico. Mahmood et al. (2009), avaliando a combinação da salinidade e sodicidade no crescimento de *Acacia ampliceps*, constataram redução de crescimento das plantas submetidas a ambas as situações simultaneamente. É fato que a presença em excesso de sais na solução do solo afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas (DIAS e BLANCO, 2010) e que aquelas mais resistentes aos seus efeitos se sobressaem dentro do processo invasivo, ou seja, aquelas que apresentam maior poder competitivo, que por sua vez é aumentado pela emergência precoce, elevado vigor de plântulas, rapidez de expansão foliar, formação de dossel denso, elevada altura de planta, ciclo de desenvolvimento longo e rápido crescimento do sistema radicular (SANDERSON e ELWINGER, 2002).

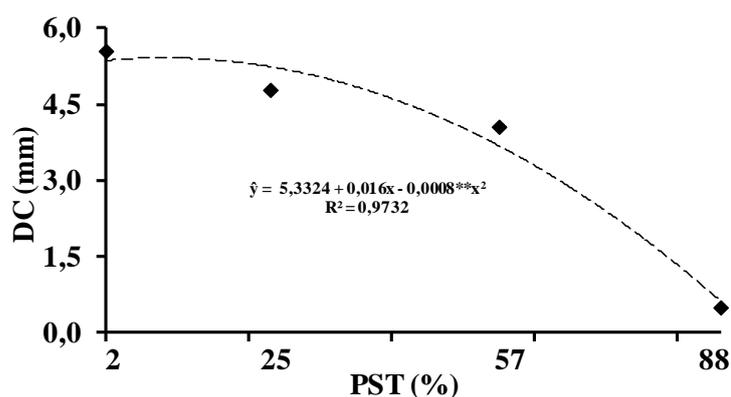


Figura 4. Diâmetro do caule (DC) da espécie exótica invasora *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura. ** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Matéria Seca da Parte Aérea

O aumento da PST resultou em decréscimo da matéria seca da parte aérea de *C. madagascariensis*. Observa-se na Figura 5, que a cada 1% de aumento da PST, a matéria seca decresce 57 mg.

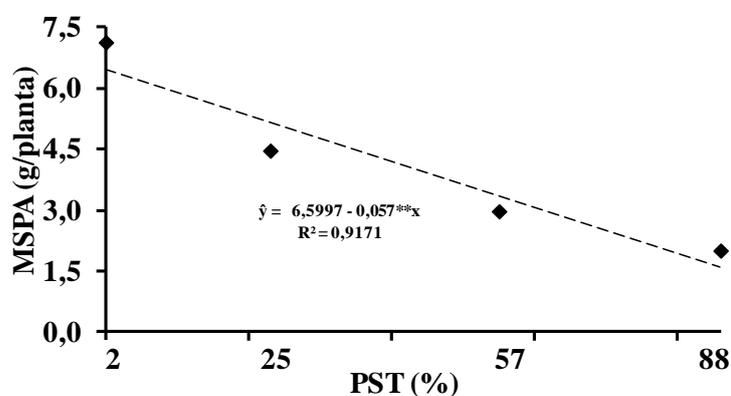


Figura 5. Matéria seca da parte aérea (MSPA) de *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura. ** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

A dispersão das argilas é um dos principais efeitos depreciativos provocados pelo excesso de sódio no solo (RICHARDS, 1954, RIBEIRO et al., 2003), que se traduz na perda estrutural do solo, bloqueio dos poros, diminuição da permeabilidade do solo e redução do crescimento da planta (ARIENZO et al., 2012). Apesar disso, *C. madagascariensis* ainda foi

capaz de sobreviver, mantendo assim a possibilidade de se estabelecer em ambientes cujas condições físicas do solo são adversas.

Matéria Seca da Raiz

A matéria seca da raiz também decresceu com o aumento da sodicidade do solo (Figura 6). Observou-se um decréscimo de 75% entre o menor e o maior nível de PST. De acordo com Ribeiro et al. (2003), altas concentrações de sódio promovem a dispersão das argilas e o entupimento dos poros do solo, que por um lado diminui a capacidade de armazenamento e movimentação de água, e por outro, aumenta a resistência mecânica do solo à penetração de raízes, que resultam no atraso no desenvolvimento das plantas.

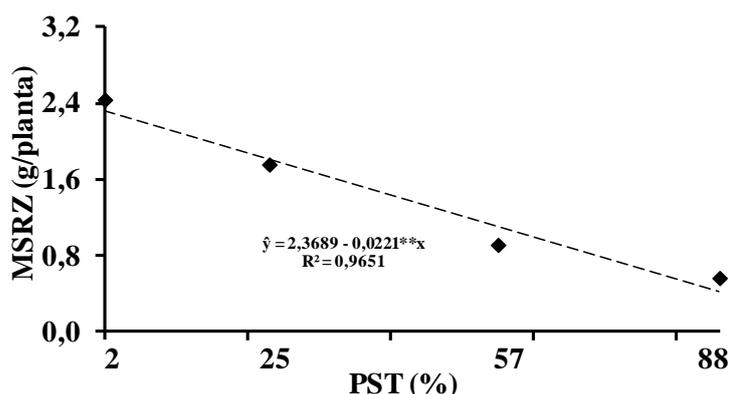


Figura 6. Matéria seca de raiz (MSRZ) de plantas de *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura.** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Diâmetro da Raiz

O diâmetro da raiz foi influenciado negativamente com o aumento da PST do solo (Figura 7). Este aumento ocasionou uma diminuição de 48,3% no diâmetro de raiz de *C. madagascariensis*, provavelmente provocada pelas condições físicas adversas oferecidas pelos solos que apresentam excesso de sódio no complexo sortivo (RICHARDS, 1954).

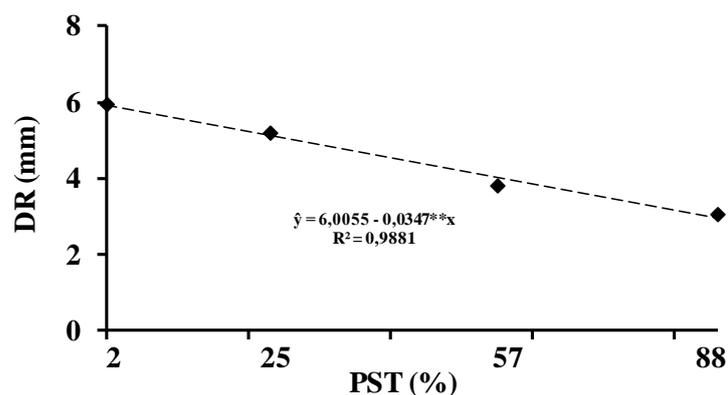


Figura 7. Diâmetro de raiz (DR) de *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura. ** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Comprimento Radicular

Quanto ao comprimento radicular, *C. madagascariensis* apresentou decréscimo de 0,2 cm por aumento unitário da PST, caindo de 45,5 cm na menor PST para 26,0 cm na maior (Figura 8). O crescimento radicular é um variável importante no que diz respeito à competitividade entre plantas, pois está diretamente relacionado ao aproveitamento de recursos como água e nutrientes. Resultados semelhantes foram obtidos por Lima et al. (2015), os quais analisando a emergência e o crescimento de plântulas de albizia (*Albizia lebbbeck* (L.) Benth., sob diferentes níveis de sais da água de irrigação, observaram efeito prejudicial no comprimento de raiz com aumento da salinidade.

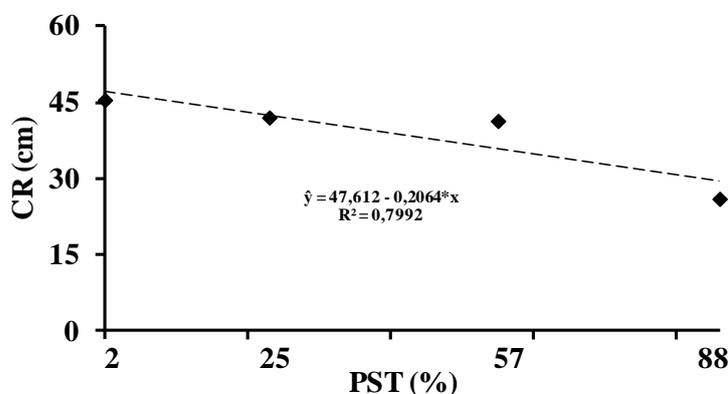


Figura 8. Comprimento de raiz (CR) de *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura. * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Relação Parte Aérea/Raiz

Quanto à relação parte aérea/raiz, observou-se que a diminuição da parte aérea ocasionada pela PST do solo foi acompanhada proporcionalmente pela redução do crescimento radicular (Figura 9), com média de 3,02 partes da fração aérea para uma de raiz. Já se esperava que o estresse provocado pelos altos índices de sodicidade afetasse o crescimento de *C. madagascariensis*, no entanto, é importante ressaltar que a invasora obteve crescimento, embora reduzido, em solo com elevada concentração de sódio, que mostra a capacidade da espécie em povoar ambiente com problemas de sodicidade. De acordo com Leal et al. (2012), isto se deve à extraordinária capacidade de adaptação ao meio que as plantas invasoras apresentam, conseguindo superar e se estabelecer em condições ambientalmente perturbadas

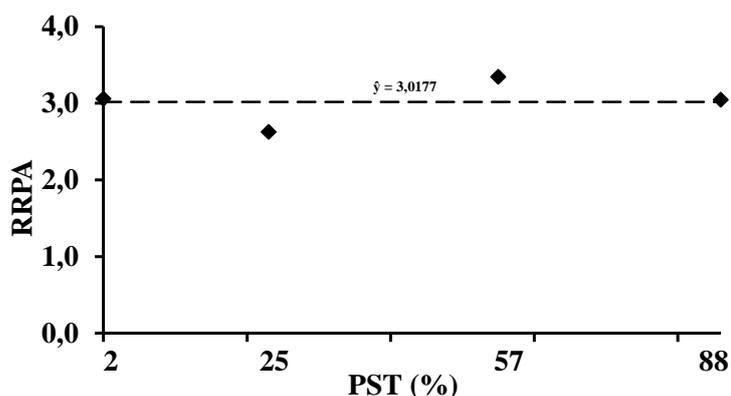


Figura 9. Relação parte aérea/raiz de plantas de *C. madagascariensis* submetida a diferentes percentuais de sódio trocável do solo (PST) 120 dias após a semeadura.

7. CONCLUSÃO

C. madagascariensis tem seu crescimento reduzido em condições de alta percentagem de sódio trocável.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, J. R. A.; FERNANDA, P. D.; GHEY, H. R.; AZEVEDO, N. C. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 167-176, 2002.

ANDRADE, L. A. **Plantas Invasoras: Espécies Vegetais Exóticas Invasoras da Caatinga e Ecossistemas Associados**, Areia-Paraíba: UFPB/CCA, 2013. p.39-41.

ARIENZO, M.; CHRISTEN, E. W.; JAYAWARDANE, N. S.; QUAYLE, W. C. The relative effects of sodium and potassium on soil hydraulic conductivity and implications for winery wastewater management. **Geoderma**, v. 173, n. 174, p. 303–310, 2012.

BUSTINGORRI, C.; LAVADO, R. S. Soybean growth under stable versus peak salinity. **Scientia Agricola**, v.68, p.102-108, 2011.

CAVALCANTE, L. F.; SANTOS, R. V.; FERREYRA H., F. F.; GHEYI, H. R.; DIAS, T. J. Recuperação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura**. Fortaleza, INCTSal, Parte V, 2010a. p. 425-448.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura**. Fortaleza, INCTSal, Parte III, 2010. p. 130-140.

ENDRESS, M. E.; BRUYNS, P. V. A revised classification of Apocynaceae. **The Botanical Review**, v. 66, n. 1, p. 1-56, 2000.

INDERJIT. Exotic Plant Invasion in the Context of Plant Defense against Herbivores. **Plant Physiology**, v. 158, p. 1107–1114, 2012.

KUDO, N.; SUDINO, T.; OKA, M.; FUJIYAMA, H. Sodium tolerance of plants in relation to ionic balance and the absorption ability of microelementos. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.56, p. 225-233, 2010.

LEAL, L. C.; MEIADO, M. V.; LOPES, A. V.; LEAL, I. R. Germination responses of the invasive *Calotropis procera* (Ait.) R. Br. (Apocynaceae): comparisons with seeds from two ecosystems in northeastern Brazil. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 85, n. 3, p. 1025-1034, 2012.

LIMA, M. F. P.; PORTO, M. A. F.; TORRES, S. B.; FREITAS, R. M. O.; NOGUEIRA, N. W.; CARVALHO, D. R. Emergência e crescimento inicial de plântulas de alvizia submetidas à irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p.106 – 112, 2015.

MAHMOOD, K.; SARWAR, G.; HUSSAIN, N.; SCHMEISKY, H.; MUHAMMAD, S. Effect of soil salinity and sodicity on growth parameters of *Acacia ampliceps*. **Pakistan Journal Agricultural Research**, v. 22, n. 3-4, p. 132-139, 2009.

MEISNER, A.; DE BOER, W.; VERHOEVEN, K. J. F.; BOSCHKER, H. T.S.; VAN DER PUTTEN, W. H. Comparison of nutrient acquisition in exotic plant species and congeneric natives. **Journal of Ecology**, v. 99, p. 1308–1315, 2011.

MENDONÇA, A.V. R.; CARNEIRO, J. G. A.; BARROSO, D. G.; SANTIAGO, A. R.; RODRIGUES, L. A.; FREITAS, T. A. S. Características biométricas de mudas de *Eucalyptus* sp sob estresse salino. **Árvore**, v.31, p.365-372, 2007.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; PRISCOL, J. T.; GHEYI, H. R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência Rural**, v.39, p.758-765, 2009.

RIBEIRO, M. R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. de (ed). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCTSal, 2010. p.11-19.

RIBEIRO, M.R.; FREIRE, F.J. & MONTENEGRO, A.A.A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.165-208.

RICHARDS, L. A. **Diagnostico y rehabilitacion de suelos salinos y sódicos**. Mexico: USDA, 1954. 174 p. (Manual de Agricultura, 60).

RODRIGUES, R. M. **Comportamento vegetativo do nim em solo salino-sódico tratado com insumos orgânicos**. Areia, 2011. 85f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba.

SANTOS, R. A.; CARNEIRO, P. T.; SANTOS, V. R.; COSTA, L. C.; SANTOS, C. G.; SANTOS NETO, A. L. crescimento de leguminosas utilizadas na adubação verde em diferentes níveis de sais da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 12, p. 1255-1261, 2014.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: user's guide version 9.2 (software). Cary. 2008.

SANDERSON, M. A.; ELWINGER, G. F. Plant density and environment effects Orchardgrass-White clover mixtures. **Crop science**. v. 42, p. 2055-2063, 2002.

SILVA, E. F. F. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo**. 2002. 136 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VIEIRA, M.F.; LEITE, M.S.O.; GROSSI, J.A.S.; ALVARENGA, E.M. Biologia reprodutiva de *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. (Periplocoideae, Apocynaceae), espécie ornamental e exótica no Brasil. **Bragantia**, v.63, n.3, p.325-334, 2004.

ZHU, J.; ZHILONG, B.; LI, Y. Physiological and growth responses of two different salt-sensitive cucumber cultivars to NaCl stress. **Soil Science Plant Nutrition**, v.54, p.400-407, 2008.

.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A invasão biológica é um fenômeno complexo que envolve inúmeros fatores. Entender como se deu a introdução, quais processos regeram a naturalização e o que exatamente promoveu o crescimento populacional, são questionamentos que devem ser esclarecidos e muito bem compreendidos para tentar precaver ou mitigar impactos causados por plantas invasoras.

Nesta pesquisa, o solo foi o foco do estudo, no qual se buscou indentificar condições que revelasse um padrão que justificasse a ocorrência de *C. madagascariensis* nos ambientes invadidos. Dessa forma, foi possível constatar com estudo dos atributos físicos, químicos e biológicos, que *C. madagascariensis* possui uma ampla adaptabilidade a diferentes condições edáficas, que permite a espécie completar seu ciclo de vida e dispersar-se para novos ambientes.

O caráter pioneiro deste trabalho direciona a pesquisa para novos rumos. Com o seu desenvolvimento, além de divulgar o tema da invasão biológica por plantas exóticas, principalmente por *C. madagascariensis*, o estudo fez surgir alguns questionamentos que poderão ser elucidados por novas pesquisas, tais como: qualquer condição edáfica permite o desenvolvimento da espécie, principalmente sob estresse? Qual a influência da fitomassa invasora depositada no solo sobre as populações e a atividade microbiana quando o solo apresenta condições ideais para o desenvolvimento delas? Qual a dinâmica, a quantidade e a qualidade da matéria orgânica em ambientes invadidos por *C. madagascariensis*? Qual a relação do elemento fósforo e a invasora, já que a espécie consegue desenvolver-se em solos com baixos teores deste elemento? Será ela uma espécie extratora de fósforo? Poderá ela ser usada com adubação verde fonte de fósforo? Qual a influencia do látex na tolerância à seca? A planta pode ser usada em recuperação de áreas degradadas por sais e sódio?

Logo, elucidar estes e outros questionamentos permitirá entender a *C. madagascariensis* e o fenômeno da invasão biológica, possibilitando o desenvolvimento de métodos e tecnologias que visem preservar a vegetação autóctone, manter a agricultura e garantir a economia das regiões que sofrem os impactos causados por *C. madagascariensis* e outras espécies de plantas invasoras.