



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: SOLOS E NUTRIÇÃO DE
PLANTAS**

JUCIANE MARIA SANTOS SOUSA

**COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE MAMONA NAS CONDIÇÕES
EDAFOCLIMÁTICAS DO SEMIÁRIDO**

**FORTALEZA
2013**

JUCIANE MARIA SANTOS SOUSA

**COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE MAMONA NAS CONDIÇÕES
EDAFOCLIMÁTICAS DO SEMIÁRIDO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientadora: Prof.^a Dra. Mirian Cristina Gomes Costa

FORTALEZA
2013


JUCIANE MARIA SANTOS SOUSA

**COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE MAMONA NAS CONDIÇÕES
EDAFOCLIMÁTICAS DO SEMIÁRIDO**

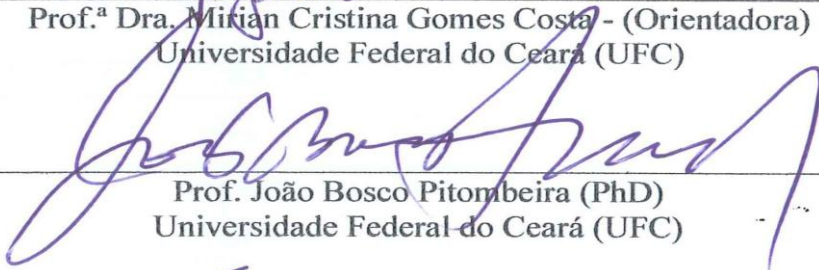
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em: 14/11/2013.


BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dra. Mirian Cristina Gomes Costa - (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. João Bosco Pitombeira (PhD)
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.
Aos meus pais, Sebastião e Francisca, pelo apoio e amor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por estar sempre comigo, por todas as conquistas, pela minha família, amigos e saúde.

Aos meus pais, Sebastião e Francisca, meu infinito agradecimento. Sempre acreditaram em minha capacidade e me ensinaram a perseguir meus ideais com dedicação e coragem.

Ao meu querido esposo, Emanuel, pelo companheirismo, amizade, paciência, compreensão, apoio, alegria e amor, essenciais para a concretização deste trabalho.

À minha orientadora, Mirian Cristina Gomes Costa, pela orientação, amizade, apoio, paciência e por ter apostado no meu trabalho. Muito Obrigada!

Aos professores: Ricardo Espíndola Romero, João Bosco Pitombeira e também meus agradecimentos ao Rafael de Souza Nunes (pesquisador da Embrapa Cerrados).

À minha turma de mestrado e colegas de departamentos pelos bons momentos vividos.

Aos meus amigos do mestrado, especialmente ao Gildivan, Gildean e Assunção. Obrigada por dividir comigo as angústias e alegrias.

Aos professores do Departamento de solos pelos ensinamentos repassados em aula, orientações e amizade, que me ajudaram ativamente ou passivamente neste projeto. Vocês também foram referenciais para mim!

Aos funcionários do Departamento de solos, especialmente ao Antônio José, Tavares, Amilson, Edilson e Franzé, pela disponibilidade, simpatia e gentileza. Obrigada pela ajuda!

À Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Ciências do Solo.

À Capes pelo apoio financeiro durante meus anos de mestrado.

À Petrobras/ANP pelo suporte financeiro e pela oportunidade de realizar este trabalho.

OBRIGADA A TODOS!

*Agradeço todas as dificuldades que enfrentei;
não fosse por elas, eu não teria saído do lugar.
As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo
as críticas, nos auxiliam muito.*

Chico Xavier

RESUMO

A mamona (*Ricinus communis* L.) é uma espécie difundida e adaptada às condições do semiárido. O melhoramento genético da cultura é um dos avanços que podem contribuir com a sustentabilidade da cadeia produtiva no sertão, dando suporte à produção de biodiesel. O objetivo deste estudo foi comprovar a hipótese de que há cultivares mais viáveis no semiárido por apresentarem melhor interação com as condições edafoclimáticas locais. O estudo foi realizado em duas etapas, sendo a primeira de caracterização de dois Planossolos na Fazenda Experimental Vale do Curu (Pentecoste – CE) para avaliar seu potencial para a ricinocultura. Nessa etapa foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas. Nas parcelas foram avaliados dois perfis de Planossolos (P1 e P2), enquanto que nas subparcelas foram avaliados dois horizontes (Ap e Btf) com quatro repetições. Na segunda etapa foi conduzido um experimento no mesmo local em que os solos foram caracterizados. Nesse experimento foram avaliados dez tratamentos compostos pelas seguintes cultivares de mamona: IAC 20-28; IAC-Guarani; IAC-80; IAC-226; MPA-34; MPB -01; MPA-11; BRS-Energia; Paraguaçu e Nordestina. Para avaliação da produtividade e produção de óleo das cultivares foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Para avaliações de atributos radiculares e da fertilidade de solo foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com parcelas subdivididas. Nas parcelas foram avaliados dez cultivares de mamona, enquanto que nas subparcelas foram avaliadas três camadas de amostragem (0-10, 10-20 e 20-30 cm) com quatro repetições. Na etapa de caracterização foi constatado que os Planossolos estudados apresentam bom potencial produtivo devido ao seu caráter eutrófico de média fertilidade natural. Porém, os atributos físicos verificados no P2 apresentaram valores próximos aos considerados limitantes para o desenvolvimento vegetal. Ao avaliar a interação das plantas com o solo, foi constatado que as cultivares contribuíram com a fertilidade química, melhorando em profundidade valores de carbono orgânico (CO), cálcio (Ca), fósforo (P), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%). O solo cultivado com mamona apresentou baixos valores de carbono orgânico total (COT), mas a maior parte desse COT foi representada pela fração mais estabilizada da matéria orgânica do solo. Dentre as dez cultivares avaliadas, em termos de desempenho e rendimento agrônomico, as que responderam de maneira satisfatória às condições edafoclimáticas do semiárido quanto à produtividade, teor de óleo, estado nutricional e atributos radiculares foram: Nordestina, Paraguaçu, BRS- Energia e MPB-01.

Palavras-Chave: Oleaginosas. Fertilidade. Raízes. Matéria orgânica. Variedades.

ABSTRACT

Castor beans (*Riccinus communis* L.) is a widespread species adapted to semi-arid conditions. The crop breeding is one of the advances that can contribute to the sustainability of the production chain in the backcountry, supporting the production of biodiesel. The aim of this study was to prove the hypothesis that there are more viable cultivars in semiarid region for having better interaction with the local climate conditions. The study was conducted in two stages: at first, characterization of two Planosols in the Experimental Farm Vale do Curu (Pentecoste - CE) to evaluate its potential for castor cultivation. At this stage the completely randomized split-plot design was used. In plots were evaluated two profiles of Planosols (P1 and P2), while two horizons (Ap and Btf) were evaluated in the subplots with four replications. In the second stage an experiment was conducted at the same site where the soils were characterized. In this experiment ten treatments consisting of the following castor bean cultivars were evaluated: IAC 20-28; IAC-Guarani; IAC-80; IAC-226; MPA-34; MPB -01; MPA-11; BRS- Energia; Paraguaçu and Nordestina. To evaluate the productivity and oil production from cultivars was used the randomized-block design with four replicates. For assessments on root attributes and soil fertility was used in the randomized-block design with split plots. Ten castor bean cultivars were evaluated in the plots, while the sampling layers were evaluated in the subplots (0-10, 10-20 and 20-30 cm) with four replications. In the characterization step was found that Planosols studied have good yield potential due to its eutrophic character of medium natural fertility. However, the physical attributes checked in P2 showed values close to those considered limiting for plant development. When evaluating the interaction of plants with the soil, it was found that cultivars contributed to the chemical fertility, improving in depth the values of organic carbon (OC), calcium (Ca), phosphorus (P), sum of bases (SB), cation exchange capacity (CEC) and base saturation (V%). The soil cultivated with castor showed low values of total organic carbon (TOC), but most of that TOC was represented by the more stable fraction of soil organic matter. Out of the ten cultivars evaluated in terms of agronomic performance and income, those which responded satisfactorily to semiarid climatic conditions for productivity, oil content, nutritional status and root attributes were: Nordestina, Paraguaçu, BRS- Energia an MPB-01.

Keywords: Oilseeds. Fertility. Roots. Organic matter. Varieties.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	16
1.1	Biodiesel no semiárido	16
1.2	Ricinocultura no semiárido	17
1.3	Importância do melhoramento genético da mamona para regiões semiáridas	17
1.4	Desenvolvimento vegetal e sua influência no aporte e na dinâmica de carbono do solo.....	20
	REFERÊNCIAS	22
2	CARACTERIZAÇÃO DE DOIS PLANOSSOLOS NO SEMIÁRIDO CEARENSE E SEUS POTENCIAIS PARA PRODUÇÃO DE MAMONA	
	RESUMO.....	25
	ABSTRACT	26
2.1	INTRODUÇÃO.....	27
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	30
2.2.1	Área de estudo	30
2.2.2	Caracterização de Planossolos	31
2.2.3	Análises estatísticas.....	32
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
2.3.1	Caracterização morfológica.....	34
2.3.2	Caracterização química	38
2.3.3	Caracterização física.....	43
2.3.3.1	Interação entre atributos físicos e perfis de Planossolos	45
2.4	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS.....	51
	APÊNDICE.....	55

**3 CONTRIBUIÇÃO DE CULTIVARES DE MAMONA NOS TEORES
DE CARBONO E FRAÇÕES ORGÂNICAS E SUAS INFLUÊNCIAS
NA FERTILIDADE DE UM PLANOSSOLO HÁPLICO NO
SEMIÁRIDO**

RESUMO.....	61
ABSTRACT	62
3.1 INTRODUÇÃO.....	63
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	65
3.2.1 Área de estudo	65
3.2.2 Amostragem de solo e análises para fins de fertilidade.....	66
3.2.3 Fracionamento físico da MOS	67
3.2.4 Fracionamento químico das substâncias húmicas	68
3.2.5 Análises estatísticas.....	68
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	69
3.3.1 Relação da Fertilidade do solo e MOS.....	69
3.3.2 Fracionamento físico da MOS	73
3.3.3 Fracionamento químico das substâncias húmicas.....	78
3.4 CONCLUSÃO	85
REFERÊNCIAS	86

**4 PRODUTIVIDADE, TEOR DE ÓLEO NAS SEMENTES E
ATRIBUTOS RADICULARES DE CULTIVARES DE MAMONA
NO SEMIÁRIDO**

RESUMO.....	93
ABSTRACT	94
4.1 INTRODUÇÃO.....	95
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	97
4.2.1 Área de estudo	97
4.2.2 Produtividade	100
4.2.3 Teor de óleo	100
4.2.4 Estado nutricional.....	102
4.2.5 Atributos radiculares.....	103
4.2.5.1 Avaliação do sistema radicular	104
4.2.6 Análises estatísticas.....	107

4.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	108
4.3.1	<i>Produtividade e teor de óleo da mamoneira.....</i>	108
4.3.2	<i>Teor de nutrientes no tecido vegetal.....</i>	112
4.3.2.1	<i>Macronutrientes.....</i>	112
4.3.2.2	<i>Micronutrientes.....</i>	115
4.4	<i>Atributos radiculares da mamoneira.....</i>	116
4.5	CONCLUSÃO	120
	REFERÊNCIAS	121

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1	–	Município de Pentecoste (CE) e localização dos perfis estudados	30
Figura 2	–	Distribuição e classificação do perfil 1: PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico	36
Figura 3	–	Distribuição e classificação do perfil 2: PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico	36
Figura 4	–	Variação de pH em KCl nos perfis estudados. (A) PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico; (B) PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico.....	40
Figura 5	–	Variação das frações granulométricas (silte e argila) nos perfis estudados. (A) PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico; (B) PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico.....	44
Figura 6	–	Correlação entre umidade e microporosidade	46
Figura 7	–	Localização da área de estudo no município de Pentecoste (CE)	65
Figura 8	–	Croqui experimental	66
Figura 9	–	Distribuição do carbono orgânico total (COT), carbono orgânico associado à fração particulada (COP) e carbono orgânico associado a minerais (COM) em camadas do solo estudado	74
Figura 10	–	Precipitação do município de Pentecoste no período de condução do experimento.	76
Figura 11	–	Desenvolvimento da mamoneira aos 60 dias após o plantio (A), 90 dias após o plantio (B), 120 dias após o plantio (C) e 150 dias após o plantio (D).	76
Figura 12	–	Substâncias húmicas vs profundidade do solo	83
Figura 13	–	Localização da área de estudo no município de Pentecoste (CE). Área experimental mostrando o desenvolvimento das plantas de mamona aos 30, 90 e 120 dias após o plantio	97
Figura 14	–	Precipitação mensal no período de Janeiro a Agosto nos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012 no município de Pentecoste (A) e variação térmica mensal com valor e máximo e mínimo de temperatura do ar durante o período de condução do experimento (B).	98
Figura 15	–	Croqui da área experimental	99
Figura 16	–	Aparelho extrator de óleo modelo TE-044-8 da TECNAL	100

Figura 17	– Sequência de extração do óleo de mamona.....	101
Figura 18	– Coleta de folhas de mamona	102
Figura 19	– Esquema de coleta de raiz pelo método da sonda	103
Figura 20	– Amostragem e coleta de raízes	104
Figura 21	– Análise de imagem de raízes lavadas. (A) Imagem original; (B) Limiarização; (C) Rotulação de dados; (D) Transformada de distância; (E) Imagem binária- Esqueleto das raízes e (F) Esqueleto colorido- Quantidade de diâmetros.....	106
Figura 22	– Médias de produtividade e teor de óleo de dez cultivares de mamona	108
Figura 23	– Volume total (V_{Total}), comprimento total (C_{Total}) e área superficial total de raízes (A_{Total}) de mamona.	119

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1	– Características morfológicas de perfis de Planossolos no semiárido cearense	35
Tabela 2	– Atributos químicos de Planossolos no semiárido cearense	39
Tabela 3	– Granulometria e características físicas de Planossolos no semiárido cearense	43
Tabela 4	– Resumo da análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias para as variáveis densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), resistência a penetração (RP) e umidade (Umi).....	45
Tabela 5	– Valores médios de microporosidade e umidade gravimétrica considerando os perfis e horizontes estudados.....	46
Tabela 6	– Distribuição e descrição dos dez genótipos avaliados e diferentes espaçamentos em Pentecoste-CE, 2012.....	66
Tabela 7	– Resumo da análise de variância (ANOVA) e médias para os atributos de fertilidade em Planossolos cultivados com mamona no semiárido cearense.....	70
Tabela 8	– Atributos químicos de fertilidade de Planossolos antes do cultivo de mamona..	71
Tabela 9	– Valores médios da saturação por bases (V%) considerando as camadas estudadas.....	72
Tabela 10	– Correlação de atributos da fertilidade com carbono orgânico e frações da matéria orgânica do solo	73
Tabela 11	– Resumo da análise de variância (ANOVA) para valores de carbono nas frações físicas da matéria orgânica do solo e percentual das frações em relação ao COT.	74
Tabela 12	– Resumo da análise de variância (ANOVA) para o incremento de carbono nas frações húmicas a partir de diferentes cultivares de mamona.	79
Tabela 13	– Carbono orgânico total (COT), fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH) e fração humina (HUM) em g Kg ⁻¹ , percentual das frações húmicas em relação ao COT e relação AH/AF do solo do semiárido cearense cultivado com mamona.	79

Tabela 14	–	Valores médios da fração humina (HUM) entre as cultivares e camadas estudadas.....	81
Tabela 15	–	Distribuição e descrição dos dez genótipos avaliados e diferentes espaçamentos em Pentecoste-CE, 2012.....	99
Tabela 16	–	Resumo da análise de variância (ANOVA) da produtividade e teor de óleo de genótipos de mamona cultivado em Planossolos do semiárido cearense.....	108
Tabela 17	–	Resumo da análise de variância para os teores de macronutrientes no tecido vegetal da mamoneira cultivada em Planossolos no semiárido cearense.	112
Tabela 18	–	Teores de macronutrientes na folha diagnóstico de cultivares de mamona desenvolvidas em condições de sequeiro em solos do semiárido.	113
Tabela 19	–	Resumo da análise de variância (ANOVA) para os teores de micronutrientes no tecido vegetal da mamoneira cultivada em Planossolos do semiárido cearense.....	115
Tabela 20	–	Teores de micronutrientes na folha diagnóstico de cultivares de mamona desenvolvidas em condições de sequeiro em solos do semiárido.	115
Tabela 21	–	Resumo da análise de variância (ANOVA) para os atributos radiculares da mamoneira cultivada em Planossolos do semiárido cearense.	116
Tabela 22	–	Médias dos atributos radiculares da mamoneira cultivada em Planossolos do semiárido cearense.	118

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

1.1 Biodiesel no semiárido

A possível exaustão dos combustíveis minerais, associada aos danos ambientais, tem estimulado políticas públicas no fortalecimento e expansão de projetos mitigatórios que visem controlar, de forma alternativa, os impactos ambientais e as possíveis consequências que estes exerçam sobre a dinâmica do clima na terra. Em virtude disso, alternativas menos prejudiciais ao ambiente têm sido implementadas. A utilização de fontes renováveis de energia tem sido uma alternativa promissora e, nesse contexto, a utilização da flora é uma importante medida, pois a exploração dos recursos locais, além de estimular a inclusão social, integra os agricultores ao agronegócio local (SILVA *et al.*, 2010; QUINTERO *et al.*, 2013).

Vários estudos têm demonstrado o potencial do biodiesel para substituir os combustíveis fósseis, pois eles apresentam características semelhantes aos combustíveis minerais, mas com baixas emissões de CO₂. Nesse sentido, o biodiesel apresenta propriedades ambientalmente sustentáveis, sendo considerado como energia renovável, biodegradável e não tóxico. A utilização do biodiesel como gerador de energia tem a potencialidade de reduzir o nível de poluentes. A relação entre os efeitos ambientais positivos e a utilização do biodiesel tem se difundido, tornando-se uma ideia atrativa em função de seus benefícios ambientais (SINGH; SINGH, 2010).

Para Meneghetti *et al.* (2010), a substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia pode originar alterações importantes nos recursos sociais e econômicos de um país, mas também pode criar perspectivas positivas nas questões ambientais. Desde que foi instituído no Brasil o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), o setor energético teve rápida ascensão no mercado brasileiro, promovendo o crescimento de áreas menos favorecidas sócio-economicamente. Este programa teve por finalidade estimular a produção de plantas oleaginosas, aumentando a produção de biodiesel no Brasil, e ainda promover a inclusão social por meio da geração de renda para produtores familiares, fortalecendo os elos da economia rural e da agricultura familiar (CÉSAR; BATALHA, 2010).

De acordo com Watanabe, Bijman e Slingerland (2012), o mercado energético brasileiro poderá dar sustentação a programas de geração de emprego e renda no campo a partir da produção do biodiesel. O cultivo de oleaginosas no meio rural tem contribuído para inclusão social, de modo que a agricultura familiar subsidiada pelo Governo Federal favorece

o crescimento econômico local, sendo uma importante medida para erradicação da miséria no país.

1.2 Ricinocultura no semiárido

A região semiárida compreende onze Estados brasileiros, sendo nove do Nordeste e dois do Sudeste (INSA, 2013). Algumas espécies vegetais têm recebido atenção no semiárido nordestino, como a mamona (*Ricinus communis* L.), que tem se destacado, principalmente, pelo baixo custo de produção e por ser uma planta com boas adaptações às condições semiáridas. Estima-se que 4,5 milhões de hectares de terras agrícolas no semiárido do Nordeste apresentam condições de produzir esta oleaginosa (BELTRÃO, 2003).

A espécie *Ricinus communis* L. foi primeiramente mencionada como ideal para produção de biodiesel por apresentar resistência às condições adversas, por ter baixo custo de produção e, principalmente, por não competir com as necessidades alimentares humanas. Outro motivo que destacou a mamona das demais oleaginosas foi o teor de óleo nas sementes, em torno de 50-60%, quando comparada a outras oleaginosas como a soja (19%) e o algodão (20%) (BALDWIN; COSSAR, 2009; WIESMAN; BERMAN; NIZRI, 2011).

A mamona é uma planta tolerante à seca, podendo produzir bem – acima de 1200 kg ha⁻¹ de bagas (cerca de 600 kg de óleo ha⁻¹) – com somente 500 mm de precipitação por ano. Essa é a razão pela qual a espécie tem sido extensamente cultivada no Nordeste em regime de sequeiro (BELTRÃO; VALE; COSTA, 2006). Além disso, é considerada uma cultura estratégica, principalmente em regiões do Nordeste brasileiro, pois se adequa à estrutura agrícola de pequena escala, promovendo inclusão de agricultores familiares no setor industrial do biodiesel (SCHOLZ; SILVA, 2008).

1.3 Importância do melhoramento genético da mamona para regiões semiáridas

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma planta xerófila e heliófita, pertencente à classe *Dicotyledoneae*, família *Euphorbiaceae*. Engloba extenso número de espécies nativas da região tropical e vegeta naturalmente bem desde a latitude 40° Norte até 40° Sul (AZEVEDO *et al.*, 1997). O óleo extraído das sementes contém aproximadamente 90% de ácido graxo ricinoléico, um ácido graxo hidroxilado com características singulares e versáteis que possibilitam ampla utilização industrial com ênfase na produção de biodiesel (BELTRÃO, 2003).

Os principais produtores de óleo de rícino são Índia, China e Brasil, concentrando 95% da produção mundial. Com a crescente procura do rícino para uso industrial, o setor oleoquímico almeja explorar a potencialidade do óleo da mamona, visando expandir a área cultivada com a cultura. Entretanto, a maior restrição ao aumento da produtividade está relacionada, principalmente, à vulnerabilidade das variedades aos fatores bióticos e abióticos (SAILAJA; TARAKESWARI; SUJATHA, 2008).

Mesmo diante de grandes investimentos que se tem feito para exploração da cultura da mamona, nota-se que a produção mundial permanece relativamente baixa em comparação com outras oleaginosas. Acredita-se que isso ocorra devido ao uso de materiais não melhorados geneticamente (PAPAKOSTA; KOUTROUBA; DOITSINIS, 1999).

Estudos têm demonstrado que a maior dificuldade enfrentada no cultivo da mamona para atender à demanda industrial, principalmente em termos de ganhos produtivos, está associada ao desenvolvimento de materiais genéticos para facilitar a colheita. Outro desafio é o desenvolvimento de materiais genéticos que sejam mais adaptados às diferentes condições edafoclimáticas (OLIVEIRA; ZANOTTO, 2008).

A utilização de cultivares mais adaptadas e mais tolerantes à seca, provenientes de programas de melhoramento, pode contribuir para aumentar a viabilidade da ricinocultura no semiárido. Dessa forma, o melhoramento genético e a inserção de materiais com maior adaptabilidade podem ser determinantes para o sucesso no cultivo de mamona no Nordeste brasileiro (BELTRÃO; VALE; COSTA, 2006).

Nas últimas quatro décadas diversas variedades têm sido desenvolvidas com o intuito de atender à demanda global do rícino. Cultivares mais produtivas estão sendo inseridas nos sistemas de produção e estas têm proporcionado maiores rendimentos (ANJANI, 2012). O melhoramento genético é uma ferramenta importante quando se deseja selecionar características e genótipos mais produtivos (ANJANI, 2012).

Estudos têm demonstrado que o teor de óleo varia em função de diferentes genótipos e das condições climáticas. Em trabalho conduzido por Papakosta, Koutroubas e Doitsinis (1999) foi demonstrado que diferentes genótipos de mamona apresentam variação no teor de óleo de cerca de 20%. Desta forma, algumas espécies são mais promissoras e efetivas no estabelecimento vegetal e na adaptabilidade, mediante uma condição edafoclimática. Estudo de campo conduzido por LAURETI *et al.* (1998) permitiu verificar que há diferenças em produtividade entre cultivares de mamona, indicando que características morfológicas e fenológicas podem influenciar o desempenho produtivo e a adaptabilidade da mamona ao meio.

CHUTIA *et al.* (2011) ressaltam que há necessidade de aumentar a produtividade de mamona para atender ao setor industrial. Assim, é necessário escolher variedades de alto rendimento e adotar as recomendações agrônomicas. Embora exista grande número de genótipos de mamona, é fundamental fazer a identificação de uma variedade que sobressaia frente às adversidades ambientais impostas nos agroambientes. A seleção de variedades com rendimentos superiores poderá impulsionar o cultivo comercial do biodiesel, estabelecendo melhor produtividade para os agricultores de menor nível tecnológico.

Como a procura por rícino é uma tendência crescente, muitos estudos têm enfatizado a necessidade do melhoramento genético visando à produção de óleo para atender ao setor bioenergético. No entanto, pouca relevância tem sido dada aos mecanismos de tolerância da mamoneira à seca, pois se considera que a cultura já apresenta desempenho eficiente sob déficit hídrico. Porém, estudos têm revelado que, mesmo a mamoneira sendo uma planta eficiente na utilização de água, diferentes variedades podem apresentar melhores resultados quando comparadas com outras sob determinadas condições (MAHESWARI *et al.*, 2010).

Os mesmos autores mencionados no parágrafo anterior demonstraram que alguns materiais genéticos apresentam mecanismo de adaptação à seca mais eficiente do que outros. Ao avaliar o ajustamento estomático de três cultivares de mamona, foi constatado que algumas plantas responderam fisiologicamente melhor à condição de estresse. Estas plantas foram capazes de manter o maior potencial hídrico, favorecendo a turgescência das células. Como a mamona geralmente é cultivada em regiões áridas e semiáridas, uma estratégia para aumentar a eficiência produtiva é a seleção de cultivares com estas características adaptativas.

As interações entre genótipos e o meio são consideradas importantes também por outros autores que atribuem a estas interações o desempenho e rendimento de genótipos. Vários fatores ambientais, tais como pluviosidade, temperatura e solo, desempenham papel importante no desempenho produtivo de genótipos. Assim, torna-se necessário caracterizar a estabilidade de genótipos que melhor se adaptam às diferentes condições edafoclimáticas e mantenham seu rendimento de forma constante (AKCURA; KAYA, 2008).

O conhecimento sobre características radiculares tem papel importante no desenvolvimento de germoplasmas. Avanços em técnicas de melhoramento genético poderão levar ao desenvolvimento de materiais com melhor e maior resistência à seca, além de aumentar a eficiência na absorção de nutrientes e água. Estas características são relevantes para a adaptação de uma planta aos diversos ambientes (MANSKE; VLEK, 2002).

De acordo com Kondo *et al.* (2003) é importante entender os efeitos da interação

entre genótipo e ambiente no desenvolvimento radicular. Segundo os autores, o melhoramento genético considera informações sobre tamanho e distribuição das raízes. Ao caracterizar os efeitos da interação entre genótipos e ambiente é possível estabelecer variações genéticas e elaborar práticas eficientes no desenvolvimento de genótipos adaptados aos diferentes meios e condições edafoclimáticas.

Segundo Barber e Mackay (1986), genótipos expressam diferentes tamanhos e morfologias de raízes que, por consequência, refletem em maior eficiência na absorção de água e nutrientes. Genótipos mais adaptados promovem enraizamento mais intenso e profundo, aumentando a absorção de água e nutrientes. Desta forma, quantificar a absorção de nutrientes e o crescimento de raízes pode ser uma maneira para comparar o efeito das diferenças morfológicas e fisiológicas entre genótipos.

1.4 Desenvolvimento vegetal e sua influência no aporte e na dinâmica de carbono no solo

Os solos asseguram o maior reservatório de carbono orgânico terrestre. Assim, compreender a fonte de carbono orgânico no solo e os processos que influenciam o seu volume é fundamental para prever a resposta destes solos ao seu potencial agrícola (CHAOPRICHIA; MARÍN-SPIOTTA, 2014).

De acordo com Loum *et al.* (2014), o carbono orgânico desempenha papel importante na qualidade do solo, influenciando a produção de plantas, bem como as propriedades físicas e biológicas dos solos. Seus benefícios estão ligados intimamente ao fato de que ele atua como fonte armazenadora de nutrientes, sendo importante indicador de fertilidade, além de contribuir para a aeração do solo, o que reduz a compactação (NAYAK *et al.*, 2012).

A quantidade de carbono (C) aportado ao solo depende de vários fatores, dentre eles: a espécie vegetal e o estágio de desenvolvimento da planta (KUZYAKOV; GRZEGORZ, 2000). O C oriundo das raízes quando aportado ao solo pode variar de 10 a 70%. Isso representa potencial significativo de entrada de C no solo em comparação com entradas acima do solo (HORWATH, 2002).

No entanto, pouca relevância tem se dado à contribuição das raízes influenciando o acúmulo de matéria orgânica no solo. Atualmente, visto o impasse ambiental em função das emissões excessivas de CO₂ por parte dos setores industriais, pesquisas têm priorizado o solo como importante fonte de armazenamento de C. Estudos têm demonstrado que a contribuição das raízes para o estoque de C nos solos é superior ao C oriundo da parte aérea das plantas.

Isso ocorre porque raízes ativas reduzem a taxa de mineralização da matéria orgânica, contribuindo para aumentar os estoques de C em profundidade (RASSE; RUMPEL; DIGNAC, 2005; JOHNSON; ALLMARAS; REICOSKY, 2006).

Segundo Webb e Loveland (2003), a taxa de mineralização da matéria orgânica em condições tropicais semiáridas é mais acentuada, proporcionando baixos estoques de C nos solos e exercendo impactos negativos sobre a estrutura física do mesmo.

Grande parte dos solos na região semiárida apresenta alta densidade e baixo teor de matéria orgânica, sendo mais susceptíveis à erosão. Nas condições semiáridas, o déficit hídrico e as altas temperaturas favorecem a oxidação da matéria orgânica e, conseqüentemente, o menor estoque de C (WEBB; LOVELAND, 2003; KUMAR *et al.*, 1999). Em trabalho conduzido por Kätterer *et al.* (2011), a humificação de resíduos radiculares foi 2,3 vezes maior do que os resíduos provenientes da parte aérea das plantas. Este resultado dá suporte à hipótese de que o C derivado da decomposição radicular é mais estável e contribui para aumentar o estoque de matéria orgânica em subsuperfície.

Logo, a exsudação e mortalidade de raízes são os principais processos que determinam o ciclo do C e nutrientes em subsuperfície (SIMS; SHINGH, 1978). Raízes e rizodeposição são importantes fontes de C orgânico para o solo (MOLINA, *et al.*, 2001). Dependendo da profundidade do enraizamento, quantidades consideráveis de carbono podem ser alocadas em subsuperfície e, quanto mais protegido estiver esse carbono, maior será o tempo de residência no solo (NAIR *et al.*, 2009). Assim, é importante considerar que a quantidade de raízes e a profundidade de enraizamento, influenciados pelo tipo de planta e pelo tipo de solo, podem determinar a quantidade de C a ser adicionado (GREGORY, 2006).

Supõe-se que cultivares de mamona mais adaptadas às condições edafoclimáticas do semiárido apresentem sistema radicular bem distribuído e maior quantidade de raízes finas. Essas raízes devem proporcionar melhor absorção de água e nutrientes, favorecendo o estado nutricional e, conseqüentemente, o desenvolvimento das plantas e a produção de óleo. Outra suposição de interesse é a de que as características radiculares das cultivares mais adaptadas ao semiárido também favorecem o solo em que são cultivadas, principalmente por aumentar os teores de C nas frações mais estáveis da matéria orgânica do solo.

Os objetivos gerais deste estudo foram: a) Avaliar o potencial de classes de solo características do semiárido brasileiro para cultivo da mamona; b) Avaliar os efeitos de cultivares de mamona em atributos do solo, com destaque para o carbono. c) Identificar genótipos mais adaptados às condições semiáridas por meio da avaliação do sistema radicular, estado nutricional, produtividade da cultura e produção de óleo pelas plantas.

REFERÊNCIAS

- AKCURA, M.; KAYA, Y. Nonparametric stability methods for interpreting genotype by environment interaction of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). **Genetics and Molecular Biology**, v. 31, p. 906-913, 2008.
- ANJANI, K. Castor genetic resources: A primary gene pool for exploitation. Review. **Industrial Crops and Products**, v. 35, p.1– 14, 2012.
- AZEVEDO, D. M. P. *et al.* **Recomendações técnicas para o cultivo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) no noroeste do Brasil**. Campina Grande. Embrapa Algodão, 1997. (Embrapa Informação Tecnológica).
- BALDWIN, B. S. COSSAR, R. D. Castor yield in response to planting date at four locations in the south-central United States. **Industrial crops and products**, v. 29, p. 316–319, 2009.
- BARBER, S. A.; MACKAY, A. D. Root growth and phosphorus and potassium uptake by two corn genotypes in the field. **Fertilizer Research**, v. 10, p. 217-230, 1986.
- BELTRÃO, N. E. de M. **Informações sobre o biodiesel, em especial feito com o óleo de mamona**. Campina Grande, PB. Embrapa Algodão, 2003. (Comunicado Técnico 177).
- BELTRÃO, N. E. de M.; VALE, L. S do; COSTA, S. G da. **Bioenergia, Mamona e o Biodiesel no Brasil e no Mundo: Atualidades e Perspectivas**. Campina Grande, PB. Embrapa Algodão, 2006. (EMBRAPA-CNPA. Documentos, 158).
- CÉSAR, A. da S.; BATALHA, M.O. Biodiesel production from castor oil in Brazil: A difficult reality. **Energy Policy**, v.38, p. 4031-4039, 2010.
- CHAOPRICHIA, N. T.; MARÍN-SPIOTTA, E. Soil burial contributes to deep soil organic carbon storage. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 69, p. 251-264, 2014.
- CHUTIA, M. *et al.* Evaluation of promising castor genotype in terms of agronomical and yield attributing traits, biochemical properties and rearing performance of erisilkworm, *Samia ricini* (Donovan). **Industrial Crops and Products**, v. 34, p. 1439 – 1446, 2011.
- GREGORY, P. J. Roots, rhizosphere and soil: the route to a better understanding of soil science? **European Journal of Soil Science**, v. 57, p. 2-12, 2006.
- HORWATH, W. **Roots and root exudates. In: Carbon cycling and formation of soil organic matter**, 2002, 303-399 p.
- INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO – INSA. **Estiagem e seca no semiárido**. Folheto informativo, n. 1, 2013.
- JOHNSON, J. M. F.; ALLMARAS, R. R.; REICOSKY, D. C. Estimating Source Carbon from Crop Residues, Roots and Rhizodeposits Using the National Grain-Yield Database. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 622–636, 2006.

- KÄTTERER, T. *et al.* Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 141, p. 184–192, 2011.
- KONDO, M. *et al.* Genotypic and environmental variations in root morphology in rice genotypes under upland field conditions. **Plant and Soil**, v. 255, p. 189–200, 2003.
- KUMAR, P. V. *et al.* Assessment of plant-extractable soil water in castor beans (*Ricinus communis* L.) using infrared thermometry. **Agricultural Water Management**, v. 39, p. 69–83, 1999.
- KUZYAKOV, Y.; GRZEGORZ, D. Carbon input by plants into the soil. Review. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 163, p. 421–431, 2000.
- LAURETI, D. *et al.* Performance of castor (*Ricinus communis* L.) cultivars in Italy. **Industrial Crops and Products**, v.7, p. 91–93, 1998.
- LOUM, M. *et al.* Retrospective and prospective dynamics of soil carbon sequestration in Sahelian agrosystems in Senegal. **Journal of Arid Environments**, v.100-101, p. 100-105, 2014.
- MAHESWARI, M. *et al.* Osmotic adjustment, drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis* L.) hybrids. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, p. 243–249, 2010.
- MANSKE, G. G. B.; VLEK, P. L. G. Root Architecture Wheat as a Model Plant. In: **PLANT ROOTS: THE HIDDEN HALF**. ed. 3, New York, 2002. 249-259 p.
- MENEGHETTI, M. R. *et al.* Biodiesel production by ethanolysis of mixed castor and soybean oils. **Fuel**, v. 89, p. 3791-3794, 2010.
- MOLINA, J. A. E. *et al.* Modeling the incorporation of corn (*Zea mays* L.) carbon from roots and rhizodeposition into soil organic matter. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 33, p. 83-92, 2001.
- NAIR, P. K. R. *et al.* Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. **Environmental Science & Policy**, v.12, p. 1099-1111, 2009.
- NAYAK, A. K. *et al.* Long-term effect of different integrated nutrient management on soil organic carbon and its fractions and sustainability of rice–wheat system in Indo Gangetic Plains of India. **Field Crops Research**, v. 127, p. 129–139, 2012.
- OLIVEIRA, I. J.; ZANOTTO, M. D. Eficiência da seleção recorrente para redução da estatura de plantas em mamoneira (*Ricinus communis* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n. 4, p. 1107-1112, 2008.
- PAPAKOSTA, D. K.; KOUTROUBAS, S. D.; DOITSINIS, A. Adaptation and yielding ability of castor plant (*Ricinus communis* L.) genotypes in a Mediterranean climate. **European Journal of Agronomy**, v.11, p. 227–237, 1999.
- QUINTERO, V. P. *et al.* Assessing the genetic diversity of castor bean from Chiapas, México using SSR and AFLP markers. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 134 - 143, 2013.

RASSE, D. P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. **Plant and Soil**, v. 269, p. 341–356, 2005.

SAILAJA, M.; TARAKESWARI, M.; SUJATHA, M. Stable genetic transformation of castor (*Ricinus communis* L.) via particle gun-mediated gene transfer using embryo axes from mature seeds. **Plant Cell Reports**, v. 27, p. 1509–1519, 2008.

SCHOLZ, V.; SILVA, J. N. da. Prospects and risks of the use of castor oil as a fuel: Review. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, p. 95 – 100, 2008.

SILVA, N. de. L. da. *et al.* Simulation and cost estimate for biodiesel production using castor oil. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 88, p. 626–632, 2010.

SIMS, P. L.; SINGH, J. H. The structure and function of ten western North American grasslands. **Journal of Ecology**, v. 66, p. 573–597, 1978.

SINGH, D.; SINGH, S. P. Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 200–216, 2010.

WATANABE, K.; BIJMAN, J.; SLINGERLAND, M. Institutional arrangements in the emerging biodiesel industry: Case studies from Minas Gerais-Brazil. **Energy Policy**, v. 40, p. 381-389, 2012.

WEBB, J.; LOVELAND, P. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. **Soil & Tillage Research**, v. 70, p. 1–18, 2003.

WIESMAN, Z.; BERMAN, P.; NIZRI, S. Castor oil biodiesel and its blends as alternative fuel. **Biomass and bioenergy** v. 35, p. 2861-2866, 2011.

2 CARACTERIZAÇÃO DE DOIS PLANOSSOLOS NO SEMIÁRIDO CEARENSE E SEUS POTENCIAIS PARA PRODUÇÃO DE MAMONA

RESUMO

Atualmente existe forte apelo para que o petróleo seja substituído por fontes renováveis de energia. Nesse contexto, tem sido estimulada a produção de oleaginosas com potencial para produção de biodiesel. A mamona (*Ricinus communis* L.) é uma planta que apresenta este potencial e, por ser tolerante à seca, seu cultivo tem sido estimulado no semiárido no contexto da agricultura familiar. Entretanto, a expansão do setor bioenergético no semiárido pode ser limitada pela qualidade física dos solos predominantes na região. O presente estudo foi realizado com os objetivos de caracterizar dois Planossolos no semiárido cearense e indicar seus potenciais para a ricinocultura. O estudo foi conduzido em Pentecoste (CE), numa área cultivada com mamona. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas. Nas parcelas foram avaliados dois perfis de Planossolos (P1 e P2), enquanto que nas subparcelas foram avaliados dois horizontes (Ap e Btf) com 4 repetições. Na descrição morfológica foi constatada ocorrência do horizonte Btf em P1 a aproximadamente 60 cm de profundidade. Já no P2 esse horizonte ocorreu a 20 cm de profundidade, sugerindo possível limitação ao desenvolvimento e produtividade da mamoneira em relação ao P1. Na caracterização química foi constatado que os Planossolos estudados apresentam bom potencial produtivo devido ao seu caráter eutrófico, de média fertilidade natural, com maiores teores de cátions trocáveis no P2 em relação ao P1. O horizonte Btf apresentou maior densidade, menor porosidade total, menor macroporosidade e maior resistência à penetração em relação ao Ap. Atributos físicos com valores próximos aos considerados limitantes para o desenvolvimento vegetal ocorreram associados à presença do horizonte Btf. Os Planossolos com horizonte Btf a menores profundidades, apesar de garantirem maior umidade no início da estação seca, representam riscos de encharcamento no período chuvoso. Estes solos, quando comparados com Planossolos cujo Btf ocorre a maiores profundidades, apresentam na área de enraizamento atributos físicos com valores próximos aos considerados restritivos ao desenvolvimento vegetal.

Palavras-Chave: Qualidade física. Descrição morfológica. Bioenergia. *Ricinus communis* L.

2 CHARACTERIZATION OF TWO PLANOSOLS IN THE SEMI-ARID OF CEARÁ AND THEIR POTENTIAL FOR CASTOR PRODUCTION

ABSTRACT

Currently, there is a strong call for oil being replaced by renewable energy sources. In this context, it has been stimulated the oil production with potential for biodiesel production. Castor bean (*Ricinus communis* L.) is a plant with such a potential and, for being drought tolerant, its cultivation has been encouraged in the semiarid region in the context of family farming. However, the expansion of the bioenergy sector in the semiarid may be limited by the physical quality of the predominant soils in the region. This study was conducted with the objective of characterizing two Planosols in the semiarid of Ceará and indicating their potential for castor farming. The study was conducted at Pentecost (CE) in a cultivated area with castor. A completely randomized split-plot design was used. Two profiles of Planosols (P1 and P2) were evaluated in the plots, while two horizons (Ap and Btf) were evaluated in the subplots with 4 replications. In the morphological description was found the horizon Btf in P1 at approximately 60 cm depth. In P2 that horizon occurred at 20 cm depth, suggesting possible limitation to the development and yield of castor bean relative to P1. In the chemical profile was found that the Planosols studied have good yield potential due to their eutrophic character of medium natural fertility, with higher contents of exchangeable cations in P2 compared to P1. The Btf horizon showed greater density, lower porosity, lower macroporosity and greater penetration resistance compared to the Ap. Physical attributes with values close to those considered limiting for plant development were associated with the presence of the horizon Btf. Planosols with Btf horizon at the lower depths, although ensuring higher humidity at the early dry season, represent risks of flooding in the rainy season. These soils compared to Planosols whose Btf occurs at greater depths, show a rooting area, physical attributes with values close to those considered as restrictive to the plant development.

Keywords: physical quality. Morphological description. Bioenergy. *Ricinus communis* L.

2.1 INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro se enquadra no domínio morfoclimático da caatinga, abrangendo oito estados da região Nordeste, totalizando extensão territorial de, aproximadamente, 980 mil km². Concentra-se basicamente na região Nordeste ocupando 86,48% de sua totalidade (INSA, 2013).

Nestas regiões as características bioclimáticas singulares condicionam a formação de solos rasos e pedregosos, de textura média a argilosa. Formam-se verdadeiros “mosaicos de solo” com características variáveis mesmo em pequenas distâncias, com efeito da geomorfologia e geologia das caatingas (LEAL; TABARELLI; SILVA, 2003).

No contexto atual dos recursos bioenergéticos como componentes de mitigação de gases efeito estufa e segurança energética, as regiões semiáridas têm sido destacadas para produção de biocombustíveis com o intuito também de melhorar a renda local e permitir maior exploração de terras “pouco produtivas” (HABIB-MINTZ, 2010).

A agricultura no semiárido constitui um desafio, pois o clima é caracterizado por baixo volume de chuvas que apresentam variação temporal e espacial (ROCKSTROM *et al.*, 2002). Além do fator climático contribuindo para a instabilidade agrícola do semiárido, fatores de ordem edáfica têm limitado a produção vegetal, tornando a agricultura pouco rentável. Nestas regiões, o crescimento de culturas é limitado por atributos do solo, tais como: elevada densidade, baixa porosidade, elevada resistência à penetração e baixos teores de matéria orgânica (NICOU; CHARREAU; CHOPART, 1993).

Os baixos índices de produtividade que se tem obtido no semiárido constituem uma das razões para investir na produção de bioenergia nessas regiões. Considera-se que o investimento na produção de bioenergia no semiárido pode favorecer o desenvolvimento econômico e rural, além de trazer benefícios ambientais. Os benefícios ambientais seriam atribuídos à inserção de culturas bioenergéticas contribuindo para melhoria das condições do solo, aumentando o estoque de carbono e minimizando os processos erosivos (WICKE *et al.*, 2011).

O potencial dos solos para produção de bioenergia se baseia nos processos biológicos, nos processos de formação dos ambientes e em atributos como teores de matéria orgânica e de elementos químicos derivados do substrato geológico. Estes aspectos indicarão o potencial produtivo do solo. Logo, o conhecimento do potencial energético e de produção de biomassa do solo é importante para designar locais mais aptos à exploração e produção de biocombustíveis (VILCEK, 2013).

No semiárido cearense a ordem dos Planossolos tem ocorrência expressiva no Estado, abrangendo uma área equivalente a 44.822 km² (27% do Estado) (JACOMINE *et al.*, 1973). São solos que ocorrem geralmente em regiões de clima quente onde há variação sazonal das chuvas, apresentando características vérticas em função dos ciclos de umedecimento e secagem, típicos de ambientes semiáridos (VAN RANST, 2011). São solos pouco intemperizados com ocorrência de feldspatos potássicos, plagioclásios e argilominerais como a montmorilonita (JACOMINE *et al.*, 1973). No cenário econômico esses solos são importantes para a economia local e para a agricultura familiar.

Embora a maioria dos Planossolos possua boa fertilidade natural, estes solos apresentam limitações físicas, como a baixa condutividade hidráulica (OLIVEIRA, 2008). São solos imperfeitamente drenados, com horizonte superficial de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B, adensado em função de uma acentuada concentração de argila (IBGE, 2007).

Em estudo realizado por Araújo, Costa e Pinheiro (2013), com o intuito de identificar a profundidade efetiva do sistema radicular no bioma Caatinga, pôde-se evidenciar que, para a maioria das ordens de solos dominantes nesse bioma, a profundidade ocorre em torno de 60 a 70 cm não agravados com restrições físicas. Outras ordens de solos apresentam profundidade não superior a 40 cm. Assim, denota-se que o horizonte B plânico ocorrendo a profundidades inferiores a 60 cm possivelmente contribui como fator agravante à produção agrícola.

De acordo com Gaiser *et al.* (2013), solos caracterizados por pouca profundidade efetiva e diferenças verticais com relação à textura e aumento da densidade em subsuperfície afetam a penetração de raízes das plantas. A presença de camadas adensadas altera a distribuição radicular, promovendo diminuição no comprimento das raízes e aumento do crescimento lateral, apresentando como consequência diminuição na absorção de nutrientes (SHIERLAW; ALSTON, 1984).

Nesse contexto, Moret-Fernández *et al.* (2013) destacam que o desenvolvimento vegetal está relacionado com as propriedades físicas do solo. Assim, a qualidade física tem efeito significativo sobre o potencial agrícola para produção de bioenergia (Vilcek, 2013) sendo que esta, por sua vez, influencia o potencial de uso e a produtividade do solo (SPOSITO; ZABEL, 2003). Segundo Dexter (2004), a qualidade física do solo tem interdependência com a qualidade química. Portanto, atributos físicos e químicos atuam simultaneamente proporcionando benefícios às culturas ou limitando ainda mais o meio.

Durante o período chuvoso, a menor condutividade hidráulica do horizonte B em Planossolos leva à rápida saturação do horizonte suprajacente e à diminuição da infiltração de água. Esta redução faz com que a água se acumule sobre a superfície formando uma zona saturada entre o topo do horizonte B e a base do horizonte superficial (JORDANOVA; JARDANOVA; PETROV, 2011). Quando a zona de saturação é mantida durante período significativo do ano, o excesso de água pode limitar o desenvolvimento das plantas.

De acordo Armstrong e Drew (2002), um fator de impedimento ao fluxo de água reduz a concentração de oxigênio. A deficiência de oxigênio nos solos é prejudicial às raízes e para muitos processos realizados pelas plantas, tais como: absorção de água e nutrientes, crescimento e balanço hormonal. A intensidade destas limitações pode ser intensificada dependendo da profundidade de ocorrência do horizonte B.

O conhecimento das características dos solos que podem ser limitantes ao desenvolvimento das culturas regionais é uma ferramenta importante no planejamento de atividades agrícolas. A partir destas informações pode-se prever o comportamento dos solos e fazer inferências quanto à aptidão agrícola da região para uma determinada cultura.

Supõe-se que na ordem dos Planossolos ocorram variações na profundidade de ocorrência do horizonte B_{tf}, influenciando o potencial desses solos para o cultivo da mamona. Os objetivos do presente estudo foram: (a) realizar a caracterização morfológica e química, (b) avaliar a profundidade de ocorrência do horizonte B_{tf} e (c) determinar valores de atributos físicos de dois Planossolos cultivados com mamona no semiárido cearense.

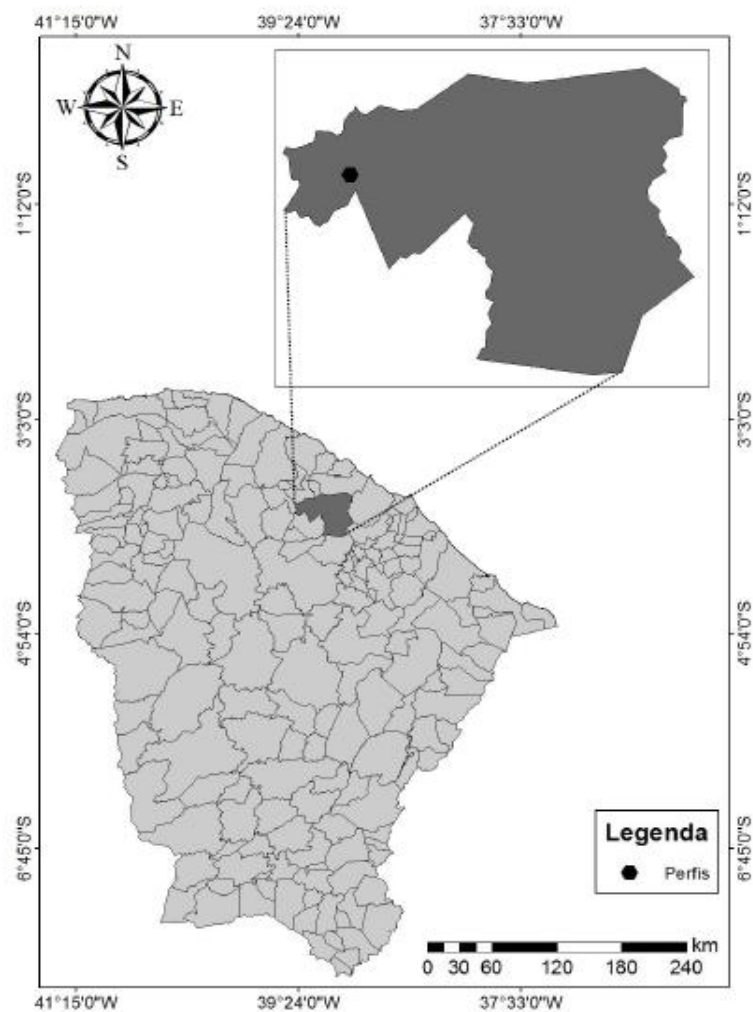
2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Vale do Curu, localizada no Município de Pentecoste (CE), situada geograficamente na microrregião do Médio Curu, com coordenadas de 6°47'34'' de latitude sul e a 39°16'13'' de longitude, a uma altitude média de 60 metros acima do nível do mar (FIGURA 1) (SOUZA *et al.*, 2007).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Aw' tropical chuvoso com cinco a oito meses secos. As temperaturas médias variam de 22 °C a 28 °C. A precipitação média anual varia de 600 mm a 1.100 mm com estação chuvosa concentrada entre os meses de janeiro e abril (SOUZA *et al.*, 2007).

Figura 1 – Município de Pentecoste (CE) e localização dos perfis estudados.



Fonte: Pantaleão (2013)

2.2.2 Caracterização de Planossolos

A partir de tradagens realizadas na área de estudo foram constatadas diferenças na profundidade efetiva, com um ponto de ocorrência de solo mais profundo e outro ponto com ocorrência de solo mais raso. Uma trincheira foi aberta em cada ponto para avaliação dos perfis que foram denominados P1 e P2.

As trincheiras apresentaram dimensões de 1,0 x 1,2 x 1,0 m. Após exposição dos perfis, os horizontes foram delimitados e analisados. A descrição dos perfis foi realizada segundo Santos *et al.* (2005), a partir de observações de características morfológicas perceptíveis para cada horizonte, tais como: cor, textura, estrutura, consistência, transição, cerosidade, nódulos e concreções. A delimitação de horizontes e a determinação da profundidade de ocorrência do horizonte B textural também foram feitas por meio da descrição morfológica, seguindo a proposta de Santos *et al.* (2005). A classificação dos solos foi feita de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

Nos horizontes Ap e Btf de cada perfil foram coletadas amostras deformadas e indeformadas em quatro repetições. As amostras foram levadas para o Laboratório de Manejo do Solo (LMS) da Universidade Federal do Ceará (UFC). As amostras deformadas foram destorroadas, secas ao ar e passadas por peneiras com malha de 2 mm de abertura para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Na sequência, foram feitas análises físicas (granulometria, argila dispersa em água e densidade de partículas) e químicas, conforme procedimentos descritos em Embrapa (1997).

As análises químicas realizadas nas amostras deformadas foram pH em água e em KCl, na proporção de 1:2,5, determinado em peagômetro; condutividade elétrica (C.E.), obtida no extrato da pasta saturada e determinada em condutivímetro; cátions trocáveis, cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectrofotometria de absorção atômica; sódio (Na^+) e potássio (K^+) extraídos com solução de Mehlich-1 e determinados por fotometria de chama; alumínio trocável (Al^{3+}) extraído com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinado por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹; a acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) extraída com solução acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0 e determinada por titulação alcalimétrica com NaOH 0,025 mol L⁻¹. A partir destes dados foram calculados, conforme Embrapa (1997): a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC), a saturação por bases (V%), a percentagem de saturação por alumínio (m%) e a percentagem de sódio trocável (PST).

Adicionalmente, foram feitas determinações de fósforo (P), extraído com Mehlich-1 e quantificado por colorimetria; nitrogênio total (N), extraído com solução

digestora com sulfato de amônio e determinado por acidimetria com H_2SO_4 ; carbono orgânico, determinado pelo método da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico; e equivalente em carbonato de cálcio ($CaCO_3$), determinado com solução padrão de HCl e quantificado por titulação com solução de NaOH 0,25 N.

As amostras indeformadas foram utilizadas para determinar atributos físicos. A densidade do solo (D_s) foi determinada utilizando o método do anel volumétrico (BLAKE; HARTGE, 1986) com amostras coletadas em cilindros (5 cm de diâmetro e 3 cm de altura) com auxílio do amostrador tipo Uhlund. A porosidade total foi determinada a partir da densidade do solo (D_s) e da densidade de partículas do solo (D_p), conforme as equações:

$$PT = 1 - \frac{D_s}{\rho_p} \quad (1)$$

$$\rho_p = \frac{\text{massa do solo seco (105}^\circ\text{)}}{(50 - \text{volume de álcool gasto})} \quad (2)$$

A microporosidade (Mic) foi considerada como a água retida a uma tensão de 60 centímetros de coluna de água (cca). Após serem medidas na tensão de 60 cca as amostras foram secas em estufa a 105 °C até peso constante. Por diferença de massa de água foi estimado o percentual de microporos. A macroporosidade (Mac) foi calculada pela diferença entre a porosidade total (Pt) e a microporosidade. Todos os procedimentos foram realizados segundo Danielson e Sutherland (1986).

A resistência do solo à penetração (RP) foi determinada em laboratório com as amostras indeformadas. As amostras foram submetidas à tensão de 100 cca e, após estabilização na tensão, foram realizadas medidas da resistência no centro geométrico dos anéis com o auxílio de um penetrômetro eletrônico estático de laboratório (Marconi MA-933). Os resultados foram obtidos e armazenados em software próprio do equipamento (Tormena, Silva e Libardi, 1998), sendo os valores obtidos em Kgf convertidos a MPa.

2.2.3 Análises estatísticas

Foi utilizado o software SISVAR para executar as análises estatísticas. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, mediante constatação de diferença significativa, os valores médios foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de

probabilidade. Foi utilizada a correlação de Pearson entre atributos de umidade vs. microporosidade.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.3.1 Caracterização morfológica

Com base nas informações obtidas a partir de descrição morfológica e das análises químicas, o solo de P1 foi classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico. Já o solo de P2 foi classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico.

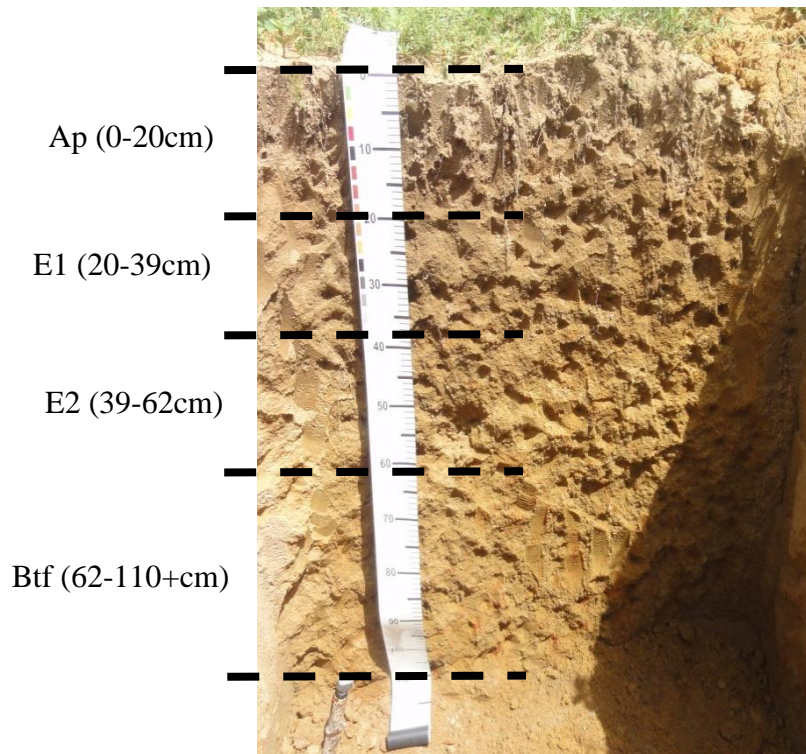
No TABELA 1 visualiza-se a caracterização morfológica dos dois perfis. A descrição completa de P1 e P2 é apresentada nos Apêndices 1 e 2. Na descrição morfológica foi constatado que o horizonte Btf em P1 ocorreu a aproximadamente 60 cm de profundidade. Já em P2 o horizonte Btf foi encontrado a uma profundidade de 20 cm, conforme ilustrado nas FIGURAS 2 e 3.

Do ponto de vista de produção de mamona, Planossolos com pequena profundidade efetiva podem comprometer a produtividade. Reddy *et al.* (2004), avaliando a influência da profundidade do solo sobre a produtividade da mamona, observaram que há respostas positivas da mamona em função do incremento de profundidade, enquanto que a situação oposta tem efeito deletério sobre a cultura.

Tabela 1- Características morfológicas de perfis de Planossolos no semiárido cearense

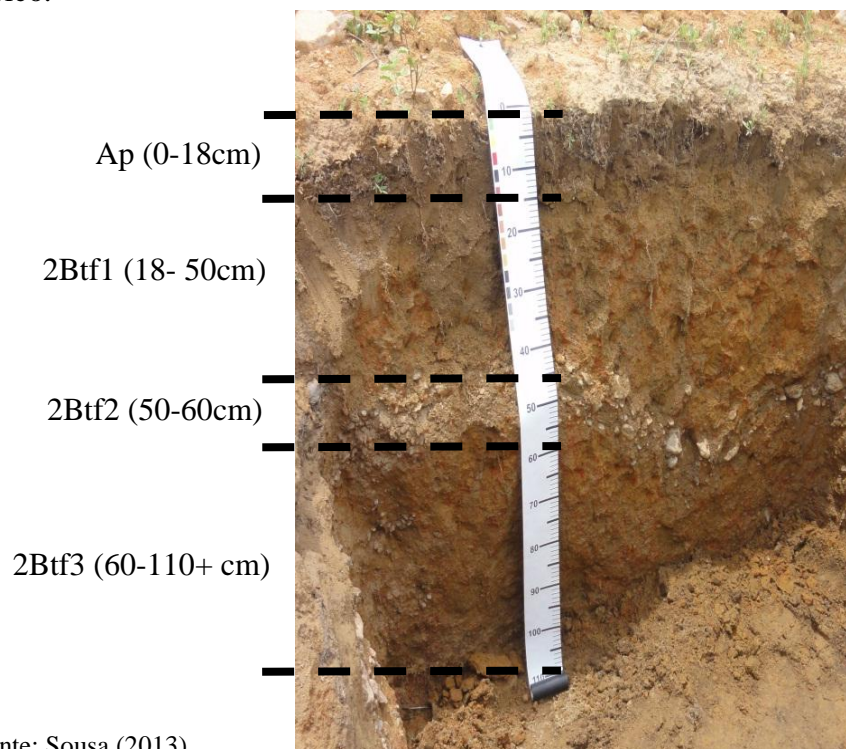
Hor.	Prof. (cm)	Cor			Estrutura	Consistência			Transição
		Úmida	Seca	Mosqueados		Seca	Úmida	Molhada	
PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico – PERFIL 1 – PROFUNDO									
Ap	0-20	2,5Y 4/3	10YR 6/4	Não presente	Fraca, muito pequena, pequena e média, blocos subangulares	Ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso.			Clara e plana
E1	20-39	2,5Y 4/4		Não presente	Fraca e moderada, muito pequena, pequena e média, blocos subangulares	Ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso.			Gradual e plana
E2	39-62	2,5Y 5/6		7,5YR 5/8	Moderada, pequena e média, blocos subangulares	Duro, muito friável, não plástico e não pegajoso.			Clara e irregular
Btf	62-110+	2,5Y 5/4		2,5YR 4/8		Muito duro, firme, plástica e pegajosa.			
PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico – PERFIL 2 – RASO									
Ap	0-18	2,5Y 4/3	2,5Y 6/4	Não presente	Moderada, pequena e média, blocos subangulares	Duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.			Abrupta e plana
2Btf1	18-50	2,5Y 5/4 e 2,5YR 5/8		2,5YR 4/8		Muito duro, firme, muito plástico, muito pegajoso.			Clara e ondulada
2Btf2	50-60	2,5Y 5/4 e 2,5YR 5/8		2,5YR 4/8		Muito duro, firme, muito plástico, muito pegajoso.			Clara e ondulada
2Btf3	60-110+	2,5Y 6/6 e 2,5YR 5/8		2,5YR 4/8		Muito duro, firme, muito plástico, muito pegajoso.			Clara e irregular

Figura 2 – Distribuição e classificação do perfil 1: PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico.



Fonte: Sousa (2013)

Figura 3 – Distribuição e classificação do perfil 2: PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico.



Fonte: Sousa (2013)

Ambos os perfis apresentam características morfológicas típicas dos Planossolos, segundo Embrapa (2013). Essas características envolvem a existência de horizontes superficiais de textura mais leve, com transição abrupta nítida entre os horizontes A e B. Os horizontes mais profundos são marcados por acentuada concentração de argila que contrasta com os horizontes de superfície (IBGE, 2007).

O perfil P1 apresentou sequência de horizontes Ap, E1, E2 e Btf (FIGURA 2) com transições clara, plana, gradual e irregular entre horizontes. Já P2 apresentou sequência de horizontes Ap, 2Btf1, 2Btf2, 2Btf3 (FIGURA 3) com transições abrupta, plana, clara, ondulada e irregular entre os horizontes. O perfil P2 também apresentou camada pedregosa formada por cascalhos e calhaus que se distribuem ao longo do horizonte 2Btf2.

O horizonte A, tanto em P1 como em P2, apresentou cores bruno-oliváceas no matiz 2,5Y, com valor 4 e croma 6. O perfil P1 apresentou horizonte A mais espesso (20 cm) e maior profundidade efetiva (62 cm) formada pelo desenvolvimento dos horizontes E1 e E2 até o desenvolvimento do horizonte textural. Já o perfil P2 apresentou o horizonte A pouco desenvolvido com apenas 18 cm de espessura, além da ausência do horizonte E, caracterizando menor profundidade efetiva, limitando o crescimento das raízes. Nesse âmbito, a principal diferença morfológica entre P1 e P2 é a maior profundidade efetiva.

Maior profundidade efetiva com ausência de gradiente textural exerce efeitos positivos na utilização agrícola dos solos (GAISER *et al.*, 2013). A condição de P1 atribui a esse solo a maior permeabilidade e menor restrição ao desenvolvimento radicular.

O perfil P2 apresentou feições que indicam contribuição de material transportado de posições mais elevadas, pois a presença de cascalhos em subsuperfície é evidência de sobreposição de solo. Leal, Tabarelli e Silva (2003) destacam que na condição semiárida, a vegetação natural de baixa proteção normalmente favorece o transporte de materiais.

A estrutura foi caracterizada por blocos subangulares, muito pequena a pequena a média, com grau fraco no horizonte superficial a moderadamente desenvolvida nos horizontes de subsuperfície no perfil P1. No segundo perfil (P2) a estrutura também foi em blocos subangulares, de pequena a média, com grau de desenvolvimento moderado.

Quanto à consistência, P1 apresentou menor dureza e maior friabilidade como reflexo da textura mais arenosa. O incremento de argila em subsuperfície tornou a consistência dura a muito dura, expressando características de plasticidade e pegajosidade.

No P2 a textura argilosa foi responsável pela maior manifestação das forças de coesão e adesão em comparação ao P1. Assim, P2 apresentou consistência dura a muito dura,

ligeiramente plástica e pegajosa a muito plástica e muito pegajosa, a partir dos primeiros horizontes.

A consistência é influenciada pela umidade, textura e teor de argila. O teor de argila é responsável por imprimir maior coesão entre as partículas. Em geral, solos que apresentam consistência plástica e pegajosa permitem inferir a presença de minerais de argila 2:1 com alta atividade (LIER, 2010). A condição climática semiárida, caracterizada por baixa precipitação e, conseqüentemente, menor intemperização dos solos, favorece a formação e preservação de argilominerais 2:1 (LEAL; TABARELLI; SILVA, 2003; MELO; ALLEONI, 2009b).

O horizonte B_{tf} de ambos os perfis foi caracterizado pela baixa permeabilidade (OLIVEIRA, 2008) que impede a penetração de raízes e a drenagem livre. Mediante condições de umidade, forma-se lençol suspenso de água no horizonte textural, de forma que a estagnação de água, seguida por ciclos de umedecimento e secagem, favorecem a formação de mosqueados (JORDANOVA; JARDANOVA; PETROV, 2011). Nos perfis estudados a presença de mosqueados foi mais efetiva em P2 do que em P1. Essa maior expressividade na quantidade de mosqueados sugere a condição de drenagem mais restrita em P2.

2.3.2 Caracterização química

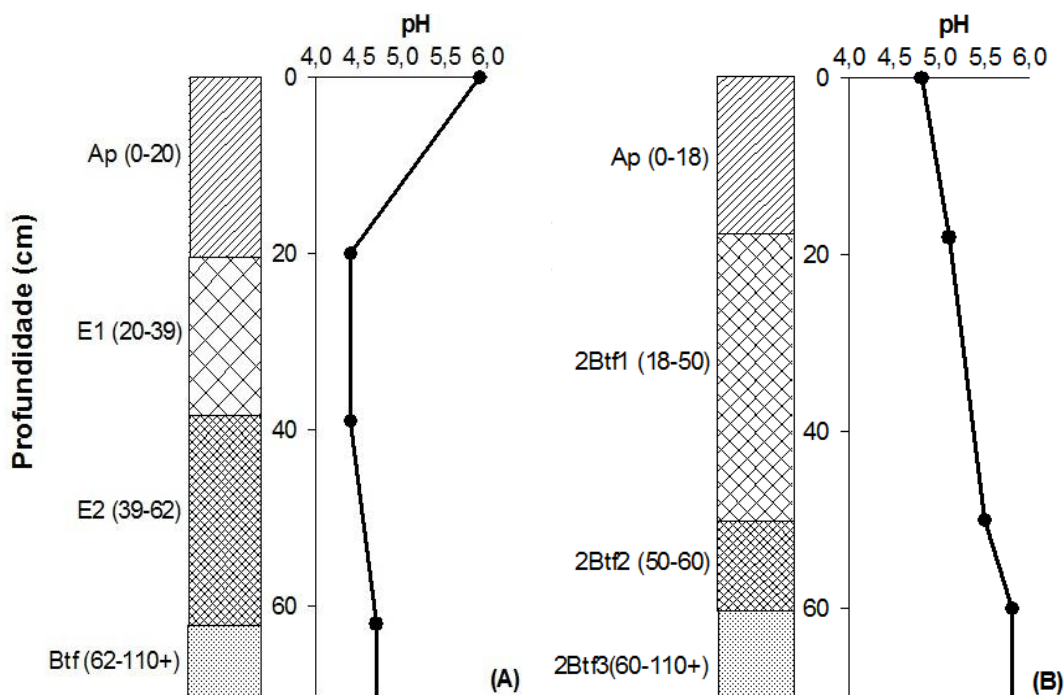
As características químicas dos dois perfis em estudo são apresentadas na TABELA 2. Ambos os perfis apresentaram acidez moderada, tendendo a reação ácida em profundidade (P1). Em P2 a reação alcalina moderada teve relação direta com a profundidade e o maior aumento foi observado no topo do 2B_{tf}3. O pH do horizonte eluvial foi baixo (cerca de 4,4) e, a partir deste valor, foi observado ligeiro aumento em profundidade ao topo do horizonte textural (FIGURA 4).

Tabela 2 – Atributos químicos de Planossolos no semiárido cearense

Hor.	Prof. (cm)	pH (1:2,5)		C.E (dS m ⁻¹)	Complexo Sortivo								V ²	m ³	PST ⁴	Eq. CaCO ₃	C	N	M.O	C/N	P
		Água	KCl		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SB ¹	Al ³⁺	H+Al	CTC									
P1 - PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico																					
Ap	0-20	5,9	4,8	0,38	1,7	0,5	0,2	0,2	2,6	0,3	0,8	3,4	75,8	9,6	5,9	27,0	3,0	0,3	5,1	10,5	2,6
E1	20-39	4,4	3,8	0,10	0,7	0,2	0,2	0,2	1,3	0,8	1,1	2,5	54,5	37,4	8,7	--	1,6	0,3	2,8	5,8	0,9
E2	39-62	4,4	3,7	0,10	0,7	0,2	0,2	0,2	1,3	1,2	0,9	2,2	57,1	48,7	8,8	--	1,5	0,1	2,6	17,9	1,2
Btf	62-110+	4,7	3,8	0,11	1,6	0,3	0,2	0,2	2,3	0,8	1,0	3,3	69,2	24,4	6,2	25,0	3,1	0,0	5,4	75,0	1,3
P2 - PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico																					
Ap	0-18	4,8	4,2	0,43	1,9	0,4	0,2	0,3	2,8	0,4	1,8	4,6	60,5	12,6	5,3	25,5	8,5	0,2	14,7	40,5	3,3
2Btf1	18-50	5,1	4,3	0,11	2,7	2,3	0,3	0,2	5,6	0,5	1,7	7,3	76,3	7,5	4,0	24,8	4,7	0,1	8,2	47,4	0,8
2Btf2	50-60	5,5	4,6	0,12	2,5	2,9	0,4	0,3	6,0	0,4	1,2	7,1	83,8	6,6	4,9	25,2	5,0	0,1	8,7	35,8	3,9
2Btf3	60-110+	5,8	5,1	0,13	2,3	4,9	0,4	0,2	7,9	0,3	0,9	8,8	89,3	4,0	4,7	25,5	4,1	0,1	7,0	28,9	1,6

⁽¹⁾ Soma de bases. ⁽²⁾ Saturação por bases. ⁽³⁾ Percentual de saturação por alumínio trocável. ⁽⁴⁾ Percentual de sódio trocável.

Figura 4 – Variação de pH em KCl nos perfis estudados. (A) PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico; (B) PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico.



Fonte: Sousa, (2013)

Jardanova, Jardanova e Petrov (2011), estudando Planossolos na Bulgária, encontraram efeito similar para variações do pH em profundidade. Valores de pH em Planossolos semelhantes aos do presente estudo também foram observados por Cornelis *et al.* (2013).

Um dos fatores que limitam a extensão rizosférica no solo é o pH. Por conseguinte, mudanças químicas no ambiente de formação radicular influenciam a solubilidade e absorção de nutrientes (MELO; ALLEONI, 2009b). Considerando que a maior disponibilidade de nitrogênio e de fósforo se dá em função do aumento no pH, P2 estaria mais apto ao desenvolvimento vegetal do ponto de vista químico.

Para o pH em KCl foram observados menores valores em relação ao pH em água para ambos os perfis estudados. Isto implica o domínio de cargas negativas na superfície dos colóides, favorecendo o complexo de troca e a adsorção de cátions (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Em P1 os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis variaram de 0,7 a 1,7 e de 0,2 a 0,5 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ de solo, respectivamente, aumentando em profundidade a partir do horizonte Ap, particularmente no horizonte Btf. Para o P2, teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis foram superiores (1,9 a 2,3 e de 0,4 a 4,9 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, respectivamente) em relação ao P1, mantendo a mesma dinâmica de aumento em profundidade.

No P2 houve predomínio do íon Mg^{2+} em relação ao Ca^{2+} a partir do 2Btf2, de forma que esse aumento foi gradativo com a profundidade. Estes valores são corroborados por trabalhos realizados por Jacomine (1973) e Oliveira *et al.* (2003). Em estudos realizados em Planossolos no semiárido tem se observado predomínio do íon Mg^{2+} na solução solo, uma das razões que explicam essa dinâmica está relacionada à mineralogia do material de origem, rico em minerais ferromagnesianos como a biotita e mica. Vários estudos têm demonstrado que o intemperismo da biotita favorece a liberação desse cátion na solução do solo e, conseqüentemente, em alguns casos há o predomínio nos sítios de troca (REBERTUS; WEED; BUOL, 1986; KRETZSCHMAR *et al.*, 1997).

Quanto à soma de bases (SB), foi verificada tendência de aumento em função da profundidade. Os maiores incrementos na SB foram observados no horizonte Btf, com valor de 2,3 $cmol_c kg^{-1}$ no P1; 5,6; 6,0 e 7,9 $cmol_c kg^{-1}$ no 2Btf1, 2Btf2 e 2Btf3 de P2. A maior contribuição para a soma de bases foram os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} .

A atividade do alumínio diminui com o aumento do pH e com a presença de argila 2:1 (MELO; ALLEONI, 2009a). Essa relação corrobora a dinâmica observada em ambos os perfis estudados, sendo que houve aumento na atividade do alumínio em P1 em função do pH mais ácido em profundidade. Por outro lado, houve redução na atividade de alumínio em profundidade em P2, relacionada com o aumento do pH. É provável que a possível presença de minerais de argila do tipo 2:1 também tenha favorecido esses aspectos de atividade de alumínio.

A CTC apresentou tendência similar à soma de bases nos dois perfis estudados. Os valores aumentaram com a profundidade, mas a maior CTC foi observada em P2 com valores de 4,6; 7,3; 7,1 e 8,8 $cmol_c kg^{-1}$ nos horizontes Ap, 2Btf1, 2Btf2, 2Btf3, respectivamente. O P1 apresentou menores valores de CTC, na ordem de 3,4; 2,5; 2,5 e 3,3 $cmol_c kg^{-1}$ nos horizontes Ap, E1, E2 e Btf1, respectivamente. Os valores médios de CTC observados no horizonte A de ambos os perfis têm relação, principalmente, com o aporte de matéria orgânica (MOS) na superfície do solo. A dissociação dos grupos hidroxila é responsável pela maior contribuição da MOS na troca catiônica do solo (MELO; ALLEONI, 2009a).

O incremento da CTC nos horizontes subsuperficiais possivelmente está relacionado com os teores de argila crescentes em profundidade.

Com relação à saturação por bases (V%), tanto P1 quanto P2 apresentaram valores acima de 50% caracterizando solos eutróficos. A existência de minerais intemperizáveis faz

com que a maioria dos solos do semiárido tenha boa fertilidade, pois estes minerais funcionam como reservas de nutrientes (JACOMINE *et al.*, 1973).

Em relação ao percentual de sódio trocável (PST), verificou-se que o P1 apresenta possível restrição ao desenvolvimento vegetal devido aos valores superiores a 6% a partir dos 20 cm de profundidade nos horizontes eluviais E1 e E2. No entanto, para o cultivo de mamona essa condição não é considerada limitante. Estudos têm demonstrado que a mamona apresenta certa tolerância à salinidade, sendo utilizada como alternativa em áreas afetadas por sais (QIN *et al.*, 2012).

Os teores de carbono em ambos os perfis analisados foram baixos, menores que 10 g kg^{-1} . Em linhas gerais, a condição semiárida favorece perdas de carbono em função da acelerada taxa de oxidação da MOS, assim como a vegetação com baixa fitomassa não proporciona incrementos significativos para manter o estoque de carbono (OLIVEIRA *et al.*, 2003; LEAL; TABARELLI; SILVA, 2003). No entanto, P2 apresentou maior teor de carbono quando comparado ao P1. Nos dois perfis houve decréscimo de carbono em profundidade, com exceção dos horizontes Btf1 do P1 e o 2Btf2 do P2.

É possível que frações de carbono mais móveis, como os ácidos fúlvicos, tenham migrado de horizontes superiores para a subsuperfície, favorecendo o incremento de C em profundidade (IBRAIMO *et al.*, 2004). Os mesmos autores explicam que, em geral, os componentes fúlvicos da MOS tendem a formar complexos orgânicos mais solúveis em meios ricos em Na, dando origem provavelmente a fulvatos de sódio, explicando possivelmente a mobilidade destes no perfil, assim os valores observados no P1 quanto à presença orgânica em profundidade são consistentes com o aumento do PST a partir dos 20 cm do perfil.

Os maiores teores de carbono em P2 têm relação direta com o maior percentual de argila, pois a MOS interage com a superfície dos minerais. Nessa interação a MOS se torna mais estável devido à proteção coloidal. Solos argilosos contribuem para formação de complexos organominerais, proporcionando menores taxas de oxidação (MELO; ALLEONI, 2009a).

Os valores de P foram baixos em ambos os perfis estudados. Os solos do semiárido nordestino têm sido reconhecidos como deficientes em P (SILVEIRA *et al.*, 2006), pois esta é uma condição inerente aos solos brasileiros (BRASIL, 1972). Porém, verificou-se que a disponibilidade de P foi maior nos horizontes superficiais e os menores valores foram encontrados nas camadas mais profundas. Isso devido à MOS atuar como fonte de nutrientes, favorecendo a disponibilidade do P em superfície (MELO; ALLEONI, 2009a). Nos

horizontes subsuperficiais Btf1(P1) e 2Btf2 (P2) que tiveram incrementos de MOS em profundidade, foi possível observar ligeiros incrementos nos teores de fósforo.

2.3.3 Caracterização física

Os dois perfis estudados apresentaram gradiente textural, pois foram encontrados maiores teores de argila no horizonte Btf em relação ao Ap. O incremento de argila em P2 foi mais acentuado (TABELA 3).

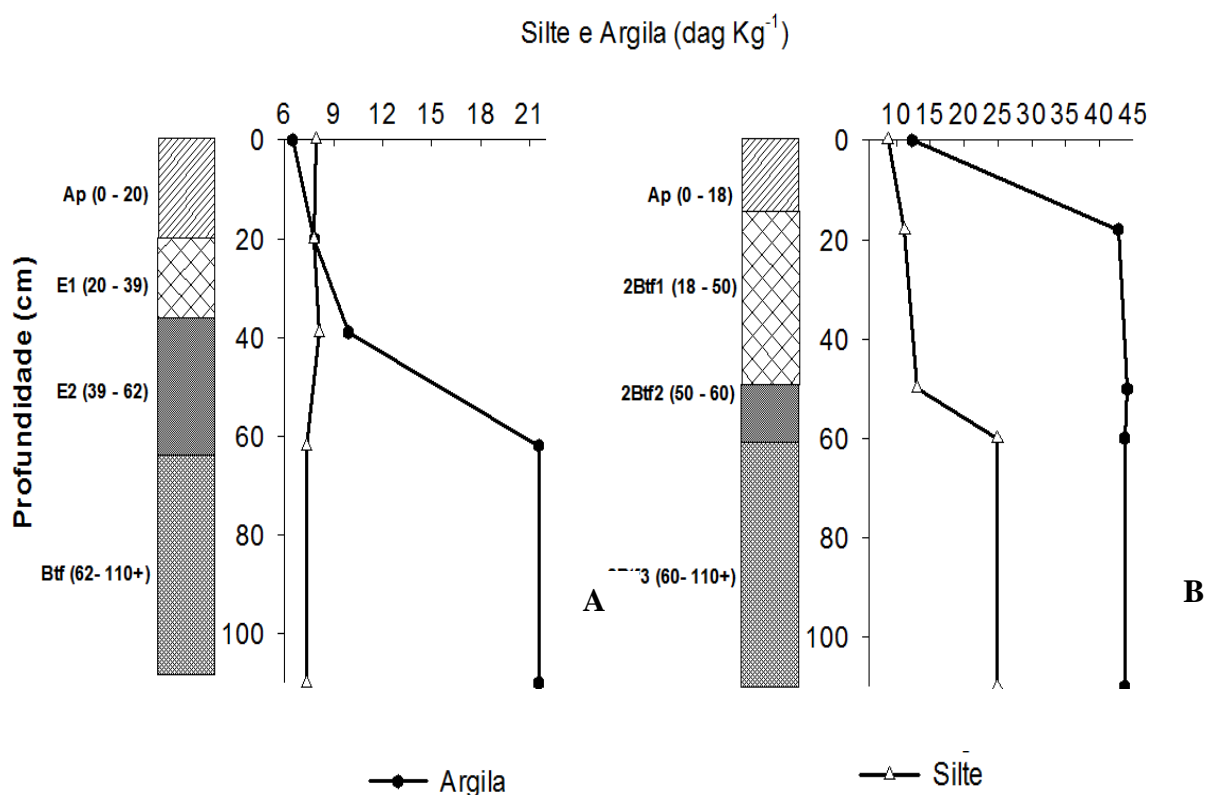
Tabela 3 – Granulometria e características físicas de Planossolos no semiárido cearense

Horizontes		Granulometria					Densidade			Pt (%)		
Símb	Prof.	AT	AG	AF	Silte	Argila	ADA	GF	Silte/Argila		Ds	Dp
		----- dag kg ⁻¹ -----										
PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico – PERFIL 1 – PROFUNDO												
Ap	0-20	85,6	41,2	44,5	7,9	6,5	2,3	64,2	-	1,5	2,7	42,0
E1	20-39	84,4	52,5	31,9	7,8	7,8	3,9	49,6	-	1,6	2,6	37,3
E2	39-62	81,9	43,9	38,1	8,1	9,9	5,1	48,6	-	-	2,6	-
Btf	62-110+	71,1	37,4	33,8	7,3	21,6	11,1	48,5	0,3	1,7	2,6	34,1
PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico – PERFIL 2 – RASO												
Ap	0-18	78,9	28,1	50,9	8,7	12,3	5,6	54,1	-	1,5	2,6	43,1
2Btf1	18-50	45,9	20,1	25,9	11,2	42,8	20,4	52,3	0,3	1,7	2,7	36,3
2Btf2	50-60	42,8	29,1	13,8	13,0	44,1	19,7	55,3	0,3	-	2,6	-
2Btf3	60-110+	31,3	18,5	12,9	24,9	43,8	6,2	85,8	0,6	-	2,6	-

AT: areia total; AG: areia grossa; AF: areia fina; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; Pt: porosidade total.

O perfil P1 apresentou menores percentuais de argila em seus horizontes, com incremento perceptível com o aumento da profundidade. A composição granulométrica do P2 confere a esse solo uma textura mais argilosa, com a argila concentrada principalmente nos horizontes 2Btf1, 2Btf2 e 2Btf3, que apresentaram 42,8%; 44,1% e 43,8% de argila, respectivamente (FIGURA 5). A maior expressividade da argila em subsuperfície pode estar relacionada com processos de argiluviação (EMBRAPA, 1999). O incremento de argila em profundidade confere a estes perfis maior retenção e armazenamento de água e nutrientes.

Figura 5 - Variação das frações granulométricas (silte e argila) nos perfis estudados. (A) PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico; (B) PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico.



Fonte: Sousa (2013)

A argila dispersa em água (ADA) é um atributo que tem sido utilizado como indicador de erodibilidade do solo, mas pode também representar a atividade da fração argila (LIER, 2010). Nos perfis estudados a ADA aumentou com a profundidade em P1, o que está relacionado com o incremento de argila. Esse aumento na ADA também está consistente com o aumento do PST a partir de 20 cm de profundidade. No P2 observou-se que os maiores valores de ADA ocorreram nos horizontes 2Btf1 e 2Btf 2, seguido de diminuição em profundidade.

Maiores valores de ADA implicam menor estruturação do solo, pois este atributo contribui com a diminuição da macroporosidade, dificultando a infiltração de água no perfil, assim como as trocas gasosas. Segundo Oliveira *et al.* (2003), os índices mais elevados de ADA ocorrendo em horizontes plânicos estão relacionados com a mineralogia esmectítica. Portanto, quanto mais ativa a fração argila, maior será a adsorção de água e consequentemente, maior será a dispersão (LIER, 2010).

O grau de floculação (GF) aumenta com a diminuição da ADA. O perfil P1 apresentou maior GF em superfície diminuindo gradativamente em profundidade, já P2 teve

diminuição do GF no topo do 2Btf1 seguida por aumento dos valores em profundidade. Os valores mais baixos de GF foram observados nos horizontes Btf, com exceção do 2Btf2 e 2Btf3 do P2. Possivelmente a maior agregação no horizonte 2Btf3 tenha colaborado com os menores valores de ADA e, conseqüentemente, com o maior grau de flocculação.

A densidade de partículas variou de 2,6 a 2,7 g cm⁻³ entre os horizontes estudados em ambos os perfis. Solos minerais geralmente apresentam densidade de partículas variando de 2,60 a 2,70 g cm⁻³ (BUCKMAN; BRADY, 1974), o que indica a predominância de quartzo, cuja massa específica é de 2,65g cm⁻³ (LIER, 2010).

2.3.3.1 Interação entre atributos físicos e perfis de Planossolos

Para os atributos físicos densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, umidade e resistência à penetração foi feita comparação entre perfis e horizontes. O resumo da análise de variância indicou interação entre perfis e horizontes para os atributos microporosidade e umidade do solo (TABELA 4).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias para as variáveis densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), resistência à penetração (RP) e umidade (Umi).

Valor F ²						
Fonte de variação	Ds	Pt	Mac	Mic	Umi	RP
Perfis	0,4 ^{ns1}	0,5 ^{ns}	8,6 [*]	40,9 ^{**}	15,4 ^{**}	16,1 ^{**}
Horizontes	17,1 ^{**}	17,5 ^{**}	76,7 ^{**}	238,3 ^{**}	141,4 ^{**}	28,6 ^{**}
Perfis x Horizonte	0,5 ^{ns}	0,1 ^{ns}	4,5 ^{ns}	36,6 ^{**}	27,1 ^{**}	1,0 ^{ns}
CV (Perfil - %)	7,8	12,3	23,8	4,5	7,9	17,4
CV (Horizontes - %)	5,8	9,0	27,2	3,1	3,0	14,0
	--g cm ⁻³ --	------(%)-----				--MPa--
PERFIL 1	1,62 a ²	38,0 a	18,3 a	19,7 b	12,2 b	0,8 b
PERFIL 2	1,58 a	39,7 a	12,9 b	26,9 a	16,8 a	1,5 a
		Horizontes				
Ap	1,51 b	42,6 a	24,9 a	17,7 b	11,8 b	0,7 b
Btf	1,70 a	35,2 b	6,3 b	28,9 a	17,1 a	1,6 a

¹** , * e ns: Significativo a 1, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. ²Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Na TABELA 5 constata-se que P2 apresentou maior microporosidade (35,1%) quando comparado ao P1 (22,8%) no horizonte Btf. Este horizonte apresentou maior microporosidade que o Ap nos dois perfis estudados.

Tabela 5 - Valores médios de microporosidade e umidade gravimétrica considerando os perfis e horizontes estudados.

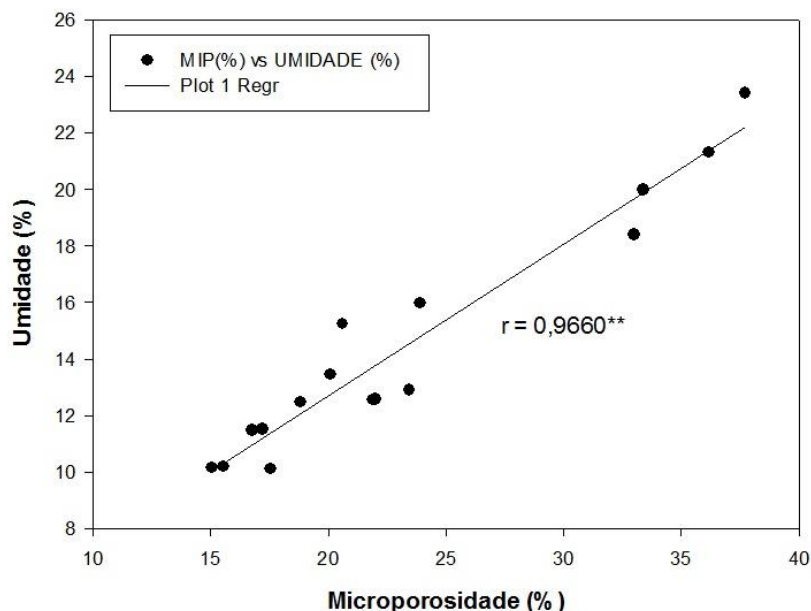
Horizontes	Microporosidade		Umidade Gravimétrica	
	Ap	Btf	Ap	Btf
	-----%-----			
Perfil 1	16,6 aB	22,8 Ba	10,8 aB	13,5 bA
Perfil 2	18,8 aB	35,1 Aa	12,8 aB	20,8 aA

Letras minúsculas comparam médias nas colunas para cada perfil de solo. Letras maiúsculas comparam médias nas linhas para os atributos Microporosidade e Umidade.

A microporosidade é importante na retenção e armazenamento de água no solo (LIER, 2010). Nesse contexto, é possível relacionar a maior umidade em função da maior microporosidade, sendo portanto o P2 mais efetivo no armazenamento de água em relação ao P1. Entre horizontes este efeito foi mais pronunciado em subsuperfície, principalmente com o aumento de argila em profundidade.

Os atributos de microporosidade e umidade apresentaram forte correlação positiva ($r=0,96$), conforme demonstrado na FIGURA 6.

Figura 6 - Correlação entre umidade e microporosidade



Fonte: Sousa (2013)

Estudos têm demonstrado que solos com restrições físicas, em condições de saturação, apresentam maior capacidade de reter água. Assim, a quantidade de água retida

pelo solo a tensões acima de 0,01 MPa é de grande interesse para o estudo da disponibilidade de água para as plantas (CAMARGO; ALLEONI, 2006).

É importante salientar que nas condições semiáridas, os aspectos negativos de restrição física têm sido considerados favoráveis na manutenção da reserva hídrica na zona de enraizamento. A microporosidade, de maneira geral, aumenta a quantidade de água na faixa de disponibilidade para as plantas (OLIVEIRA, 2008; CAMARGO; ALLEONI, 2006). Na agricultura de sequeiro no semiárido, a capacidade que o solo tem de armazenar água é importante para garantir as colheitas (MARTÍNEZ; LAMPURLANÉS, 2006). Mediante as condições climáticas do semiárido a água armazenada no solo poderá aumentar a produtividade, ou mesmo contribuir com a manutenção da cultura durante veranicos (PLAYÁN *et al.*, 1998).

No entanto, é importante enfatizar que durante o período chuvoso o predomínio de microporos em subsuperfície favorece o acúmulo de água no horizonte B textural. Assim, plantas menos adaptadas às condições de hidromorfismo sofrem distúrbios fisiológicos que podem limitar seu desenvolvimento (OLIVEIRA, 2008). Estudos têm demonstrado que a mamoneira, em contraste à sua adaptabilidade ao estresse hídrico, é uma planta sensível a ambientes anóxicos. O encharcamento em culturas de mamona reflete-se negativamente na produtividade (SEVERINO *et al.*, 2005). Mohanty *et al.* (2007) observaram que, similar às condições dos Planossolos, a baixa infiltração e o encharcamento que também ocorrem nos Vertissolos são responsáveis pela baixa produção ($<1 \text{ t ha}^{-1}$) de soja.

A densidade do solo variou de $1,58 \text{ g cm}^{-3}$ (P2) a $1,62 \text{ g cm}^{-3}$ (P1). A maior densidade observada em P1 está associada ao maior percentual da fração areia em relação ao P2, pois quanto maior a quantidade de areia maior será a densidade, principalmente se esta estiver associada a baixos teores de matéria orgânica.

Os valores de densidade e porosidade total diferiram em resposta aos horizontes estudados (TABELA 5). O horizonte Btf apresentou maior densidade ($1,70 \text{ g cm}^{-3}$) que o horizonte Ap ($1,51 \text{ g cm}^{-3}$). Os valores de porosidade total (Pt) seguem tendência inversa aos valores de densidade, sendo menores em Btf (35,2%) em comparação ao horizonte Ap (42,6%).

Com o cultivo da mamona é possível modificar as propriedades físicas do solo, conforme reportado por Rana, Giri e Pachauri (2006), que destacam que valores de densidade do solo foram significativamente reduzidos ao longo de 2 anos de cultivo. Qin *et al.* (2012) observaram que o plantio da mamona no Norte da China melhorou as propriedades físicas do solo e teve efeitos significativos sobre a densidade e absorção de nutrientes.

Oliveira *et al.* (2009) encontraram valores de densidade similares em estudo com Planossolos no semiárido nordestino. Os autores enfatizaram o crescimento da vegetação mediante valores elevados de densidade, ressaltando a adaptação das plantas à condição adversa do ambiente físico. Logsdon e Karlen (2004) afirmam que o aumento na densidade do solo pode limitar o crescimento radicular das plantas, podendo diminuir a taxa de penetração e, em alguns casos, a extensão radicular (BRISSON *et al.*, 2003). Porém, os valores de densidade considerados limitantes para o desenvolvimento de plantas estão acima de $1,80 \text{ g cm}^{-3}$ (ZISA; HALVERSON; STOUL, 1980), de modo que os horizontes avaliados no presente estudo não representam limitações ao crescimento das plantas.

Os valores de macroporosidade e resistência à penetração diferiram tanto entre perfis quanto entre os horizontes estudados (TABELA 4). O P1 apresentou maior macroporosidade (18,3%) do que P2 (12,9%). Entre horizontes, Ap apresentou maior macroporosidade (24,9%) do que Btf (6,3%). Isso pode ser explicado pelo fato de que P1 apresenta textura mais arenosa em relação ao P2 que, por sua vez, apresenta maior acúmulo de argila. Sob estas condições, a macroporosidade é reduzida em P2. Nesse contexto é importante ressaltar que macroporosidade tem relação direta com a drenagem e aeração do solo. Em virtude disso, a diminuição na macroporosidade resulta na formação de horizonte naturalmente adensado e restrito ao desenvolvimento radicular. Essa restrição ocorre pela resistência física, que pode ocasionar problemas fisiológicos relacionados à respiração de raízes, causados pela má drenagem em casos de saturação e/ou pela difusão limitada dos gases (LIER, 2010).

No que se refere à resistência do solo à penetração (TABELA 4), P2 apresentou maior valor (1,5 Mpa), com a umidade próxima à capacidade de campo, em torno de 11,0 %, e o P1 (0,8 Mpa) com umidade de 15,9%. Entre horizontes, Btf apresentou maior resistência (1,6 MPa com umidade de 10,3%) em relação ao Ap (0,7 MPa com umidade de 16,3%). Pedrotti *et al.* (2001), avaliando a resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo, encontraram valores superiores aos evidenciados neste estudo, variando de 1,4 a 2,4 Mpa com umidade em torno de 19,7%.

Como a resistência mecânica à penetração está relacionada com a umidade, densidade e distribuição dos poros no solo (LIER, 2010), os valores de porosidade serviram como indício de que P2 apresentaria maior resistência. Isso indica que o PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico pode ser mais limitante ao desenvolvimento radicular da mamona e de outras espécies para produção de bioenergia.

A resistência à penetração é um fator limitante para o desenvolvimento e crescimento radicular. Isso ocorre porque raízes finas somente passam através dos poros de um tamanho superior ao diâmetro da extremidade da raiz. Dependendo da resistência imposta por camadas de impedância, o crescimento radicular pode ser inibido (WIERSUM, 1957).

Valores de resistência do solo à penetração têm sido considerados críticos ao crescimento radicular das plantas quando estão entre 1,5 a 3,0 MPa (SOUZA *et al.*, 2006). Taylor, Roberson e Paker (1966) consideram que valores de resistência à penetração acima de 2,0 MPa são impeditivos ao crescimento e funcionamento do sistema radicular. É importante enfatizar que os solos estudados, mesmo atingindo valores elevados de resistência à penetração, não ultrapassaram o limite crítico de 2 MPa.

2.4 CONCLUSÃO

Os Planossolos estudados apresentam potencial para o uso agrícola do ponto de vista químico. Entretanto, a potencialidade destes solos é mais limitada do ponto de vista físico.

Planossolos com menor profundidade de ocorrência do horizonte B_{tf} são favoráveis ao cultivo da mamona por apresentarem maior umidade na área de enraizamento, podendo disponibilizar água às plantas no início do período seco. Entretanto, estes solos tornam-se desfavoráveis, pois representam riscos de encharcamento no período chuvoso. Além disso, seus atributos físicos na área de maior desenvolvimento radicular apresentam valores próximos ao limiar crítico para o desenvolvimento vegetal.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. C. de.; COSTA, C. A. G.; PINHEIRO, E. A. R. Effective root depth of the Caatinga biome. **Journal of Arid Environments**, v. 89, p. 1-4, 2013.
- ARMSTRONG, W.; DREW, M. C. Root growth and metabolism under oxygen deficiency. In: **PLANT ROOTS : THE HIDDEN HALF**. ed. 3, New York, 2002. 729-76 p.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madison: **American Society of Agronomy**, 1986. cap. 13, p. 363-375.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisa e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. I. **Levantamento exploratório Paraíba**. Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro: 1972. 683 p. (Boletim Técnico, 15; SUDENE. Série Pedologia, 8).
- BRISSON, N. *et al.* An overview of the crop model STICS. **Europa Journal Agronomy**, v. 18, p. 309-332, 2003.
- BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. 1974. **Natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos. 594 p.
- CAMARGO de, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Efeitos da compactação em atributos do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C4/Comp4.htm>>. Acesso em: 9/9/2012.
- CORNELIS, J. T. *et al.* The effect of pedological conditions on the sources and sinks of silicon in the Vertic Planosols in south-western Ethiopia. **Catena**. Article in press 01937, 2013.
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed. **Methods of soil analysis**. 2 ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p. 443-460.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, p. 201-214, 2004.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA– EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Brasília-DF, 2013. 353p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- MORET-FERNÁNDEZ, D. *et al.* Hydro-physical characterization of contrasting soils in a semiarid zone of the Ebro river valley (NE Spain). **Journal of Hydrology**, v. 486, p. 403–411, 2013.

GAISER, T. *et al.* Modeling biopore effects on root growth and biomass production on soils with pronounced sub-soil clay accumulation. **Ecological Modeling**, v. 256, p. 6–15, 2013.

HABIB-MINTZ, N. Biofuel investment in Tanzania: Omissions in implementation. **Energy Policy**, v. 38, p. 3985–3997, 2010.

IBRAIMO, M. M. *et al.* Gênese e micromorfologia de solos sob vegetação xeromórfica (caatinga) na região dos lagos (RJ). **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 28, p. 695-712, 2004.

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE: **Manual técnico pedológico**, 2. Ed. 2007.p. 302.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO – INSA. **Estiagem e seca no semiárido**. Folheto informativo, n. 1, 2013.

JACOMINE, P. K. T.; ALMEIDA, J. C.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará**. Recife: Ministério da Agricultura/ SUDENE, 1973, 2v.

JORDANOVA, N.; JARDANOVA, D.; PETROV, P. Magnetic imprints of pedogenesis in Planosols and Stagnic Alisol from Bulgaria. **Geoderma**, v. 160, p. 477-489, 2011.

KRETZSCHMAR, R. *et al.* Biotite alteration to halloysite and kaolinite in soil-saprolite profiles developed from mica schist and grani gneiss. **Geoderma**, v. 75, p. 155-170, 1997.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco. 2003, 18 p.

LIER, Q. J. **Física do solo**. 1. ed. Viçosa- Minas Gerais: Sociedade brasileira de Ciência do Solo. 2010.

LOGSDON, S. D.; KARLEN, D. L. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 78, p. 143-149, 2004.

MARTIÍNEZ, C. C.; LAMPURLANÉS, J. Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions. **Soil & Tillage Research**, v. 85, p.13–26, 2006.

MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo- Parte I- Conceitos básicos**. 1. ed. Viçosa- Minas Gerais: Sociedade brasileira de Ciência do Solo. 2009a.

MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo- Parte II- Aplicações**. 1. ed. Viçosa- Minas Gerais: Sociedade brasileira de Ciência do Solo. 2009b.

MOHANTY, M. *et al.* Water transmission characteristics of a Vertisol and water use efficiency of rainfed soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under subsoiling and manuring. **Soil & Tillage Research**, v. 93, p. 420–428, 2007.

NICOU, R.; CHARREAU, C.; CHOPART, J.L. Tillage and soil physical properties in semi-arid West Africa. **Soil & Tillage Research**, v. 27, p.125-147, 1993.

OLIVEIRA, L. B. *et al.* Classificação de solos planossólicos sertão do Araripe (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 685-693, 2003.

OLIVEIRA, L. B. de. *et al.* Morfologia e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1333-1345, 2009.

OLIVEIRA, J. B. de. Pedologia aplicada. 3. ed. Piracicaba: FEALQ, 2008. 541- 546p.

PEDROTTI, A. *et al.* Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 521-529, 2001.

PLAYÁN, E. *et al.* Yield–rainfall relationships in cereal cropping systems in the Ebro river valley of Spain. **European Journal of Agronomy**, v.8, p. 239–248, 1998.

QIN, P. *et al.* Ameliorative effect of castor bean (*Ricinus communis* L.) planting on physico-chemical and biological properties of seashore saline soil. **Ecological Engineering**, v. 38, p. 97–100, 2012.

RANA. D. S.; GIRI. G.; PACHAURI. D.K. Evaluation of castor (*Ricinus communis*) genotypes for productivity, economics, litter fall and changes in soil properties under different levels of inter-row spacing and nitrogen. **Indian Journal of Agronomy**, v.51, p. 318-322, 2006.

REBERTUS, R. A.; WEED, S. B.; BUOL, S. W. Transformations of biotite to kaolinite during saprolite-soil weathering. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, p. 810-819, 1986.

REDDY, G. S. *et al.* Influence of soil depth on productivity of rainfed castor and clusterbean in sole and intercropping systems. **Indian Journal of Agricultural Research**, v. 38, p. 79-86, 2004.

ROCKSTROM, J.; BARRON, J.; FOX, P. Rainwater management for increased productivity among small-holder farmers in drought prone environments. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 27, p. 949–959, 2002.

SANTOS, R. D. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5^a Edição (Revisada e ampliada). Viçosa-MG, SBCS – Embrapa/CNPS, 2005. 92p.

SEVERINO. S. L. *et al.* **Comportamento da Mamoneira Sob Encharcamento do Solo**. Embrapa Algodão, Campina Grande, PB. 2005 (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 57).

SILVEIRA, M. M. L. da. *et al.* Distribuição de fósforo em diferentes ordens de solo do semiárido da Paraíba e de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 281-291. 2006.

SHIERLAW, J.; ALSTON, A. M. Effect of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. **Plant and Soil**, v. 77, p. 15-28, 1984.

SOUZA, Z. M. *et al.* Dependência espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 36, p. 128-134, 2006.

SOUZA, A. S. *et al.* Épocas de plantio e manejo da irrigação para a mamoneira. I – componentes de produção. **Revista ciência agrônômica**, v. 38, p. 414-421, 2007.

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma**, v. 114, p. 143-144, 2003.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER J. J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, p. 18-22, 1966.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573-581, 1998.

VAN RANST, E. *et al.* Revisiting ferrolysis processes in the formation of Planosols for rationalizing the soils with stagnic properties in WRB. **Geoderma**, v.163, p. 265–274, 2011.

VILCEK, J. Bioenergetic potential of agricultural soils in Slovakia. **Biomass and bioenergy**, v. 56, p. 53-61, 2013.

WICKE, B. *et al.* The current bioenergy production potential of semi-arid and arid regions in sub-Saharan Africa. **Biomass and bioenergy**, v. 35, p. 2773-2786, 2011.

WIERSUM, L. K. The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots. **Plant and Soil**, v. 9, p.75-85, 1957.

ZISA, R. P.; HALVERSON, H. G.; STOUL, B. B. Establishment and early growth of conifers on compacted soils. **Forest Service Research Paper**, v.51, p.1-8, 1980.

APÊNDICE 1

PERFIL 1 – Trincheira Profunda

DATA: 11/04/2013.

CLASSIFICAÇÃO: PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico, textura média (leve)/média, A moderado, fase caatinga hipoxerófila, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Fazenda Experimental da UFC, Vale do Curu, Município de Pentecostes - CE, coordenadas UTM 24M 0460516 (longitude) 9577892 (latitude) (Datum SAD69), altitude de 86 m.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Relevo plano com declividade entre 1 a 2%, sob cultura de mamona.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Pré-Cambriano. Gnaisse.

MATERIAL DE ORIGEM: Saproлита de gnaisse

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado.

RELEVO LOCAL: Plano.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Caatinga hipoxerófila.

USO ATUAL: Mamona.

DESCRITO E COLETADO POR: Ricardo Espíndola Romero, Mirian Cristina Gomes Costa, Juciane Maria Santos Sousa.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0-20 cm; bruno-oliváceo (2,5Y 4/3, úmido), (10YR 6/4, seco) areia; fraca, muito pequena, pequena e média, blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição clara e plana.
- E1 20-39 cm; bruno-oliváceo (2,5Y 4/4, úmido); areia franca; fraca e moderada, muito pequena, pequena e média, blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição gradual e plana.
- E2 39-62 cm; bruno-oliváceo-claro (2,5Y 5/6, úmido), mosqueado comum, pequeno/médio e proeminente bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido); areia franca; moderada, pequena e média, blocos subangulares; duro, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição clara e irregular.
- Btf 62-110+ cm; bruno-oliváceo-claro (2,5Y 5/4, úmido), mosqueado abundante, grande e proeminente vermelho (2,5YR 4/8, úmido); franco-argilo-arenosa; muito duro, firme, plástica e pegajosa.

OBSERVAÇÕES:

Quantidade de raízes comum no horizonte A, poucas no E1 e raras no E2.

Presença de carvão até aproximadamente 20 cm.

Perfil descrito úmido.

Cor do solo seco e estrutura determinadas no laboratório.

Horizonte E2 com espessura de 20 a 49 cm.

Quantidade de mosqueados entre 20 e 25%.

Plintita ~ 7%.

PERFIL 1 - ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS COMPLETAS

---Horizontes---		-----Granulometria-----					ADA	GF	Silte/ Argila	---Densidade---		Porosidade	RP
Símbolos	Prof.	AG	AF	Argila	Silte				Partícula	Solo			
	--cm--	-----dag kg ⁻¹ -----								g cm ⁻³		(%)	(Mpa)
Ap	0-20	41,15	44,45	6,48	7,92	2,32	64,20	1,22	2,66	1,54	41,97	0,49	
E1	20-39	52,50	31,90	7,82	7,78	3,94	49,62	0,99	2,59	-	37,32	1,10	
E2	39-62	43,90	38,05	9,92	8,13	5,10	48,59	0,82	2,56	1,63	-		
Btf	62-110+	37,35	33,75	21,6	7,34	11,1	48,52	0,34	2,58	1,70	34,11	1,01	

Hor.	pH (1:2,5)	-----Complexo Sortivo-----										V	M	PST	Eq. CaCO ₃	C org.	M.O	N total	C/N	P	CE
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Valor S	M.O	H+Al	CTC	CTC _{argila}											
	Água	-----cmol _c kg ⁻¹ -----										-----%-----			-----g kg ⁻¹ -----			mg kg ⁻¹	dS m ⁻¹		
	KCl																				
Ap	5,9	4,77	1,72	0,48	0,20	0,19	2,59	0,27	0,83	3,42	52,8	75,85	9,60	5,86	27,03	2,95	5,09	0,28	10,54	2,58	0,38
E1	4,4	3,77	0,67	0,25	0,21	0,21	1,34	0,8	1,11	2,45	31,3	54,55	37,44	8,69	-	1,63	2,82	0,28	5,83	0,87	0,10
E2	4,4	3,67	0,67	0,24	0,20	0,16	1,26	1,2	0,95	2,21	22,3	57,11	48,71	8,84	-	1,51	2,60	0,08	17,95	1,22	0,10
Btf	4,7	3,8	1,58	0,33	0,21	0,20	2,32	0,75	1,03	3,35	15,5	69,21	24,45	6,23	25,00	3,15	5,43	0,04	74,96	1,26	0,11

APÊNDICE 2

PERFIL 2 - Trincheira Rasa

DATA: 11/04/2013.

CLASSIFICAÇÃO: PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico, textura média (leve)/média, A moderado, fase caatinga hipoxerófila, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Fazenda Experimental da UFC, Vale do Curu, Município de Pentecostes-CE, coordenadas UTM 24M 0460568 (longitude) 9577898 (latitude) (Datum SAD69), altitude de 86 m.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Relevo plano com declividade entre 1 a 2%, sob agricultura.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Pré-Cambriano. Gnaisse.

MATERIAL DE ORIGEM: Saprolito de gnaisse

PEDREGOSIDADE: Moderada.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado.

RELEVO LOCAL: Plano.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Impedida

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Caatinga hipoxerófila.

USO ATUAL: Agricultura.

DESCRITO E COLETADO POR: Ricardo Espíndola Romero, Mirian Cristina Gomes Costa, Juciane Maria Santos Sousa.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0-18 cm; bruno-oliváceo (2,5Y 4/3, úmido), bruno-amarelo-claro (2,5Y 6/4, seco) areia franca; moderada, pequena e média, blocos subangulares; duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; abrupta e plana.
- 2Btf1 18-50 cm; (2,5Y 5/4, úmido), (2,5YR 5/8, seco) mosqueado abundante, grande e proeminente vermelho (2,5YR 4/8, úmido); argilosa; muito duro, firme, muito plástico, muito pegajoso; clara e ondulada.
- 2Btf2 50-60 cm; (2,5Y 5/4, úmido), (2,5YR 5/8, seco) mosqueado abundante, grande e proeminente vermelho (2,5YR 4/8, úmido); argilosa; muito duro, firme, muito plástico, muito pegajoso; clara e ondulada.
- 2Btf3 60-110+ cm; (2,5Y 6/6, úmido), (2,5YR 5/8, úmido) mosqueado abundante, grande e proeminente vermelho (2,5YR 4/8, úmido); argilosa; muito duro, firme, muito plástico, muito pegajoso; clara e irregular.

OBSERVAÇÕES:

Perfil descrito úmido.

Linha de seixos com espessura de 10 cm ondulada, começando a 50 cm e indo até 75 cm.

Seixos com até 10 cm de diâmetro.

Linha de seixos representada pelo Btf2.

No horizonte Btf3 presença de micas com até 7 mm.

Quantidade de raízes comuns no horizonte Ap, raras no horizonte 2Btf1, 2Btf2 e 2Btf3.

Aproximadamente 18% de plintita nos horizontes 2Btf1, 2Btf2 e 2Btf3.

PERFIL 2 - ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS COMPLETAS

Horizontes		-----Granulometria-----				ADA	GF	Silte/ Argila	---Densidade---		Porosidade	RP
Símbolos	Prof.	AG	AF	Argila	Silte				Partícula	Solo		
Cm		-----dag kg ⁻¹ -----						g cm ⁻³		(%)	(Mpa)	
Ap	0-18	28,10	50,85	12,30	8,75	5,64	54,15	0,71	2,58	1,47	43,14	0,97
2Btf1	18-50	20,05	25,90	42,82	11,23	20,44	52,27	0,26	2,66	1,69	36,30	2,10
2Btf2	50-60	29,10	13,75	44,12	13,03	19,74	55,26	0,30	2,63	-	-	
2Btf3	60-110+	18,45	12,85	43,76	24,94	6,16	85,92	0,57	2,61	-	-	

Hor.	-----Complexo Sortivo-----																			P	C.E
	pH (1:2,5)		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	H+Al	CTC	CTC argila	V	M	PST	Eq. CaCO ₃	C org.	M.O	N total	C/N		
	Água	KCl	-----cmol _c kg ⁻¹ -----								-----%-----			-----g kg ⁻¹ -----					mg kg ⁻¹		
Ap	4,8	4,15	1,87	0,37	0,24	0,30	2,78	0,40	1,82	4,59	37,3	60,49	12,58	5,30	25,5	8,51	14,67	0,21	40,52	3,28	0,43
2Btf1	5,1	4,29	2,71	2,33	0,30	0,24	5,58	0,45	1,73	7,32	17,1	76,32	7,46	4,04	24,8	4,74	8,17	0,04	112,81	0,84	0,11
2Btf2	5,5	4,63	2,51	2,86	0,35	0,26	5,98	0,43	1,16	7,14	16,2	83,82	6,63	4,93	25,2	5,02	8,65	0,14	35,85	3,86	0,12
2Btf3	5,8	5,12	2,34	4,88	0,42	0,24	7,88	0,33	0,95	8,83	20,2	89,25	3,96	4,73	25,5	4,05	6,99	0,14	28,94	1,64	0,13

3 CONTRIBUIÇÃO DE CULTIVARES DE MAMONA NOS TEORES DE CARBONO E FRAÇÕES ORGÂNICAS E SUAS INFLUÊNCIAS NA FERTILIDADE DE UM PLANOSSOLO HÁPLICO NO SEMIÁRIDO

RESUMO

A inserção de culturas bioenergéticas pode contribuir para o aumento de carbono (C), assim como para manter níveis de fertilidade nos solos do semiárido. No entanto, pouco se sabe sobre a entrada de C no solo a partir de oleaginosas com potencial bioenergético. Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial da mamona em aportar C ao solo. O estudo foi conduzido em Pentecoste (CE), numa área cultivada com mamona. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas. Nas parcelas foram avaliados dez cultivares de mamona, enquanto que nas subparcelas foram avaliadas três camadas de coleta de solo (0-10, 10-20 e 20-30 cm) com 4 repetições. Foram avaliados os teores de carbono orgânico total (COT) do solo, bem como o C nas frações da matéria orgânica particulada (COP), matéria orgânica associada a minerais (COM), frações húmicas da matéria orgânica do solo (MOS) e outros atributos de fertilidade do solo após o cultivo da mamona. Os teores de C foram baixos devido à baixa produção de biomassa vegetal em virtude do déficit hídrico ocorrido no período de condução do estudo. Os teores de COT e do C nas frações físicas e químicas da matéria orgânica do solo não foram afetados pelos cultivares de mamona, mas sim pela profundidade de amostragem. As cultivares contribuíram com a fertilidade do solo melhorando em profundidade atributos químicos como C, M.O, Ca, P, SB, CTC e V%. Os Planossolos estudados apresentaram baixos valores de COT, mas a maior parte deste C foi encontrada na fração mais estável da MOS.

Palavras-Chave: Ricinocultura. Fracionamento físico. Substâncias húmicas. Fertilidade do solo.

3 CASTOR BEAN CULTIVARS CONTRIBUTION TO THE CONTENTS OF CARBON AND ORGANIC FRACTIONS AND THEIR INFLUENCES ON FERTILITY OF A HALICO PLANOSOL IN THE SEMI-ARID

ABSTRACT

The inclusion of bioenergetics crops can contribute to the increase of carbon (C), as well as to maintain the fertility levels in the semi-arid soils. However, little is known about the C input to the soil from oilseeds with bioenergy potential. This study aimed at evaluating the potential of castor beans to C input to the soil. The study was conducted at Pentecost (CE) in a cultivated area with castor oil. Completely randomized split-plot design was used. Ten castor bean cultivars were evaluated in the plots, while three soil layers (0-10, 10-20 and 20-30 cm) were evaluated in the subplots with 4 replications. The contents of total organic carbon (TOC) of the soil were evaluated, as well as the C in fractions of particulate organic matter (POC), organic matter associated with minerals (COM), humic fractions of soil organic matter (SOM) and other attributes of soil fertility after castor cultivation. The C contents were low due to low production of plant biomass due to water deficit during the study. The TOC and C contents in physical and chemical fractions of soil organic matter were not affected by the castor bean cultivars, but the sampling depth. The cultivars contributed to soil fertility by improving in depth the chemical attributes such as C, OM, Ca, P, SB, CEC and V%. The Planosols studied had low TOC values, but most of this C was found in the more stable SOM fraction.

Keywords: castor farming. Physical fractionation. Humic substances. Soil fertility.

3.1 INTRODUÇÃO

O bioma predominante no Nordeste brasileiro é a Caatinga, ocupando 980 mil km² equivalentes a 11% do território nacional. O bioma apresenta vegetação arbórea e arbustiva de porte baixo com características caducifólias e xerofíticas (INSA, 2013; LEAL; TABARELLI; SILVA, 2003). Esse bioma é caracterizado por condições edafoclimáticas extremas, tais como altas temperaturas, poucos eventos de precipitação e solos pouco intemperizados (MAIA *et al.*, 2008). Nessas circunstâncias, a quantidade de biomassa produzida e a quantidade de material orgânico decomposto no solo são afetadas (COLEMAN; OADES; UEHARA, 1989).

Em virtude do exposto no parágrafo acima, acredita-se que em ambientes tropicais a degradação do solo tem relação direta com a dinâmica da matéria orgânica (ROSCOE; MERCANTE; SALTON, 2006). Partindo desse pressuposto, solos de regiões semiáridas apresentam baixos teores de matéria orgânica como resultado da baixa produtividade primária e da rápida mineralização favorecida pela condição climática (TIESSSEN; SALCEDO; SAMPAIO, 1997; ZECH *et al.*, 1997). Considerando que a matéria orgânica desempenha funções essenciais no ambiente, tendo relação direta com as principais funções do solo, baixos estoques de matéria orgânica do solo (MOS) causam desequilíbrio aos sistemas e, conseqüentemente, inviabilizam o potencial produtivo do solo (ROSCOE; MERCANTE; SALTON, 2006).

Nos ambientes semiáridos maior parte da alocação de nutrientes para manter a produtividade das culturas provém da ciclagem da matéria orgânica (SOLOMON; LEHMANN; ZECH, 2000; TIESSSEN; SALCEDO; SAMPAIO, 1997). Do ponto de vista conservacionista muitos trabalhos têm demonstrado que a transição de áreas nativas para áreas cultivadas tem proporcionado perda nos estoques de carbono (FRACETTO *et al.*, 2012). Por outro lado, a adoção de práticas conservacionistas tem favorecido o aporte de matéria orgânica (JIA *et al.*, 2012; WANI *et al.*, 2003; LOPEZ-FANDO; PARDO, 2011).

Segundo Lal (2011), o solo tem o potencial de sequestrar carbono (C), invertendo a tendência de emissão para atmosfera. A gestão da matéria orgânica em regiões semiáridas melhora a qualidade do solo e a produção agrônômica. Nas últimas décadas implicações ambientais como o aquecimento global têm impulsionado os esforços em aumentar o estoque de C no solo e reduzir as emissões de CO₂, visto que este tem grande potencial de mitigação de CO₂ (CERRI *et al.*, 2009).

A utilização de culturas bioenergéticas é uma alternativa viável, sendo necessário avaliar o efeito dessas culturas no armazenamento de C no solo (GRUNWALD *et al.*, 2012). De acordo com Gan *et al.* (2009), vários estudos abordam a entrada de C a partir de culturas agrícolas, fazendo menção ao potencial das gramíneas em alocar C ao solo. Porém, há pouca informação sobre o potencial das oleaginosas em aportar C, principalmente por meio de suas raízes. Sob essa perspectiva assumiu-se que a entrada de C a partir de oleaginosas seria equivalente à entrada proporcionada por gramíneas. Porém, estudos conduzidos por Gan *et al.* (2009) demonstram que há diferenças entre espécies influenciando os estoques de C.

O cultivo de oleaginosas tem sido introduzido em regiões semiáridas visando à produção de biodiesel (HABIB-MINTZ, 2010). As oleaginosas têm desempenhado papel importante no desenvolvimento bioenergético devido à geração de energia limpa e sustentabilidade de ecossistemas (ZENTNER *et al.*, 2001). A inserção de oleaginosas pode ter efeito de dupla mitigação de CO₂, tanto no aspecto da produção de biodiesel, quanto no sequestro de carbono no solo, aumentando os estoques de MOS em regiões semiáridas.

A introdução de culturas bioenergéticas em ambientes “frágeis” e predispostos à degradação, como as zonas semiáridas, pode ter efeito positivo sobre a capacidade do solo em resistir aos agentes erosivos (KARAVINA, 2011; GASPARATOS; STROMBERG; TAKEUCHI, 2013). A introdução de vegetação em regiões semiáridas degradadas aumenta umidade do solo, diminuindo o estresse hídrico que, por sua vez, atua indiretamente no sequestro de C por reduzir o escoamento superficial e a erosão (GRUNZWEIG *et al.*, 2003).

Os estoques de C têm relação direta com a cobertura vegetal do ambiente. O solo pode atuar como fonte ou emissor do elemento para atmosfera, assim a manutenção da MOS nesses ambientes se dá em função das entradas e saídas (FU *et al.*, 2011).

Supõe-se que cultivares de mamona, por apresentarem potencial de produção de fitomassa diferenciado, possam contribuir com o aporte e estabilização de carbono orgânico (CO) no solo. Com base nessa suposição foi realizado o presente estudo com objetivo de avaliar o potencial de cultivares de mamona em aumentar o carbono orgânico total (COT) do solo, bem como o C em diferentes frações físicas e químicas da matéria orgânica do solo, além de correlacionar o carbono em diferentes compartimentos da MOS com a fertilidade de Planossolos do semiárido.

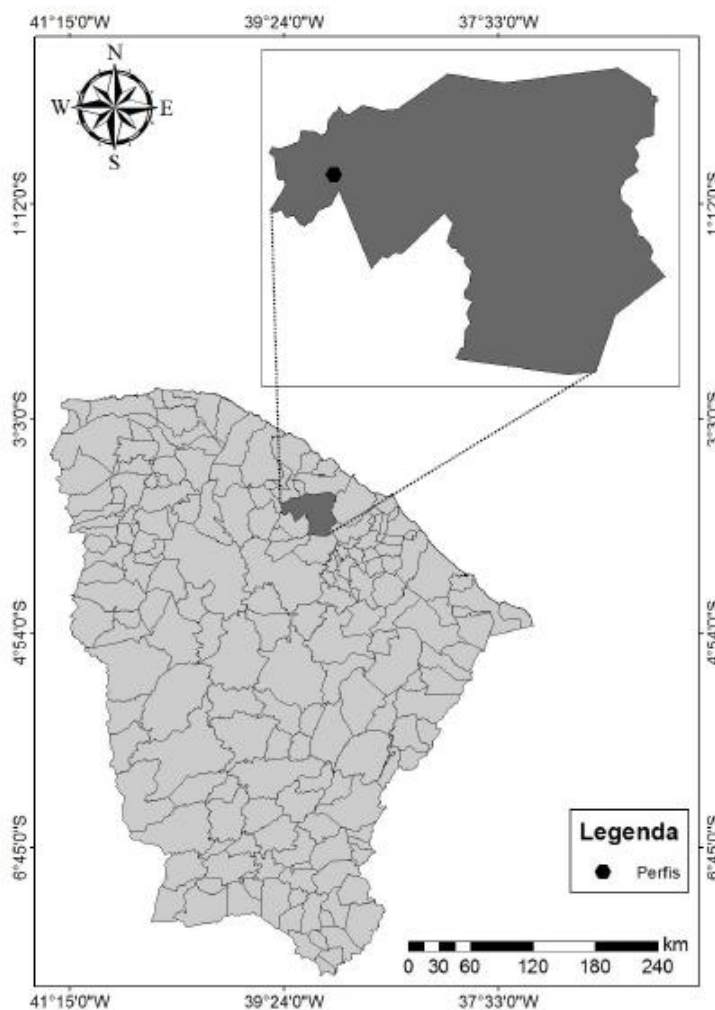
3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental Vale do Curu, localizada no Município de Pentecoste (CE), situada geograficamente na Microrregião do Médio Curu, com coordenadas de 6°47'34'' de latitude sul e a 39°16'13'' de longitude, a uma altitude média de 60 metros acima do nível do mar (FIGURA 7) (SOUZA *et al.*, 2007).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Aw' tropical chuvoso com cinco a oito meses secos. As temperaturas médias variam de 22 °C a 28 °C (SOUZA *et al.*, 2007).

Figura 7 – Localização da área de estudo no município de Pentecoste (CE).



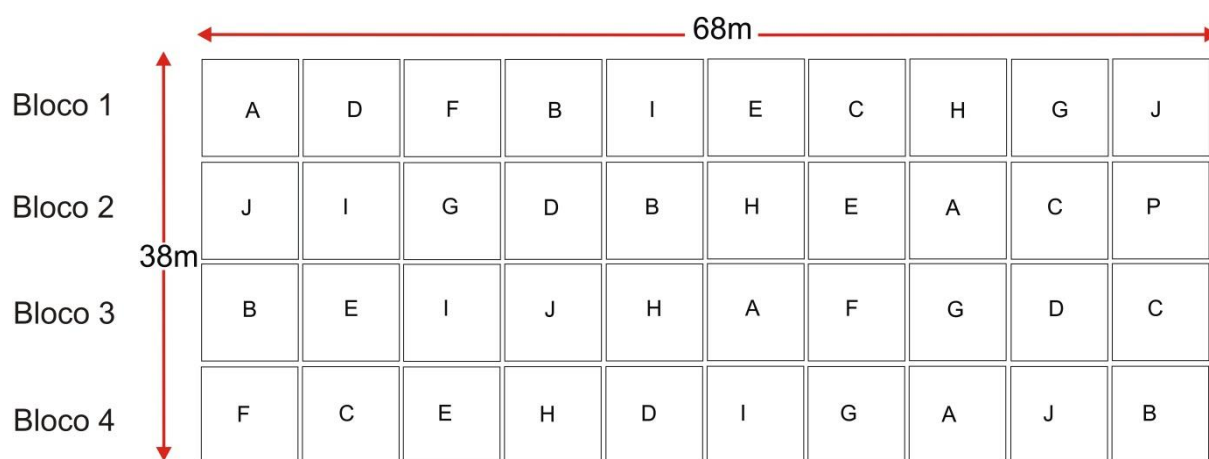
Fonte: Pantaleão (2013)

Foi avaliada a contribuição de dez cultivares de mamona (TABELA 6) arrançadas em um delineamento experimental em blocos inteiramente casualizados e quatro repetições, constituindo 40 unidades experimentais (FIGURA 8).

Tabela 6 – Distribuição e descrição dos dez genótipos avaliados e diferentes espaçamentos em Pentecoste-CE, 2012.

Tratamento	Cultivar	Espaçamento	Tratamento	Cultivar	Espaçamento
A	IAC 20-28	2x1	F	MPB -01	1x1
B	IAC-Guarani	1x1	G	MPA-11	2x1
C	IAC-80	2x1	H	BRS- Energia	1x1
D	IAC-226	2x1	I	Paraguaçu	2x1
E	MPA-34	2x1	J	Nordestina	2x1

Figura 8 - Croqui experimental



Fonte: Sousa (2013)

Cada parcela experimental foi composta por quatro linhas com o espaçamento que variaram conforme recomendações para as cultivares estudadas (apresentados na TABELA 6) com dimensões de 8x4 m, apresentando a densidade de 32 plantas por parcela.

3.2.2 Amostragem de solo e análises para fins de fertilidade

Foram coletadas três subamostras de solo na área útil de cada parcela experimental, resultando em uma amostra composta nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. O solo foi seco ao ar e peneirado (2 mm), constituindo a TFSA. As análises de fertilidade foram realizadas no Laboratório de Manejo do Solo (LMS) do Departamento de Ciências do Solo no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), conforme métodos descritos em Embrapa (1997).

As análises químicas realizadas para fins de avaliação da fertilidade foram: pH em água e CaCl_2 , na proporção de 1:2,5 e determinado em peagômetro; cátions trocáveis, cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), extraídos com KCl 1 mol L^{-1} e determinados por espectrofotometria de absorção atômica; sódio (Na^+) e potássio (K^+), extraídos com solução de Mehlich-1 e determinados por fotometria de chama; alumínio trocável (Al^{3+}), extraído com solução de KCl 1 mol L^{-1} e determinado por titulação com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$; acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), extraída com solução acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7,0 e determinada por titulação alcalimétrica com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$; fósforo (P), extraído com solução de Mehlich-1 e determinado por colorimetria; e carbono orgânico (CO), determinado pelo método da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico para posterior cálculo dos teores de M.O. utilizando o fator 1,724.

3.2.3 *Fracionamento físico da MOS*

Nas mesmas amostras coletadas para avaliação da fertilidade do solo foi realizado o fracionamento físico da MOS pelo método descrito em Cambardella e Elliott (1992). O fracionamento físico envolveu a dispersão em meio aquoso com 20 g de TFSA colocados em tubos de centrífuga de 100 ml, adicionados de 80 ml de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}), agitados por 16 horas em agitador horizontal a 140 batidas por minuto. A suspensão foi passada em peneira de malha de $53 \mu\text{m}$, com auxílio de jatos de água. O material retido na peneira (fração areia - $53 > 200 \mu\text{m}$) foi seco em estufa a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ até peso constante e moído em gral de porcelana. O material retido foi utilizado para determinação do C orgânico particulado (COP). Os teores de C orgânico associado aos minerais (COM) foram obtidos por diferença entre os valores de carbono orgânico total (COT) e carbono orgânico particulado (COP), conforme a fórmula:

$$COM = COT - COP \quad (3)$$

O carbono orgânico total e o carbono orgânico particulado foram determinados pelo método Walkley-Black no qual se utiliza dicromato de potássio em meio sulfúrico como fonte externa de calor para a oxidação da matéria orgânica, conforme descrito em Embrapa (1997).

3.2.4 *Fracionamento químico das substâncias húmicas*

A extração das substâncias húmicas nas amostras de solo foi feita com base na solubilidade em meio ácido e alcalino, obtendo-se as frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos

húmicos (FAH) e Humina (FHUM), conforme o método de fracionamento químico empregado pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS) (Swift, 1996), com adaptações sugeridas por Mendonça e Matos (2005).

O teor de carbono nas frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e humina (HUM) foi determinado pelo método de oxidação via úmida com aquecimento externo, conforme descrito por Yeomans e Bremner (1988).

A partir dos dados obtidos pelo fracionamento químico das substâncias húmicas, foram calculados os valores da relação AH/AFA e a percentagem de cada fração em relação ao COT.

3.2.5 Análises estatísticas

Foi utilizado o software SISVAR para executar as análises estatísticas. Os resultados foram analisados estatisticamente e submetidos à análise de variância – ANOVA, com aplicação do teste de normalidade, cujos valores médios foram comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.3.1 Relação da fertilidade do solo e MOS

A análise de variância apresentada na TABELA 7 demonstra que houve efeito significativo para o fator isolado “profundidade” nos valores de pH, C.O., M.O., Al, H+Al, Na, Ca, P, SB e CTC. Os maiores incrementos foram observados nos primeiros 10 cm do solo, seguidos de uma diminuição em profundidade, com exceção do Al, H+Al e Na, que apresentaram tendência contrária.

Rana, Giri e Pachauri (2006), avaliando diferentes genótipos de mamona, observaram que o cultivo melhorou atributos químicos do solo, tais como pH, assim como incrementou os teores de C e disponibilidade de nitrogênio (N) em relação aos valores iniciais.

A decomposição da MOS é um processo fundamental para o funcionamento dos ecossistemas, pois é um dos principais determinantes da ciclagem de nutrientes (DISTEL, MORETTO e DIDONÉ, 2001; KOUKORA, 1998). Em ambientes semiáridos a taxa de decomposição dos resíduos vegetais influencia a disponibilidade de nutrientes (ZENG *et al.* 2011). Dick *et al.* (2009), estudando a ciclagem de nutrientes para duas espécies arbustivas nas condições semiáridas, verificaram que as quantidades de retorno de nutrientes são limitadas, sendo necessária suplementação para sustentar a produtividade. Contudo, Schumacher *et al.* (2003) destacam que quantidades significativas de nutrientes podem retornar ao solo por meio dos componentes senescentes da parte aérea das plantas e sua posterior decomposição.

Fazendo analogia ao ambiente semiárido, Smit e Hagos (2005), avaliando o potencial da *Acácia melífera* em enriquecer o solo, obtiveram resultados similares aos encontrados no presente estudo. Os autores constataram que a espécie incrementou significativamente os teores de MOS, Ca, N e P. Para os demais cátions trocáveis (K e Mg), o incremento foi em menores magnitudes, não diferindo estatisticamente.

Tabela 7 – Resumo da análise de variância (ANOVA) e médias para os atributos de fertilidade em Planossolos cultivados com mamona no semiárido cearense.

Fonte de variação	Valor de F ¹															
	pH CaCl ₂	Ph Água	C.O	M.O	Al ³⁺	H+Al	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB ⁴	CTC ⁵	P	V ⁶		
Cultivares (A)	0,6 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,9 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,9 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,3 ^{ns}	2,1 ^{ns}	0,8 ^{ns}		
Profundidade (B)	55,3 ^{**}	3,2 [*]	105,7 ^{**}	105,7 ^{**}	64,5 ^{**}	5,9 ^{**}	3,1 ^{ns}	5,4 ^{**}	11,7 ^{**}	3,0 ^{ns}	7,7 ^{**}	4,0 [*]	121,0 ^{**}	12,8 ^{**}		
Blocos	4,3 [*]	4,2 [*]	6,5 ^{**}	6,5 ^{**}	10,7 ^{**}	4,2 [*]	3,8 [*]	9,4 ^{**}	2,5 ^{ns}	6,4 ^{**}	3,2 [*]	4,5 [*]	0,3 ^{ns}	0,8 ^{ns}		
Interação AxB	0,5 ^{ns}	1,3 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,6 ^{ns}	1,4 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,9 ^{ns}	1,3 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,9 ^{ns}	0,3 [*]		
CV (%) A	6,8	7,0	22,5	22,5	17,71	30,29	23,42	36,7	29,3	27,5	28,3	24,0	28,7	10,0		
CV (%) B	3,6	5,0	16,0	16,0	16,84	19,24	15,49	23,8	19,7	19,1	18,7	14,7	22,6	6,8		
			-----g kg ⁻¹ -----				-----cmolc dm ⁻³ -----						mg dm ⁻³	---%---		
IAC 20-28	4,4 a ²	5,0 a	3,3 a	5,6 a	0,35 a ³	1,3 a	0,54 a	0,27 a	3,0 a	0,8 a ³	4,5 a	5,9 a	1,8 a ³	76,8 a		
IAC-Guarani	4,3 a	4,9 a	3,6 a	6,2 a	0,38 a	1,5 a	0,36 a	0,26 a	3,2 a	0,8 a	4,6 a	6,1 a	3,0 a	74,2 a		
IAC-80	4,4 a	5,1 a	3,4 a	5,8 a	0,35 a	1,3 a	0,27 a	0,26 a	3,5 a	0,7 a	4,7 a	6,0 a	3,2 a	78,0 a		
IAC-226	4,3 a	5,0 a	3,0 a	5,2 a	0,44 a	1,3 a	0,31 a	0,27 a	3,0 a	0,6 a	4,2 a	5,5 a	3,8 a	76,0 a		
MPA-34	4,4 a	5,1 a	3,3 a	5,7 a	0,36 a	1,3 a	0,29 a	0,30 a	3,1 a	0,9 a	4,5 a	5,8 a	2,8 a	77,4 a		
MPB -01	4,4 a	5,0 a	3,5 a	6,0 a	0,34 a	1,2 a	0,36 a	0,31 a	3,3 a	0,8 a	4,8 a	6,0 a	3,4 a	80,7 a		
MPA-11	4,4 a	5,0 a	3,3 a	5,7 a	0,33 a	1,6 a	0,28 a	0,27 a	3,2 a	0,9 a	4,7 a	6,3 a	2,2 a	74,7 a		
BRS- Energia	4,5 a	5,1 a	3,2 a	5,5 a	0,36 a	1,3 a	0,38 a	0,32 a	3,0 a	0,9 a	4,7 a	6,0 a	2,6 a	77,1 a		
Paraguaçu	4,3 a	5,0 a	3,1 a	5,3 a	0,36 a	1,4 a	0,24 a	0,26 a	3,0 a	0,7 a	4,1 a	5,6 a	2,2 a	74,4 a		
Nordestina	4,4 a	4,9 a	3,4 a	5,9 a	0,31 a	1,4 a	0,57 a	0,27 a	2,9 a	0,7 a	4,5 a	5,9 a	2,5 a	75,0 a		
			Profundidade													
0-10	4,6 a	5,1 a	4,1 a	7,2 a	0,23 b	1,3 b	0,35 a	0,26 b	3,4 a	0,8 a	4,9 a	6,2 a	4,9 a	78,9 a		
10-20	4,4 b	5,0 a	3,3 b	5,7 b	0,29 b	1,3 b	0,36 a	0,27 ab	3,2 a	0,8 a	4,6 a	5,9 ab	2,3 b	77,3 a		
20-30	4,2 c	4,9 a	2,4 c	4,2 c	0,55 a	1,5 a	0,37 a	0,31 a	2,8 b	0,7 a	4,1 b	5,6 b	1,1 c	73,1 b		

¹ **, * e ns: Significativo a 1, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. ² Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. ³ Médias transformadas Al ($x = \sqrt{x}$); Mg ($x = \sqrt{x}$); P ($x = \sqrt{x}$). ⁴ Soma de bases. ⁵ Capacidade de troca de cátions. ⁶ Saturação por bases.

O efeito das cultivares na fertilidade do solo resultou na melhoria dos atributos C.O., M.O., Ca, P, SB, CTC e V%, cujos valores aumentaram em relação aos teores iniciais antes ao cultivo. Por outro lado, houve redução dos teores de Al trocável. Esses resultados estão de acordo com Qin *et al.* (2012), que verificaram que o cultivo de mamona aumentou teores de M.O., principalmente por parte das raízes. Na literatura são poucos os estudos sobre a ciclagem de nutrientes oriundos dos restos vegetais provenientes da biomassa da mamoneira em solos do semiárido, o que dificulta a comparação com resultados do presente estudo.

Antes da instalação do experimento, o solo apresentava, segundo critérios apresentados em Aquino *et al.* (1993), baixos teores de C, P e teores médios de Ca e Mg (TABELA 8).

Tabela 8 – Atributos químicos de fertilidade de Planossolos antes do cultivo de mamona.

Atributos	Valor	
	PERFIL 1	PERFIL 2
	Média (n=4)	
Ph	4,9	5,1
C.O. (g kg ⁻¹)	2,3	3,9
M.O. (g kg ⁻¹)	4,0	6,8
Al (cmolc kg ⁻¹)	0,8	0,6
H+Al (cmolc kg ⁻¹)	1,0	1,2
K (cmolc kg ⁻¹)	0,2	0,2
Na (cmolc kg ⁻¹)	0,2	0,3
Ca (cmolc kg ⁻¹)	1,2	1,8
Mg (cmolc kg ⁻¹)	0,3	1,5
SB (cmolc kg ⁻¹)	1,9	3,7
CTC (cmolc kg ⁻¹)	1,8	5,5
P (mg kg ⁻¹)	1,5	1,9
V (%)	64,2	74,8

Para o fator “cultivares” não foi observada diferença estatística. Houve interação cultivar x profundidade para o atributo saturação por bases (V%), conforme apresentado na TABELA 9.

Tabela 9 - Valores médios da saturação por bases (V%) considerando as camadas estudadas.

Cultivares	Camadas (cm)		
	-----V(%)-----		
	0-10	10-20	20-30
IAC 20-28	78,8 aA	78,4 aA	73,3 Aa
IAC-Guarani	77,3 aA	75,6 aA	69,8 Aa
IAC-80	81,6 aA	76,9 aA	75,5 aA
IAC-226	78,7 aA	75,9 aA	73,5 Aa
MPA-34	81,1 aA	78,2 aA	73,1 aA
MPB -01	82,1 aAB	84,7 aA	75,3 aB
MPA-11	77,5 aA	74,3 aA	72,2 aA
BRS- Energia	80,2 aA	76,2 aA	74,9 aA
Paraguaçu	74,7 aA	76,2 aA	72,3 aA
Nordestina	76,9 aA	76,7 aA	71,4 aA

Letras minúsculas comparam médias nas colunas entre cultivares. Letras maiúsculas comparam médias nas linhas para os atributos de saturação por bases em profundidade.

Foi observado que os maiores teores na saturação por bases (V%) ocorreram nos primeiros 20 cm do solo e os maiores incrementos foram observados na camada de 10-20 cm, representando 84,7% no teor de saturação por bases, superior à camada de 0-10 (82,1%). O maior percentual registrado nessa camada possivelmente tem relação com o acúmulo de argila em subsuperfície, ou mesmo com as características da planta de mamona em alocar nutrientes no solo.

Stark e Chen (2000) afirmam que características particulares das plantas, tais como ciclo de vida e alocação de biomassa, influenciam significativamente a dinâmica de nutrientes, como os cátions trocáveis que, por sua vez, influenciam a V%. Por outro lado, a baixa produtividade leva à baixa taxa de rotatividade de material vegetal e isto, por sua vez, influencia a taxa de ciclagem de nutrientes (DISTEL; MORETTO, 2003).

No entanto, Koukoura, Mamolos e Kalburtji (2003) destacam que a composição da espécie também influi na ciclagem em ambientes semiáridos, assim como fatores bióticos, conforme relatado por Yin, Xin e Song (2012), e abióticos (FRASER e HOCKIN, 2013). Estudo conduzido por Gan *et al.* (2009) mostra que oleaginosas têm potencial de alocação de C e, principalmente, de distribuição deste no perfil do solo. Assim, o aumento no conteúdo de M.O. resulta em aumento da capacidade de troca de cátions e, portanto, capacidade de armazenamento de nutrientes (DICK *et al.*, 2009).

A M.O. tem papel importante na fertilidade de solos de regiões tropicais. Isso decorre em função da entrada de nutrientes que depende sumariamente da mineralização dos compostos orgânicos provenientes da adição de resíduos vegetais (TIESSSEN; CUEVAS, CHACON, 1994). Dentre os componentes da planta, as folhas são responsáveis pela maior

contribuição na ciclagem de nutrientes em virtude de sua predominante biomassa (SCHUMACHER *et al.*, 2003). No presente estudo, a partir dos resultados da correlação de Pearson (TABELA 10), é possível demonstrar que a fertilidade do solo foi influenciada pelos teores de carbono e frações da matéria orgânica.

Tabela 10 – Correlação de atributos da fertilidade com carbono orgânico e frações da matéria orgânica do solo.

Atributos de fertilidade		C.O.	FAF	FAH	HUM	AH/AF	COP	COM
SB	r	0,54 ^{**}	0,08 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,51 ^{**}	-0,08 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,48 ^{**}
CTC	r	0,48 ^{**}	0,07 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,44 ^{**}	-0,09 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,46 ^{**}
V(%)	r	0,40 ^{**}	0,05 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,43 ^{**}	-0,02 ^{ns}	0,18 [*]	0,30 ^{**}

C.O.: carbono orgânico, FAF: ácidos fúlvicos, FAH: ácidos húmicos, HUM: humina, AH/AF: relação ácido húmicos e ácidos fúlvicos, COP: carbono orgânico particulado, COM: carbono associado aos minerais, SB: soma de bases, CTC: capacidade de troca catiônica V(%): saturação por bases, r: coeficiente de correlação (Pearson), ns: não significativo, **: significativo ao nível de 5% de probabilidade: ** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Os atributos de fertilidade apresentaram correlação positiva significativa com os teores de C, assim como com as frações de maior estabilidade. Isso sugere que a fertilidade e a manutenção desta estão estreitamente relacionadas com a matéria orgânica e o aporte de resíduos da vegetação.

Li *et al.* (2006), avaliando o efeito da fertilidade a partir da fração lábil do carbono, observaram correlação positiva, indicando que a adição de biomassa prontamente mineralizável formada pelos resíduos vegetais estimula a atividade microbiana. Assim, a biomassa acumula nutrientes nos solos que são liberados pela decomposição, promovendo a manutenção da fertilidade do solo.

3.3.2 Fracionamento físico da MOS

Por meio do teste F foram constatados efeitos significativos ($p < 0,01$) para o fator profundidade nos valores de C em todas as frações estudadas (TABELA 11).

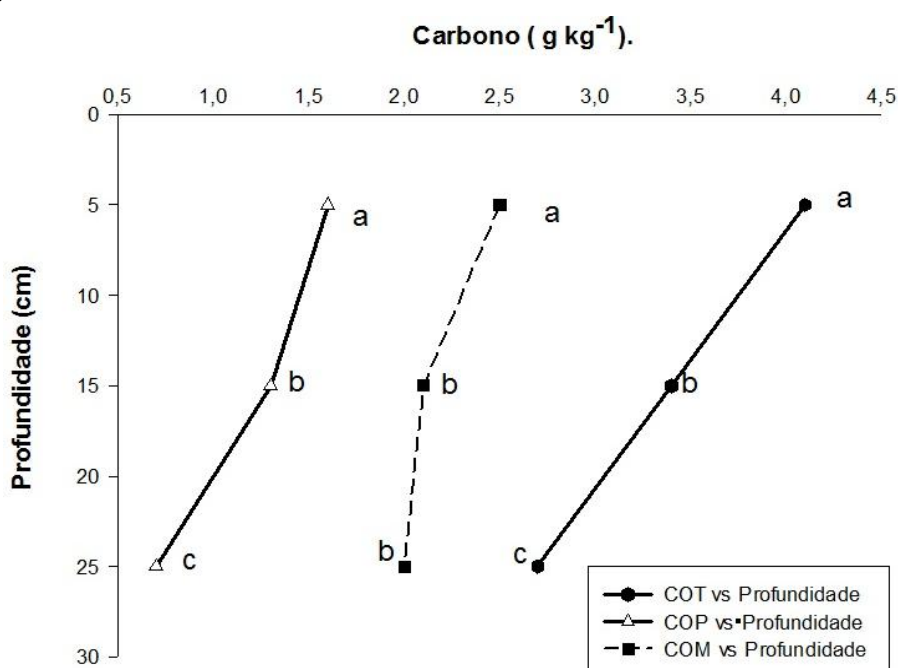
Tabela 11 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para valores de carbono nas frações físicas da matéria orgânica do solo e percentual das frações em relação ao COT.

Fonte de Variação	Valor de F ¹				
	COT	COP	COM	COP (%)	COM (%)
Cultivares (A)	0,6 ^{ns}	0,9 ^{ns}	1 ^{ns}	1,2 ^{ns}	1,4 ^{ns}
Profundidade (B)	105,7 ^{**}	58,6 ^{**}	24,4 ^{**}	11,5 ^{**}	9,7 ^{**}
Blocos	6,5 ^{**}	16,0 ^{**}	18,6 ^{**}	17,9 ^{**}	21,2 ^{**}
Interação AxB	0,6 ^{ns}	0,7 ^{ns}	1 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,8 ^{ns}
CV (%) A	22,5	27,0	34,4	26,9	26,6
CV (%) B	16,0	17,9	25,9	18	17,8

¹ **, * e ns: Significativo a 1, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Na FIGURA 9 são apresentadas as diferenças em profundidade entre médias de C nas frações físicas da matéria orgânica do solo (MOS).

Figura 9 – Distribuição do carbono orgânico total (COT), carbono orgânico associado à fração particulada (COP) e carbono orgânico associado a minerais (COM) em camadas do solo estudado.



Letras minúsculas comparam profundidades em cada fração das substâncias húmicas ($P < 0,05$).
Fonte: Sousa (2013)

Os teores foram decrescentes em profundidade para o COT (4,1 a 2,7 g kg⁻¹) e para as frações COM (2,5 a 2,0 g kg⁻¹) e COP (1,6 a 0,7 g kg⁻¹), sendo os maiores valores encontrados nos primeiros 5 cm de profundidade. Essa tendência já era esperada, pois de acordo com Cerri *et al.* (2004) o aporte dos resíduos senescentes das plantas na superfície do solo contribui para aumentar o C na camada superficial.

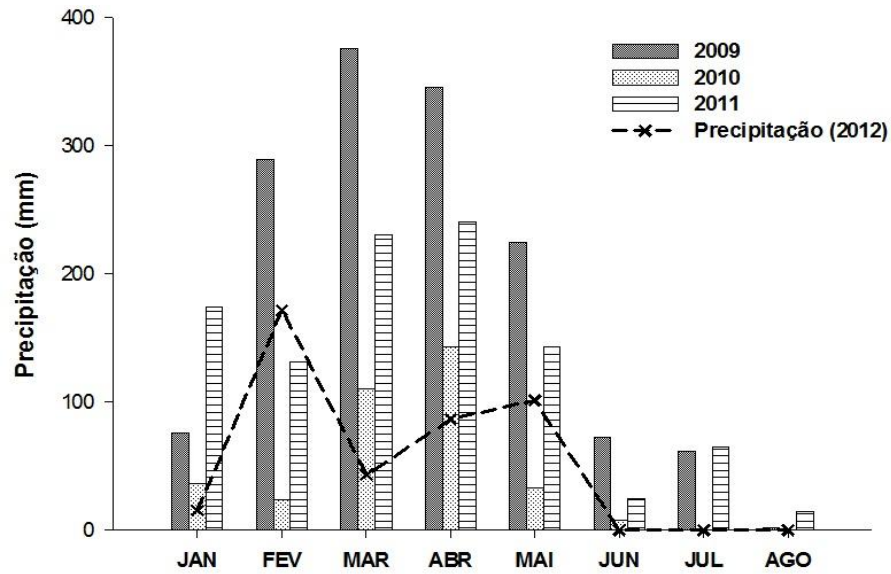
Autores sugerem que valores de COT inferiores a 10 g kg^{-1} são baixos, destacando que a condição semiárida favorece o balanço negativo nos estoques de C (OLIVEIRA *et al.*, 2003; SOLOMON; LEHMANN; ZECH, 2000). Além disso, o uso dos solos no semiárido contribui com a diminuição da MOS. Redução de 50% da MOS foi relatada por Fracetto *et al.* (2012) como resultado da conversão da caatinga para cultivo de mamona. Mudanças no tipo de vegetação podem afetar a disponibilidade do C, principalmente em ecossistemas semiáridos, onde os estoques do elemento são baixos (HOOKER; STARK, 2008).

O aumento e a manutenção nos estoques de C são dependentes da vegetação e da entrada da biomassa vegetal (ARANDA; OYONARTE, 2005; LOVATO *et al.*, 2004). Outros fatores também influenciam a dinâmica do C, tais como as condições climáticas e a textura do solo (HEVIA *et al.*, 2003).

Em ecossistemas semiáridos, a dinâmica e disponibilidade do C, assim como a produção de biomassa vegetal, são afetadas pela sazonalidade das chuvas, umidade do solo e temperatura (HOOKER; STARK, 2008). Guo e Gifford (2002) relatam que, nas regiões com baixos índices pluviométricos, a perturbação do solo causada pela introdução de culturas agrícolas resulta em perdas dos estoques de C. Gregory e Palta (1997) observaram que o déficit hídrico afeta o fluxo de C no solo. Os autores verificaram que as raízes alocam mais em condições não limitantes de água, havendo aumento de material orgânico de cerca de 43%, devido ao aumento na respiração de raízes e microrganismos.

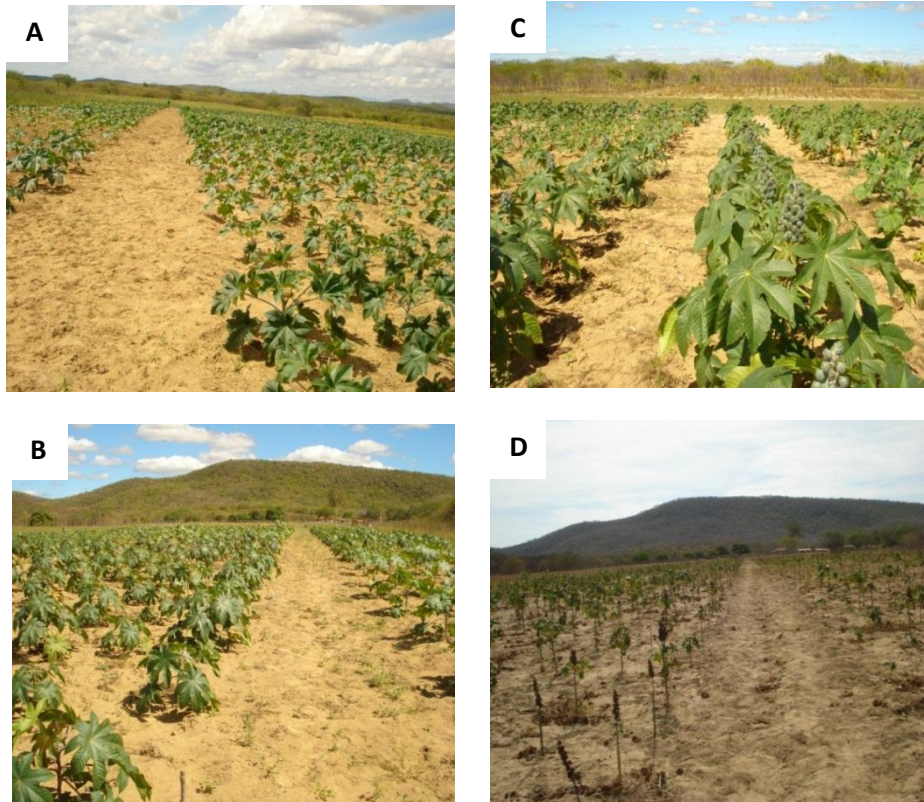
Neste estudo houve baixa produção de biomassa vegetal pela cultura da mamona, principalmente porque as chuvas foram escassas no ano de condução do experimento (FIGURAS 10 e 11). Assim, a baixa adição de resíduos culturais resultou em baixa produção de MOS, implicando baixos teores de C aportados ao solo.

Figura 10 - Precipitação do município de Pentecoste no período de condução do experimento.



Fonte: Sousa 2013

Figura 11 - Desenvolvimento da mamoneira aos 60 dias após o plantio (A), 90 dias após o plantio (B), 120 dias após o plantio (C) e 150 dias após o plantio (D).



Fonte: Sousa (2013)

Para a condição em que foi conduzido o presente estudo, mediante precipitação irregular que não ultrapassou 50 mm no mês mais seco, houve produção insuficiente de

fitomassa e consequente favorecimento dos baixos teores de COT, bem como do C na fração orgânica particulada (COP). Lima *et al.* (2013), avaliando os efeitos da variação sazonal no cultivo de mamona em condições de sequeiro, observaram que o índice de área foliar foi baixo em função de um ano com menor precipitação.

Zhou *et al.* (2013) reforçam a ideia de que os baixos valores de C do presente estudo devem-se ao déficit hídrico. Os autores afirmam que, em regiões semiáridas, o aumento da precipitação pode resultar em acúmulo de M.O., influenciando diretamente os estoques de C, principalmente na camada superficial. Chen *et al.* (2012), avaliando a influência da temperatura e precipitação no armazenamento de C observaram que os estoques do elemento diminuem com as altas temperaturas e aumentam significativamente com a precipitação. Os últimos autores citados também mencionam que estes fatores têm efeitos diversos nas frações da MOS.

Chen *et al.* (2012) também destacaram que os efeitos climáticos nas frações físicas da MOS foram mais evidentes na fração particulada que diminuiu significativamente, enquanto que a fração associada aos minerais apresentou ligeiro aumento. Os resultados citados por Chen *et al.* (2012) estão de acordo com a dinâmica observada no presente estudo.

Em situação de disponibilidade hídrica oposta àquela verificada no presente estudo, Simon (2006), avaliando o aporte de C a partir de culturas com potencial bioenergético, observou que dentre as duas cultivares de mamona estudadas, uma se destacou na produção de matéria seca e isto resultou em maiores quantidades de C adicionado ao solo.

Os teores de C associados à fração particulada representaram somente 25,9% a 39,2% do COT. Segundo Costa *et al.* (2004), valores inferiores a 50% na participação do COP em relação ao COT são considerados baixos e refletem a influência climática dos trópicos favorecendo a atividade microbiana e a decomposição da MOS.

A fração particulada é a fração mais ativa do COT. Por apresentar maior labilidade e se encontrar mais pronunciada nas camadas superficiais, é mais susceptível à oxidação e constitui um substrato facilmente disponível para a biomassa microbiana (CAMBARDELA; ELLIOT, 1994). Assim, a baixa adição de resíduos culturais, somada à precipitação insuficiente e às altas temperaturas, contribuiu com o aumento na taxa de mineralização do COP. Dessa forma, menores quantidades de COP resultam em menor disponibilidade de matéria orgânica de fácil mineralização.

De maneira contrária à fração COP que é perdida mais rapidamente, a fração do carbono orgânico associado a minerais (COM) é mais protegida dos agentes que levam à decomposição (SOLOMON; LEHMANN; ZECH, 2000). Segundo Bayer *et al.* (2004) esta

fração representa materiais altamente decompostos que interagem com as partículas minerais do solo formando complexos organominerais que possuem taxa de decomposição mais lenta por estarem protegidos por mecanismos coloidais.

Os teores de COM variaram de 2,0 a 2,5 g kg⁻¹ em profundidade, com o maior valor registrado na camada superficial. A participação do COM em relação ao COT foi de 60,9% a 74,7%. Os teores de C nesta fração foram mais acentuados em comparação ao COP. Uma possível explicação para esse fato é justamente a decomposição acelerada das frações lábeis da matéria orgânica em função das condições climáticas no semiárido. Essa decomposição favorece o acúmulo de C nas frações mais estáveis da MOS.

O aumento da fração COM e a redução da fração COP foram relatados também por Solomon, Lehmann e Zech (2000) e por Amelung *et al.* (1998). Para Solomon, Lehmann e Zech (2000), estas associações organominerais desempenham papel importante na estabilização e proteção da MOS nos trópicos semiáridos.

Ao contrário do que os autores citados no parágrafo anterior observaram, Hofmockel *et al.* (2011), estudando o efeito da elevação de CO₂ atmosférico sobre a decomposição das frações físicas da MOS, evidenciaram que o enriquecimento no CO₂ atmosférico causa acúmulo da fração lábil (COP) e declínio nos reservatórios mais estáveis (COM). Karhu *et al.* (2010) apoiam a teoria de que, com o aumento da temperatura global, a fração recalcitrante (COM) se tornará mais sensível à decomposição e levará à diminuição das frações estabilizadas.

No presente estudo, tanto os teores de COM quanto a sua participação no COT representaram bons índices de estabilização da MOS, mesmo diante dos baixos valores de COT observados. Por meio do percentual COM constata-se que nas camadas mais profundas (20-30) cerca de 70% do C está associado com os minerais de argila, enquanto que apenas 25% do COT é representado pelo C na fração particulada.

3.3.3 Fracionamento químico das substâncias húmicas

Por meio do teste F foram constatados efeitos significativos ($p < 0,01$) para o fator profundidade em todos os compartimentos químicos da matéria orgânica do solo (MOS), conforme demonstrado na TABELA 12. As médias das frações químicas da MOS são apresentadas na TABELA 13.

Tabela 12 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para o incremento de carbono nas frações húmicas a partir de diferentes cultivares de mamona.

Fonte de variação	Teste F ¹		
	FAF	FAH	HUM
Cultivares (A)	0,8 ^{ns}	0,6 ^{ns}	1,2 ^{ns}
Profundidade (B)	5,0 ^{**}	11,1 ^{**}	58,65 ^{**}
Blocos	22,2 ^{**}	6,9 ^{**}	9,8 ^{**}
Interação AxB	0,8 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,4 [*]
CV (%) A	29,99	53,8	15,5
CV (%) B	23,38	32,9	13,0

¹ **, * e ns: Significativo a 1, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Tabela 13 - Carbono orgânico total (COT), fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH) e fração humina (HUM) em g kg⁻¹, percentual das frações húmicas em relação ao COT e relação AH/AF do solo cultivado com mamona.

Variedades	COT	g kg ⁻¹			%-----			AH/AF
		FAF	FAH	HUM	FAF	FAH	HUM	
IAC 20-28	3,7 a ¹	1,4 a	1,1 a	1,2 a	36,7	28,5	32,0	1,3
IAC-Guarani	3,6 a	0,8 a	1,0 a	1,2 a	22,3	28,6	33,3	1,8
IAC-80	3,4 a	1,2 a	0,9 a	1,1 a	36,4	27,8	31,4	1,2
IAC-226	3,8 a	1,0 a	1,3 a	0,9 a	26,0	34,0	24,4	2,0
MPA-34	3,3 a	0,9 a	1,0 a	1,3 a	27,3	31,1	38,2	2,5
MPB -01	3,5 a	1,1 a	1,0 a	1,3 a	30,9	28,4	38,1	1,4
MPA-11	3,9 a	1,0 a	1,2 a	1,2 a	25,7	31,5	31,6	3,2
Energia	3,7 a	1,3 a	1,1 a	1,2 a	35,1	29,7	33,3	1,6
Paraguaçu	3,7 a	1,1 a	1,4 a	1,1 a	29,9	36,8	30,0	1,8
Nordestina	3,4 a	1,0 a	1,1 a	1,3 a	29,4	31,8	37,0	1,8
IAC 20-28	3,6 a	0,8 a	1,0 a	1,2 a	22,3	28,6	33,3	1,3

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Não foram observados efeitos significativos das cultivares de mamona nas frações químicas da MOS. A falta de influência das cultivares nas frações húmicas condiz com a baixa biomassa produzida pela cultura. A escassa deposição de resíduos sobre o solo durante a condução do experimento, devido à baixa produtividade primária decorrente das condições climáticas, favoreceu os baixos teores de C no solo. Isso resultou em diminuição das frações húmicas, pois a formação da matéria orgânica humificada no solo depende de componentes orgânicos dos resíduos vegetais, principalmente lignina, polissacarídeos e biopolímeros (KOGEL-KNABNER, 2002).

Aranda *et al.* (2011) e Aranda e Oyonarte (2006) também observaram pequeno incremento de C no solo devido à baixa contribuição da vegetação em função de fatores edafoclimáticos no semiárido. Em contraste ao observado no presente trabalho, Egli *et al.* (2006), estudando o efeito das espécies *laurophyllous*, *Castanea sativa* e *Quercetum-Betuletum* sobre as frações da matéria orgânica, evidenciaram que estas influenciam o aporte

e a qualidade do húmus. Os autores também destacam que as espécies vegetais alteram a quantidade de ácidos fúlvicos, húmicos e o grau de humificação.

Os valores das frações húmicas observados neste estudo foram similares aos encontrados por Abril, Merlo e Noe (2013), evidenciando distribuição quantitativa das frações húmicas típicas de ambientes semiáridos. Egli *et al.* (2007) observaram que tanto a concentração superficial de COT como o estoque nos perfis e frações húmicas da matéria orgânica são relacionados com fatores climáticos, tais como precipitação e temperatura.

Houve predomínio da fração húmica (HUM) em detrimento das frações ácidos húmicos (FAH) e ácidos fúlvicos (FAF). A média de porcentagem de cada fração seguiu a ordem HUM (33,2%) > FAH (31,3%) > FAF (30,1%). De acordo Arshad e Schnitzer (1989), a precipitação e a vegetação influenciam a quantidade e a composição das substâncias húmicas. Já Austin e Vivanco (2006) demonstram que, em ambientes semiáridos, a fotodegradação é um dos principais fatores que contribuem para o processo de humificação, intensificado principalmente pela intensa radiação solar.

Abril, Merlo e Noe (2013), demonstrando a dinâmica das frações húmicas em relação aos gradientes de precipitação, observaram que em locais com 350 mm de precipitação as quantidades de frações húmicas são maiores em relação aos locais com 100 mm de precipitação. No entanto, os autores destacam que a humificação é mais acentuada em locais com baixa precipitação.

Aranda e Oyonarte (2005), avaliando o efeito da vegetação em ambiente semiárido, concluíram que a vegetação promove alterações significativas na composição do húmus. Uma das espécies vegetais avaliadas pelos autores promoveu maior grau de humificação da MOS, enquanto que outras espécies, por apresentarem maior concentração de compostos alifáticos, promoveram menor grau de humificação.

Piccolo *et al.* (2006), caracterizando as frações húmicas do ecossistema tropical da Etiópia, observaram predomínio de compostos aromáticos mais humificados, correspondendo ao aumento da FAH e HUM em detrimento da FAF. Os autores atribuíram o predomínio das frações mais estáveis à composição granulométrica dos solos da região, de textura argilosa.

Os resultados obtidos pelos autores citados coincidem com os resultados encontrados no presente estudo, pois houve efeito significativo para interação cultivar x camada na fração mais humificada (HUM), conforme apresentado na TABELA 14.

Tabela 14 - Valores médios da fração humina (HUM) entre as cultivares e camadas estudadas.

Cultivares	Teor de humina (g kg ⁻¹)		
	Camadas (cm)		
	0-10	10-20	20-30
IAC 20-28	1,7 aA	1,1 aB	0,81 aB
IAC-Guarani	1,6 aA	1,2 aAB	0,76 aB
IAC-80	1,4 aA	0,9 aAB	0,83 aB
IAC-226	1,3 aA	0,9 aAB	0,65 aB
MPA-34	1,5 aA	1,2 aAB	0,99 aB
MPB -01	1,6 aA	1,3 aAB	1,07 aB
MPA-11	1,6 aA	1,2 aAB	0,94 aB
Energia	1,7 aA	1,2 aB	0,83 aB
Paraguaçu	1,5 aA	1,1 aAB	0,71 aB
Nordestina	1,7 aA	1,3 aA	0,77 aB

Letras minúsculas comparam médias nas colunas para cultivares de mamona. Letras maiúsculas comparam médias nas linhas para profundidade do solo.

Dentre as profundidades avaliadas, observou-se que os maiores valores da fração humina (HUM) foram evidenciados nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, causando diferenças nos teores de humina nas camadas de 20-30 cm. Estudo conduzido por Qin *et al.* (2012) valida o observado no presente trabalho, pois estes autores verificaram que o cultivo de mamona aumenta os teores de matéria orgânica, principalmente por partes das raízes.

O cultivo de mamona no solo desnudo proporcionou a produção de biomassa por parte aérea e raízes, contribuindo para o aporte de carbono nas frações mais lábeis que, em função da condição climática, sofreu humificação. Srivastava *et al.* (1998) afirmam que as altas temperaturas de regiões semiáridas favorecem o processo de humificação, estimulando a mineralização de compostos mais lábeis formados por polissacarídeos, resultando na formação de compostos aromáticos de maior recalcitrância no solo. Hafidi *et al.* (2005) reportam que durante a biodegradação dos ácidos fúlvicos, estes dão origem a estruturas alifáticas e aromáticas que são quimicamente estáveis e biologicamente menos reativas do que o resíduo orgânico que lhe deu origem.

Farias *et al.* (2005), estudando a influência do sistema radicular nas substâncias húmicas de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, observaram que os valores de C da fração humina aumentaram em 30% com a adição de raízes. No período de crescimento exponencial das plantas, quando há máxima liberação de exsudatos radiculares, os acréscimos chegaram a 105%. De acordo com Kogel-Knabner (2002) o CO liberado pelas raízes é responsável pela entrada substancial de matéria orgânica no solo.

Senesi *et al.* (2004) destacam que a textura do solo influencia a quantidade e distribuição dos componentes da MOS. Logo, a fração argila do solo tem correlação

significativa com as frações mais recalcitrantes da MOS. Dessa forma, outro fator que possivelmente contribuiu para o predomínio e estabilização da fração humina na camada de 10-20 cm do presente estudo, foi o incremento de argila em direção ao topo do horizonte Bt, expresso entre 6,5 e 7,8 no perfil 1 e entre 12,3 e 42,8 dag kg⁻¹ no perfil 2. Mikutta *et al.* (2006) destacam que o aumento da humina em profundidade tem relação com seu grau de recalcitrância devido ao poder de adsorção dessa fração na matriz mineral do solo. Logo, o predomínio da fração humina na camada de 10-20 cm pode ser explicado também pela interação da MOS com a matriz coloidal, formando complexos estáveis e protegidos da oxidação (FELLER; BEARE, 1997).

Os valores médios da relação AH/AF entre os tratamentos indicam maior grau de humificação, o que é corroborado por resultados de outras análises realizadas neste estudo. A relação FAH/FAF tem sido usada para avaliar o grau de humificação (KONONOVA, 1996) e também para indicar a mobilidade do C no solo (GUIMARÃES *et al.*, 2013). No presente estudo, os valores da relação variaram entre cultivares e profundidades.

Valores da relação AH/AF próximos a um (1,0) indicam boa humificação no solo. Valores inferiores a um (1,0) indicam perda da fração lábil ácido fúlvico (KONONOVA, 1996; GUIMARÃES *et al.*, 2013). As razões alcançadas no presente estudo variaram de 1,2 a 3,2, indicando predomínio de frações mais humificadas. Segundo Canellas *et al.* (2001), maior grau de humificação implica condições de melhor qualidade do solo e condições de rápida mineralização. De acordo com Egli *et al.* (2007), a razão AH/AF é influenciada pela vegetação e pelo clima. Estes autores observaram que essa relação diminui com o aumento da altitude e atribuíram a baixa razão AH/AF à diminuição da fração ácidos húmicos e aumento da fração ácidos fúlvicos.

Aranda *et al.* (2011), avaliando as substâncias húmicas provenientes de cultivos de oliveiras no semiárido da Espanha, encontraram razões AH/AF inferiores a 1, resultando em menores condições de humificação para o solo. Os autores atribuíram essa condição à influência negativa do substrato geológico desfavorecendo os precursores da humina. Almendros, Zancada e Pardo (2005), estudando o COT no cerrado com vegetação xerófila, obtiveram razão AH/AF maior que 1 e a participação da fração humina no COT em torno de 34%. Os autores atribuíram estas razões à intensa radiação solar e aos ciclos de umedecimento e secagem como fatores que aumentam a estabilidade e a aromaticidade das substâncias húmicas. Estes resultados corroboram os encontrados no presente estudo.

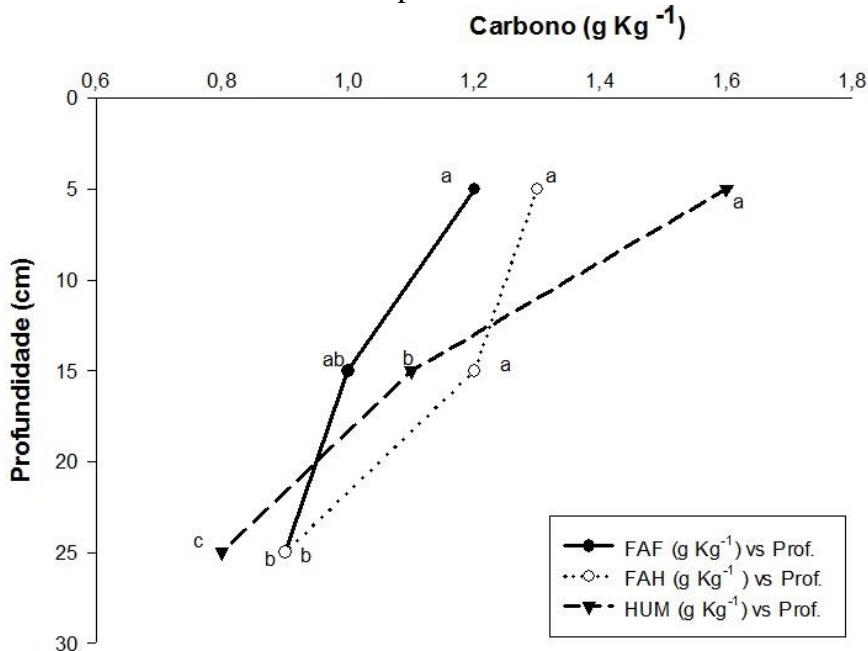
De acordo Aranda *et al.* (2011), solos com baixa qualidade física, como a baixa porosidade, tendem a acumular mais compostos orgânicos. Isso ocorre, pois sem aeração a

atividade microbiológica torna-se mais restrita, promovendo maior persistência destes compostos na matriz do solo. Outro fator destacado pelos autores é a presença de filossilicatos no solo que interagem com a matéria orgânica, aumentando sua estabilização.

Aranda e Oyonarte (2006), caracterizando a matéria orgânica formada a partir de vegetação desenvolvida sobre solos derivados de rochas calcárias, observaram que em locais com maior teor de bases trocáveis houve diminuição da matéria orgânica leve, predominando compartimentos mais estáveis em relação aos ambientes mais ácidos. Estes autores sugerem que a maior humificação ocorre em função da atividade biológica mais expressiva. Conforme relatado por Dabin (1981), o baixo conteúdo de bases trocáveis dificulta a atividade microbiana e resulta na redução da humificação. Dessa forma, o maior grau de humificação observado no presente estudo pode também ser atribuído ao caráter eutrófico do solo. Em solos eutróficos a presença de cátions de Ca^{2+} favorece a estabilização da matéria orgânica devido à formação de humatos de cálcio (FONTANA *et al.*, 2008).

Em profundidade, as frações químicas diferiram significativamente. Os teores de C na forma de ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e humina (HUM) nas camadas de 0-10; 10-20 e 10-30 cm de solo estão apresentados na FIGURA 12.

Figura 12- Substâncias húmicas vs profundidade do solo.



Letras minúsculas comparam profundidades em cada fração das substâncias húmicas ($P < 0,05$).

Fonte: Sousa (2013)

Os teores de C na forma de substâncias húmicas foram maiores nas primeiras profundidades do perfil, alcançando nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade valores na FAF de 1,2; 1,0 e 0,9 g kg⁻¹. Na FAH os valores foram 1,3; 1,2 e 0,9, enquanto que na fração HUM os valores foram 1,6; 1,1 e 0,8 g kg⁻¹ nas três camadas de solo.

A fração humina (HUM) apresentou maiores valores em relação às demais frações. Os teores de humina diminuíram com a profundidade. Segundo Guimarães *et al.* (2013), os maiores teores da fração humina na camada superficial estão relacionados com a intensa atividade microbiana e, conseqüentemente, com a maior taxa de decomposição. De maneira geral, isso resulta em menor solubilidade de ácidos húmicos e, portanto, confere maior persistência e estabilidade da fração no solo (ARANDA; OYONARTE, 2005).

Srivastava *et al.* (1998), avaliando o efeito do clima sobre as substâncias húmicas, evidenciaram que, com a diminuição da temperatura, há aumento na fração ácido fúlvico e, com aumento da temperatura, há predomínio de frações mais humificadas. Os autores concluíram que em maiores altitudes, onde há temperaturas mais baixas, as substâncias húmicas estão em frações menos humificadas do que em climas quentes. Já Aranda e Oyonarte (2006) afirmam que existe tendência de maior estabilidade para as frações húmicas quando estas se formam em solos ligeiramente alcalinos. Logo, a posição no relevo e o material de origem exercem influência no controle dos processos de humificação e degradação da MOS. Os valores de ácidos húmicos situaram-se logo abaixo da fração humina na camada de 0-10 cm. Já nas camadas de 10-20 e 20-30 cm, a fração ácidos húmicos superou os valores verificados para a fração humina.

O C da fração ácido fúlvico apresentou menores valores em relação às demais frações, com médias de 1,2; 1,0 e 0,9 g kg⁻¹ nas camadas de 0-10; 10-20 e 20-30 cm, respectivamente. Os menores valores para fração ácidos fúlvicos estão coerentes com o que foi observado para a fração COP do fracionamento físico, pois estas são as frações mais lábeis da MOS. Estes resultados estão de acordo com o encontrado por Gomez *et al.* (2010).

Os menores valores da fração ácidos fúlvicos também estão associados ao fato de o ambiente ser favorável à humificação. Na camada 20-30 cm, a fração ácido fúlvico apresentou teores iguais aos ácidos húmicos e superiores à fração humina. O acréscimo desta fração em relação às frações mais estabilizadas se deve à mobilidade e formação de complexos orgânicos que favorecem a migração de compostos ao longo do perfil, conforme reportado por Ibraimo *et al.* (2004). Fermer, Skjemstad e Thompson (1983) destacam que em solos com horizonte B em condições de hidromorfismo, a menor polimerização dos ácidos fúlvicos favorece sua mobilidade no perfil, promovendo acúmulo em subsuperfície.

3.4 CONCLUSÃO

O cultivo da mamona melhorou a fertilidade do solo devido ao incremento nos atributos químicos C.O., M.O., Ca, P, SB, CTC e V%.

Os teores de COT e do C nas frações físicas e nas frações químicas da matéria orgânica do solo não foram afetados pelos cultivares de mamona, mas sim pela profundidade do solo.

De modo geral, os Planossolos estudados apresentam baixos teores de COT e a maior parte deste carbono está na fração da matéria orgânica estabilizada associada aos minerais e humina, desempenhando importante papel na proteção da MOS do semiárido.

Faz-se necessário aprofundar o estudo, pois não houve tempo suficiente para que houvesse respostas satisfatórias em função de um ano atípico que permitisse diferenciar a influência das cultivares.

REFERÊNCIAS

- ABRIL, A.; MERLO, C.; NOE, L. Realistic soil C sink estimate in dry forests of western Argentina based on humic substance content. **Journal of Arid Environments**, v. 91, p. 113-118, 2013.
- ALMENDROS, G.; ZANCADA, M. C.; PARDO, M.T. Land use and soil carbon accumulation patterns in South African savanna ecosystems. **Biol Fertil Soils**, v. 41, p. 173-181, 2005.
- AMELUNG, W. Carbon, Nitrogen, and Sulfur Pools in Particle-Size Fractions as Influenced by Climate. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, p. 172-181, 1998.
- AQUINO, B. F. *et al.* **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Universidade Federal do Ceará. p, 35. 1993.
- ARANDA, V. *et al.* Effect of soil type and management (organic vs. conventional) on soil organic matter quality in olive groves in a semi-arid environment in Sierra Mágina Natural Park (S Spain). **Geoderma**, v. 164, p. 54–63, 2011.
- ARANDA, V.; OYONARTE, C. Characteristics of organic matter in soil surface horizons derived from calcareous and metamorphic rocks and different vegetation types from the Mediterranean high-mountains in SE Spain. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. 247–258, 2006.
- ARANDA, V.; OYONARTE, C. Effect of vegetation with different evolution degree on soil organic matter in a semi-arid environment (Cabo de Gata-Níjar Natural Park, SE Spain). **Journal of Arid Environments**, v. 62, p. 631–647, 2005.
- ARSHAD, M. A.; SCHNITZER, M. Chemical characteristics of humic acids from five soils in Kenya. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk*, v. 52, p. 11–16, 1989.
- AUSTIN, A.; VIVANCO, L. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation. **Nature**, v. 442, p. 555-558, 2006.
- BAYER, C. *et al.* Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 677-683, 2004.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p.777-783, 1992.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fraction from cultivated grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p. 123–130, 1994.

CANELLAS, L. P. *et al.* Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1529-1538, 2001.

CERRI, C. C. *et al.* Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 831-843, 2009.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M. C. E. P.; FELLER, C. Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. **Soil Use and Management**, v. 20, p. 248-254, 2004.

CHEN, Q. *et al.* Warming and increased precipitation individually influence soil carbon sequestration of Inner Mongolian grasslands, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.158, p. 184 – 191, 2012.

COLEMAN, D. C.; OADES, M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**, Honolulu, University of Hawaii Press, 1989, p. 129-130.

COSTA, F. S. *et al.* Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 587-589, 2004.

DABIN, B. **Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés**. Journée Georges Aubert. Cahiers ORSTOM. Série Pédologie, v. 28, p.197-215, 1981.

DICK, R. P. *et al.* Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization potential of semiarid Sahelian soils amended with native shrub residues. **Geoderma**, v. 148, p. 251-260, 2009.

DISTEL, R. A.; MORETTO, A. S. Decomposition of and nutrient dynamics in leaf litter and roots of *Poa ligularis* and *Stipa gyneriodes*. **Journal of Arid Environments**, v. 55, p. 503–514, 2003.

DISTEL, R. A.; MORETTO, A. S.; DIDONÉ, N. G. Decomposition and nutrient dynamic of leaf litter and roots from palatable and unpalatable grasses in a semi-arid grassland. **Applied Soil Ecology**, v. 18, p. 31–37, 2001.

EGLI, M. *et al.* Effect of climate and vegetation on soil organic carbon, húmus fractions, allophanes, impolite, kaolinite, and oxyhydroxides in volcanic soils of Etna (silicy). **Soil science**, v. 172, p. 673-691, 2007.

EGLI, M. *et al.* Influence of laurophyllous species, *Castanea sativa* and *Quercetum*–*Betuletum* vegetation on organic matter in soils in southern Switzerland and northern Italy. **Geoderma**, v. 136, p. 723–737, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FARIAS, E.P. *et al.* Aporte de carbono solúvel pelo sistema radicular de arroz e sua influência nos teores de substâncias húmicas de um latossolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 875-882, 2005.

- FERMER, V. C.; SKJEMSTAD, J. O.; THOMPSON, C. H. Genesis of humus B horizons in hydromorphic humus Podzols. **Nature**, v. 304, p. 342-344, 1983.
- FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.
- FONTANA, A. *et al.* Distribution of organic carbon in the humic fractions of diagnostic horizons from brazilian soils. **Communication in soil science and plant analysis**, v. 39. p. 1-21, 2008.
- FRACETTO, C. *et al.* Estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na Caatinga. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1545-1552, 2012.
- FRASER, L. H.; HOCKIN, A. D. Litter decomposition rates of two grass species along a semi-arid grassland forest ecocline. **Journal of Arid Environments**, v. 88, p. 125-129, 2013.
- FU, B. *et al.* Effects of vegetation restoration on soil organic carbon sequestration at multiple scales in semi-arid Loess Plateau, China. **Catena**, v. 85, p. 58-66, 2011.
- GAN, Y. T. *et al.* Carbon input to soil from oilseed and pulse crops on the Canadian prairies. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 132, p. 290-297, 2009.
- GASPARATOS, A.; STROMBERG, P.; TAKEUCHI, K. Sustainability impacts of first-generation biofuels. **Animal Frontiers**, v. 3, n° 2, 2013.
- GOMEZ, E. *et al.* Influence of organic amendments on soil quality potential indicators in an urban horticultural system. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 8897-8901, 2010.
- GREGORY, P. J.; PALTA, J. A. Drought affects the fluxes of carbon to roots and soil in ¹³C pulse-labelled plants of wheat. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, p. 9-10, 1997.
- GRUNWALD, S. *et al.* Total and available soil carbon fractions under the perennial grass *Cynodon dactylon* (L.) Pers and the bioenergy crop *Arundo donax* L. **Biomass and bioenergy**, v. 41, p. 122- 130, 2012.
- GRUNZWEIG *et al.* Carbon sequestration in arid- land forest. **Global change biology**, v. 9, p. 791-799, 2003.
- GUIMARÃES, D. V. *et al.* Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. **Soil & Tillage Research**, v. 126, p. 177-182, 2013.
- GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 8, p. 345-360, 2002.
- HABIB-MINTZ, N. Biofuel investment in Tanzania: Omissions in implementation. **Energy Policy**, v. 38, p. 3985-3997, 2010.
- HAFIDI, M. *et al.* Structural characterization of fulvic acids during composting of sewage sludge. **Process Biochemistry**, v. 40, p.1693-170, 2005.

HEVIA, G. G. *et al.* Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina, Effects of climate, soil texture and management. **Geoderma**, v. 116, p. 265–277, 2003.

HOFMOCKEL, K. S. *et al.* Changes in forest soil organic matter pools after a decade of elevated CO₂ and O₃. **Biology & Biochemistry**, v. 43, p. 1518 -1527, 2011.

HOOKER, T. D.; STARK J. M. Soil C and N cycling in three semiarid vegetation types: Response to an in situ pulse of plant detritus. **Biology & Biochemistry**, v. 40, p. 2678–2685, 2008.

IBRAIMO, M. M. *et al.* Gênese e micromorfologia de solos sob vegetação xeromórfica (caatinga) na região dos lagos (RJ). **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 28, p. 695-712, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO – INSA. **Estiagem e seca no semiárido**. Folheto informativo, n. 1, 2013.

JIA *et al.* Effects of rotational tillage practices on soil properties, winter wheat yields and water-use efficiency in semi-arid areas of north-west China. **Field Crops Research**, v. 129, p. 7–13, 2012.

KARAVINA, C. *Jatropha curcas* production in Zimbabwe: uses, challenges and the way forward. **Modern Applied Science**, v. 5, nº 2, 2011.

KARHU, K. *et al.* Temperature sensitivity of organic matter decomposition in two boreal forest soil profiles. **Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 72-82, 2010.

KOGEL-KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as input to soil organic matter. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 34, p.139-162, 2002.

KONONOVA, M. M. **Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación**. Barcelona: Oikos-tau, 1996 364 p.

KÖPPEN, W. 1948. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Econômica. México. 479p.

KOUKOURA, Z. Decomposition and nutrient release from C₃ and C₄ plant litters in a natural grassland. **Acta Oecologica**, v. 19, p. 115-123, 1998.

KOUKOURA, Z.; MAMOLOS, A. P.; KALBURTJI, K. L. Decomposition of dominant plant species litter in a semiarid grassland. **Applied Soil Ecology**, v. 23, p. 13–23, 2003.

LAL, R. Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. **Food Policy**, v. 36, p. S33–S39, 2011.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco. 2003, 18 p.

LI, F. M. *et al.* Soil carbon pool and effects of soil fertility in seeded alfalfa fields on the semi-arid Loess Plateau in China. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, p. 2350–2358, 2006.

- LIMA, J. R. S. *et al.* Seasonal and interannual variations of evapotranspiration, energy exchange, yield and water use efficiency of castor grown under rainfed conditions in northeastern Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 203–211, 2013.
- LOPEZ-FANDO, C.; PARDO, M. T. Soil carbon storage and stratification under different tillage systems in a semi-arid region. **Soil & Tillage Research**, v. 111, p. 224-230, 2011.
- LOVATO, T. *et al.* Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p.175–187, 2004.
- MAIA, S. M. F. *et al.* Frações de nitrogênio em Luvisolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semiárido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 381-392, 2008.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 35p.
- MIKUTTA, R. *et al.* Stabilization of soil organic matter: association with minerals or chemical recalcitrance? **Biogeochemistry**, v. 77, p. 25–56, 2006.
- OLIVEIRA *et al.* Classificação de solos Planossolos do sertão do Araripe (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 685-693, 2003.
- PICCOLO, A. *et al.* Changes of humic substances characteristics from forested to cultivated soils in Ethiopia. **Geoderma**, v. 132, p. 9 –19, 2006.
- QIN, P. *et al.* Ameliorative effect of castor bean (*Ricinus communis* L.) planting on physico-chemical and biological properties of seashore saline soil. **Ecological Engineering**, v. 38, p. 97–100, 2012.
- RANA, D. S.; GIRI, G.; PACHAURI, D. K. Evaluation of castor (*Ricinus communis*) genotypes for productivity, economics, litter fall and changes in soil properties under different levels of inter-row spacing and nitrogen. **Indian Journal of Agronomy**, v. 51, p. 318-322, 2006.
- ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas, Modelagem matemática e métodos auxiliares**. 1, ed, Dourados- MS: EMBRAPA, 2006, 20p.
- SCHUMACHER. M. V. *et al.* Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 27, p. 791-798, 2003.
- SENESI, N. *et al.* Influence of texture on organic matter distribution and quality and nitrogen and sulphur status in semiarid Pampean grassland soils of Argentina. **Geoderma**, v. 123, p. 143–152, 2004.
- SIMON, J. **Culturas bioenergéticas: produção de biomassa, decomposição e liberação de nitrogênio dos resíduos culturais**. 2009. 55 f. Dissertação (Mestrado em Biodinâmica e

Manejo do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

SMIT, G. N.; HAGOS, M. G. Soil enrichment by *Acacia mellifera* subsp. *detinens* on nutrient poor sandy soil in a semi-arid southern African savanna. **Journal of Arid Environments**, v. 61, p. 47–59, 2005.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L., ed. **Methods of soil analysis**. Part 3. Madison, America Society of Agronomy, 1996. p. 1011-1020 (SSSA Book Series, 5).

SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Land use effects on soil organic matter properties of chromic Luvisols in semi-arid northern Tanzania: carbon, nitrogen, lignin and carbohydrates. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 78, p. 203–213, 2000.

SOUZA, A. S. *et al.* Épocas de plantio e manejo da irrigação para a mamoneira. I – componentes de produção. **Revista ciência agrônômica**, v. 38, p. 414-421, 2007.

SRIVASTAVA, P. C. *et al.* Characteristics of humic substances in cultivated and natural forest soils of Sikkim. **Geoderma**, v. 84, p. 345–362, 1998.

STARK, J. M.; CHEN, J. Plant species effects and carbon and nitrogen cycling in a sagebrush crested wheatgrass soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, p. 47-57, 2000.

TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. **Nature**, v. 371, p.738-785, 1994.

TIESSEN, H.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Nutrient availability in soil samples from shifting cultivation in the semiarid Caatinga of NE Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 65, p. 177-186, 1997.

WANI, S.P. *et al.* Improved management of Vertisols in the semiarid tropics for increased productivity and soil carbon sequestration. **Soil Use and Management**, v. 19, p. 217-222, 2003.

YIN, X. Q.; XIN, W. D.; SONG, B. Contribution of soil fauna to litter decomposition in Songnen sandy lands in northeastern China. **Journal of Arid Environments**, v. 77, p. 90-95, 2012.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

ZECH, W. *et al.* Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v.79, p. 117-161, 1997.

ZENG, D. H. *et al.* Impact of litter quality and soil nutrient availability on leaf decomposition rate in a semiarid grassland of Northeast China. **Journal of Arid Environments**, v. 75, p. 787-792, 2011.

ZENTNER, R. P. *et al.* The search of a sustainable cropping system for the semiarid Canadian prairies. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 18, p. 117–136, 2001.

ZHOU, X. *et al.* Soil extractable carbon and nitrogen, microbial biomass and microbial metabolic activity in response to warming and increased precipitation in a semiarid Inner Mongolian grassland. **Geoderma**, v. 206, p. 24–31, 2013.

4 PRODUTIVIDADE, TEOR DE ÓLEO NAS SEMENTES E ATRIBUTOS RADICULARES DE CULTIVARES DE MAMONA NO SEMIÁRIDO

RESUMO

A mamona tem sido amplamente cultivada no Nordeste do Brasil, mas as condições climáticas em algumas áreas têm limitado a produção. Nesse contexto, é importante explorar a viabilidade de genótipos de mamona em termos de adaptabilidade e produtividade para alavancar a produção comercial de rícino. O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de dez cultivares de mamona e identificar genótipos mais adaptados às condições semiáridas. O experimento foi conduzido em Pentecoste (CE), com delineamento de blocos ao acaso com dez tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram os seguintes cultivares de mamona: IAC 20-28; IAC-Guarani; IAC-80; IAC-226; MPA-34; MPB-01; MPA-11; BRS-Energia; Paraguaçu e Nordestina. Foram realizadas avaliações de produtividade, teor de óleo e estado nutricional das plantas. Para avaliar atributos radiculares, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas, apresentando as dez cultivares nas parcelas e as camadas de coleta de raízes (0-10; 10-20 e 20-30 cm) nas subparcelas. As cultivares Nordestina, Paraguaçu e MPA-34 apresentaram tendência de maior produtividade, mesmo não havendo diferença estatística em relação às demais. Essas cultivares também apresentaram maior potencial de produção de óleo, podendo gerar mais matéria-prima para o programa de biodiesel no semiárido. A avaliação de estado nutricional da mamoneira revelou que a cultivar BRS-Energia apresentou maiores teores de Ca e Mg (19,2 e 7,4 g kg⁻¹, respectivamente), enquanto que a cultivar IAC-226 apresentou maiores teores de K e N (17,6 e 34,0 g kg⁻¹, respectivamente) quando comparadas às demais. Para micronutrientes, a cultivar MPB-01 apresentou maiores teores de Zn (59,7 mg kg⁻¹) em relação às demais. Os atributos radiculares não diferiram estatisticamente entre cultivares, mas Paraguaçu e MPB-01 apresentaram maior comprimento de raiz. Dentre as dez cultivares avaliadas, em termos de desempenho e rendimento agrônomico, as que responderam de maneira satisfatória às condições ambientais da região semiárida quanto aos aspectos avaliados foram: Nordestina, Paraguaçu, BRS- Energia e MPB-01.

Palavras-Chave: Rendimento de óleo. *Ricinus communis* L. Produção de sementes. Raízes.

4 PRODUCTIVITY, OIL CONTENT IN SEEDS AND ROOT ATTRIBUTES OF CASTOR BEAN CULTIVARS IN THE SEMI-ARID

ABSTRACT

The castor plant has been widely grown in northeastern Brazil, but the climatic conditions in some areas have limited production. In this context, it is important to explore the feasibility of castor genotypes in terms of adaptability and productivity to leverage the commercial production of castor. The aim of this study was to evaluate the potential of ten castor bean cultivars and identify the most adapted genotypes to the semiarid conditions. The experiment was conducted at Pentecost (C E) using a randomized block design with ten treatments and four replications. The treatments were the following castor bean cultivars: IAC 20-28; IAC-Guarani; IAC-80; IAC-226; MPA-34; MPB-01; MPA-11; BRS-Energia; Paraguaçu and Nordeste. Assessments on productivity, oil content and nutritional status of plants were performed. A completely randomized split-plot design was used to assess root attributes, showing the ten cultivars in plots and layers collection of roots (0-10, 10-20 and 20-30 cm) in the subplots. The Nordeste, Paraguaçu and MPA-34 cultivars showed a tendency to increased productivity, even with no statistical difference in relation to the others. These cultivars also had a greater potential to oil production and can generate more raw material for the biodiesel program in the semiarid region. The assessment of nutritional status of castor bean revealed that BRS-Energia cultivar showed higher Ca and Mg contents (19.2 and 7.4 g kg⁻¹, respectively), while the IAC-226 had higher K and N content (17.6 and 34.0 g kg⁻¹, respectively) when compared to the others. For micronutrients, the MPB-01 cultivar showed higher contents of Zn (59.7 mg kg⁻¹) compared to the others. The root attributes did not differ among cultivars, but Paraguassu and MPB-01 had higher root length. Out of the ten cultivars evaluated in terms of performance and agronomic performance, those which responded adequately to the environmental conditions of the semiarid region on the aspects evaluated were: Nordeste, Paraguaçu, BRS- Energia e MPB-01.

Keywords: oil yield. *Ricinus communis* L. seeds production. Roots.

4.1 INTRODUÇÃO

Atualmente mais de 350 oleaginosas foram identificadas como fonte potencial para produção de biodiesel (ATABANIA *et al.*, 2012). Dentre estas, Martin *et al.* (2010) e Brasileiro-Vidal *et al.* (2010) destacam que a mamona tem sido indicada como promissora à produção de biodiesel. Severino *et al.* (2012) afirmam que essa oleaginosa pode integrar o setor bioenergético, principalmente em função do alto teor de óleo.

No Nordeste do Brasil a mamona tem sido amplamente cultivada (CÉSAR; BATALHA, 2010), se tornando uma cultura tradicional e com importância social e econômica na região semiárida brasileira (DINIZ *et al.*, 2011). Tendo em vista o potencial da cultura, em termos de usos industriais e crescente demanda por óleo de rícino e derivados em todo o mundo, há necessidade de aumentar sua produtividade (RAMANJANEYULU; REDDY; MADHAVI, 2013).

Sailaja, Tarakeswari e Sujatha (2008) destacam que a maior restrição ao aumento da produtividade da mamona está relacionada à vulnerabilidade das variedades aos fatores bióticos e abióticos. Tem-se observado que os rendimentos da mamona no Brasil ainda são incipientes e não atendem à demanda industrial de sementes (PINHEIRO *et al.*, 2008). Para Papakosta, Koutrouba e Doitsinis (1999), a causa dos baixos rendimentos é a utilização de cultivares não melhoradas para a produção extensiva.

Para Severino e Auld (2013b), é importante compreender os fatores que controlam a produção da mamoneira, pois isto otimizará as práticas de manejo e a escolha de cultivares com maior potencial para produção de óleo. Segundo Papakosta, Koutroubas e Doitsinis (1999), é necessário explorar a viabilidade de genótipos de mamona em termos de capacidade de adaptação e produtividade para a produção comercial de rícino.

As condições climáticas em algumas regiões tropicais, muitas vezes, limitam o cultivo da mamona, assim como o pleno crescimento e desenvolvimento da planta (OGUNNIYI, 2006). Isso acontece porque a produção de mamona pode ser influenciada por vários fatores ambientais, como radiação, temperatura, precipitação e dinâmica de salinidade do solo (HUANG *et al.*, 2011). Apesar de a mamona ter alto nível de tolerância à seca, o rendimento de sementes é reduzido quando há limitação de água (SEVERINO *et al.*, 2012).

A mamona tem o sistema radicular profundo e ramificado, configurando características desejadas em condições de escassez de água e nutrientes (SEVERINO; AULD, 2013a). Trata-se de uma espécie com boa adaptação ao cultivo de sequeiro, pois apresenta características que lhe conferem resistência à seca (KUMAR *et al.*, 1997).

De acordo com Gan *et al.* (2011), em regiões secas a morfologia do sistema radicular das culturas é crucial na aquisição de água, pois características morfológicas das raízes, tais como comprimento, área superficial e diâmetro, influenciam diretamente a funcionalidade de todo o sistema radicular. Segundo Barber e Mackay (1986), genótipos mais adaptados promovem enraizamento mais intenso e profundo, aumentando a zona de absorção de água e nutrientes. Estabelecer variações genéticas entre genótipos e o meio permite elaborar práticas eficientes no desenvolvimento de plantas mais adaptadas aos diferentes meios e condições edafoclimáticas (KONDO *et al.*, 2003). No cultivo de mamona em sequeiro o estresse hídrico é o principal fator limitante à produção (ANJANI, 2010).

Barros Júnior *et al.* (2008) relatam que, em regiões que apresentam totais de precipitação inferiores a 500 mm no período chuvoso, a mamoneira perde grande parte da sua produção, acentuando-se os riscos de perda total de safras e de baixos rendimentos. Porém, a produtividade da mamona pode ser aumentada com o uso de variedades e híbridos com bom potencial genético e com o manejo adequado da cultura (SEVERINO; AULD, 2013a). Chutia *et al.* (2011) ressaltam que o setor bioenergético pode ser favorecido pela escolha de variedades de alta produtividade.

Diante disso, nas últimas quatro décadas diversas variedades têm sido desenvolvidas para atender à demanda global de rícino. Cultivares mais produtivas têm sido inseridas nos sistemas, proporcionando rendimentos superiores (ANJANI, 2012). De acordo com esse autor, o melhoramento genético é uma ferramenta importante quando se deseja selecionar características e genótipos mais produtivos.

Estudos têm demonstrado que o teor de óleo varia em função dos genótipos e das condições climáticas (PAPAKOSTA; KOUTROUBAS; DOITSINIS, 1999). Laureti *et al.* (1998) demonstraram que há diferenças em termos de produtividade entre diferentes cultivares. Os autores concluíram que características morfológicas e fenológicas influenciam o desempenho produtivo e a adaptabilidade da mamona ao meio.

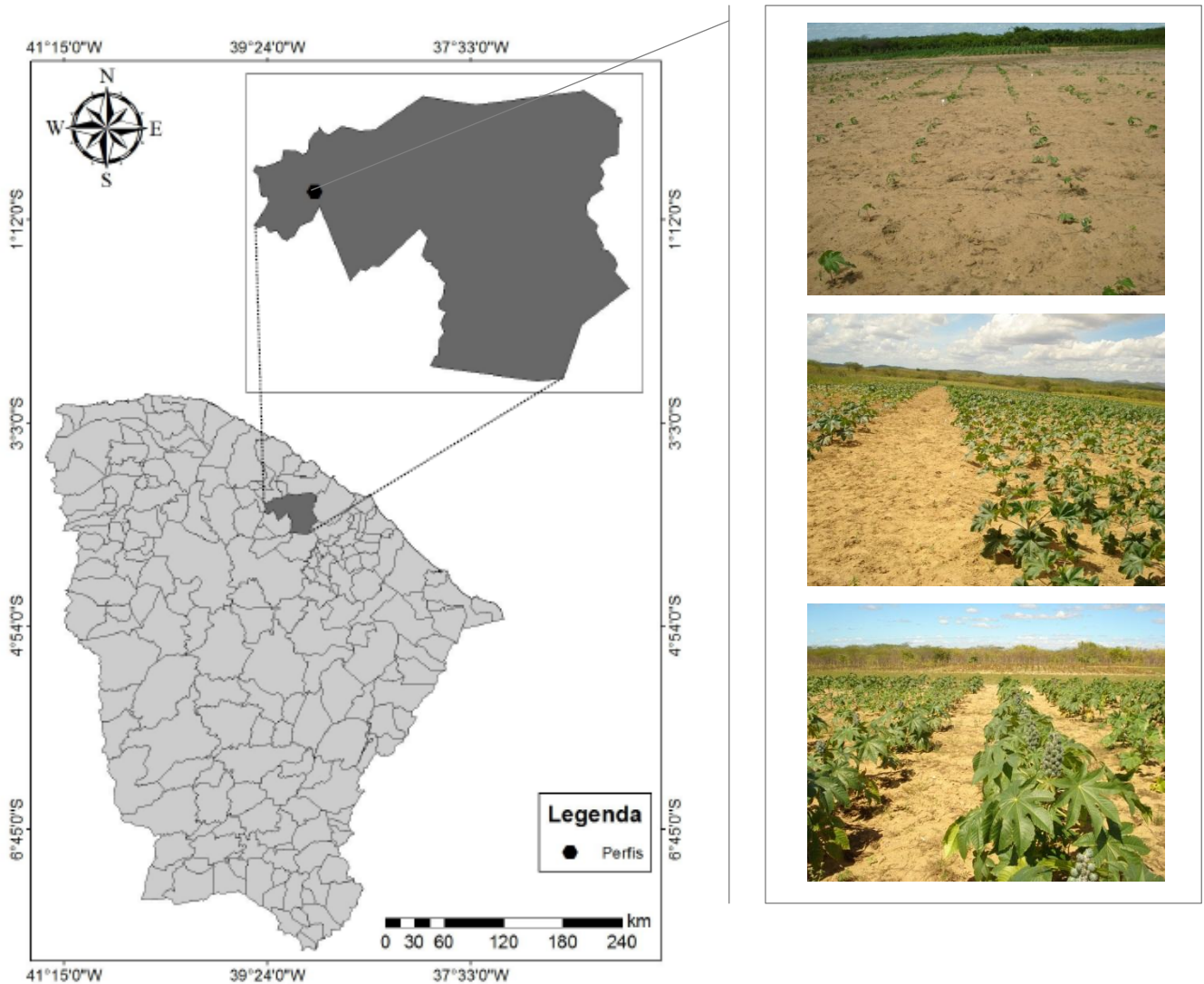
O objetivo do presente estudo foi avaliar o potencial produtivo de dez cultivares de mamona e identificar genótipos mais adaptados às condições semiáridas, por meio de informações referentes à avaliação da produtividade, teor de óleo, estado nutricional das plantas e desenvolvimento do sistema radicular da mamoneira.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Área de estudo

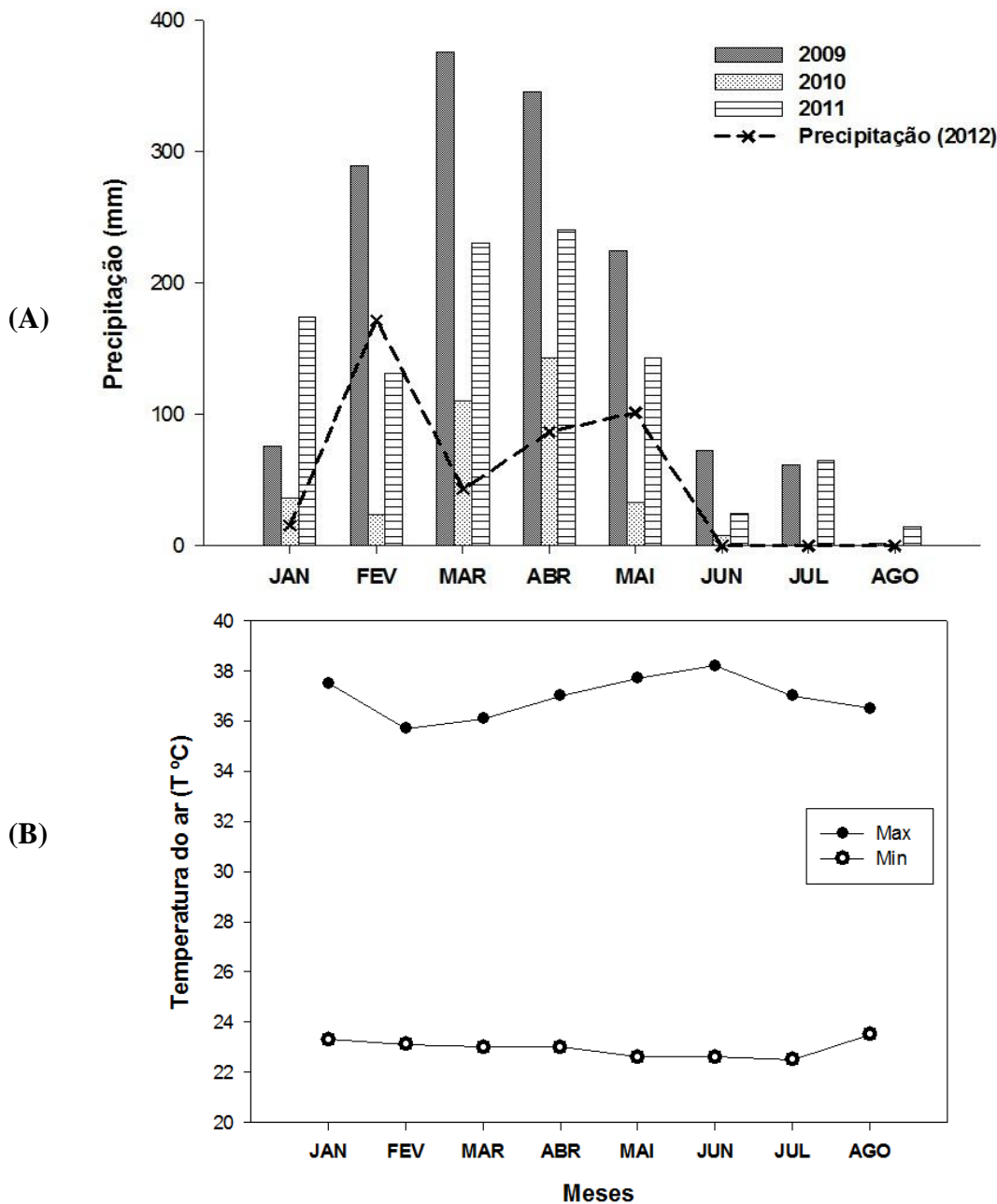
O estudo foi realizado na Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC), pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. A fazenda está localizada no Município de Pentecoste (CE), que está situado geograficamente na Microrregião do Médio Curu. As coordenadas geográficas da fazenda experimental são 95°77'892" de latitude sul e 04° 60'516" de longitude, com altitude média de 86 metros acima do nível do mar (SOUZA *et al.*, 2007).

Figura 13 – Localização da área de estudo no município de Pentecoste (CE). Área experimental mostrando o desenvolvimento das plantas de mamona aos 30, 90 e 120 dias após o plantio.



De acordo com Köppen, a classificação climática da região é do tipo Aw' tropical chuvoso, com cinco a oito meses secos. As temperaturas médias variam de 22 °C a 28 °C (SOUZA *et al.*, 2007). A precipitação média de quatro anos, incluindo o ano de condução do experimento (2012), pode ser visualizada na FIGURA 14.

Figura 14 – Precipitação mensal no período de Janeiro a Agosto nos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012 no município de Pentecoste (A) e variação térmica mensal com valor máximo e mínimo de temperatura do ar durante o período de condução do experimento (B).

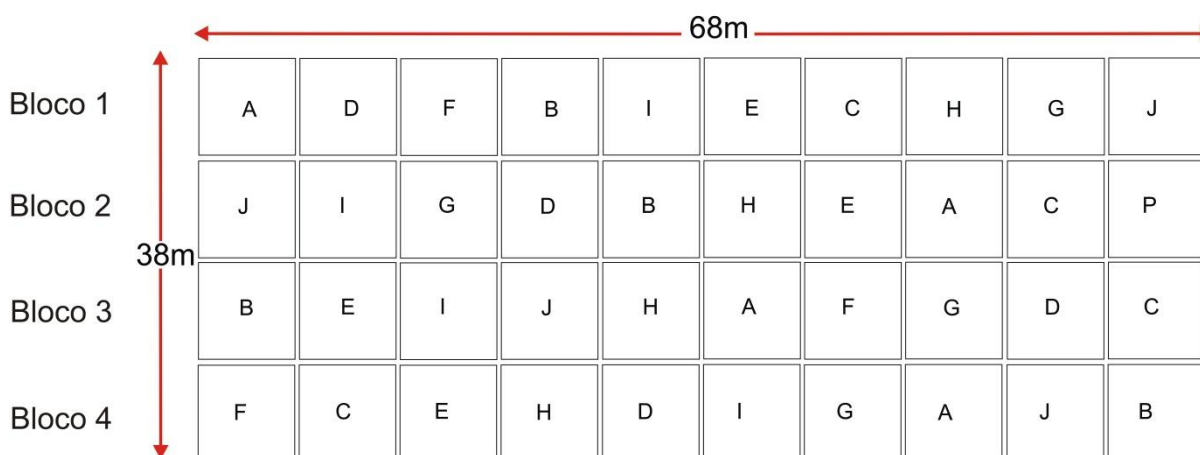


O cultivo da mamona foi realizado em condições de sequeiro para instalação de um experimento em 30/03/2012. O delineamento foi em blocos inteiramente casualizados, com dez tratamentos (cultivares de mamona), combinados de dois espaçamentos, conforme recomendações para as cultivares estudadas (TABELA 15) e quatro repetições, constituindo 40 unidades experimentais (FIGURA 15).

Tabela 15 – Distribuição e descrição dos dez genótipos avaliados e diferentes espaçamentos em Pentecoste (CE), 2012.

Tratamento	Cultivar	Espaçamento	Tratamento	Cultivar	Espaçamento
A	IAC 20-28	2x1	F	MPB -01	1x1
B	IAC-Guarani	1x1	G	MPA-11	2x1
C	IAC-80	2x1	H	BRS- Energia	1x1
D	IAC-226	2x1	I	Paraguaçu	2x1
E	MPA-34	2x1	J	Nordestina	2x1

Figura 15 – Croqui da área experimental.



Fonte: Sousa (2013)

Cada parcela experimental foi composta por quatro linhas com espaçamento indicado na TABELA 15, apresentando dimensões de 8 x 4 m, de modo a totalizar densidade de 32 plantas por parcela. Como área útil foi considerada a área ocupada por quatro plantas no centro de cada parcela.

Para instalação do experimento foi realizada adubação mineral com formulação NPK nas proporções de 35:50:40. Na adubação de plantio foi aplicado 1/3 da ureia e todo o superfosfato simples e cloreto de potássio. O restante da ureia (2/3) foi aplicado 40 dias após

o plantio, conforme recomendação para a cultura da mamona elaborada por Beltrão e Goldin (2006).

4.2.2 Produtividade

A produtividade da mamona foi avaliada somente ao final do ciclo produtivo das plantas. Frutos indeiscentes foram coletados em quatro plantas dentro da área útil. Aos 150 dias após o cultivo foram colhidos todos os cachos produzidos na área útil das parcelas para contabilizar a produtividade da mamona por meio da pesagem de grãos.

Avaliaram-se os dados de produção por parcela em bagas, posteriormente transformados para produtividade (kg ha^{-1}). A produtividade da mamona foi composta pelos rendimentos dos racemos primários, secundários e terciários. Os frutos utilizados para medir a produtividade foram acondicionados e transportados para laboratório para extração de óleo.

4.2.3 Teor de óleo

A extração do óleo das sementes foi realizada no extrator modelo TE-044-8 da TECNAL, conforme ilustrado na FIGURA 16.

Figura 16 – Aparelho extrator de óleo modelo TE-044-8 da TECNAL

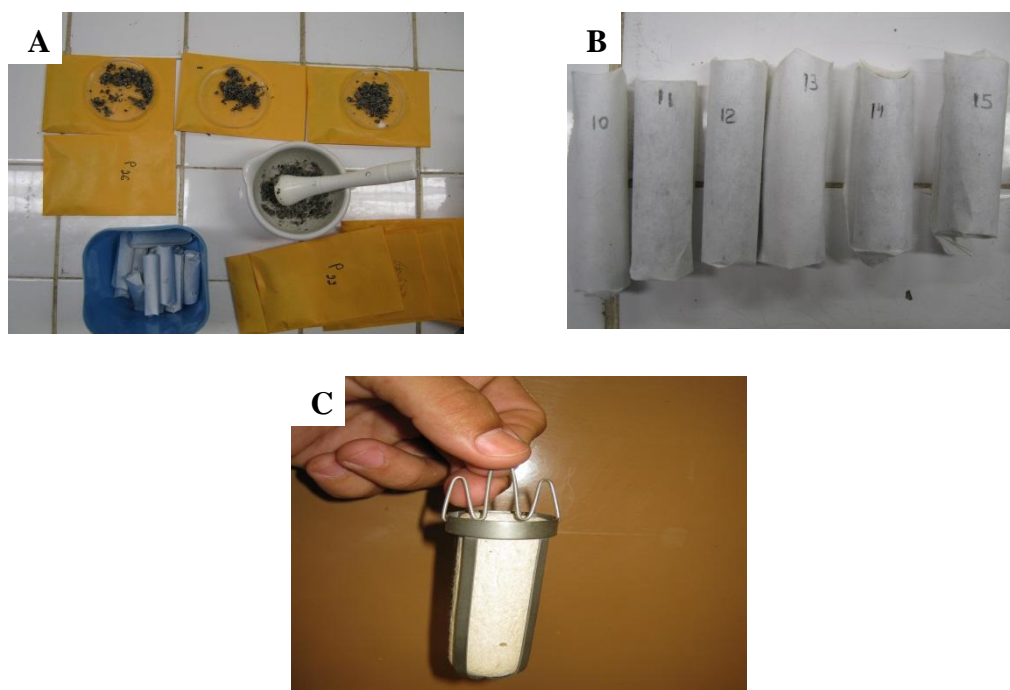


Fonte: Barros (2013)

Foi utilizado o método Soxhlet para a extração do óleo (AOCS, 1993). A metodologia consiste na extração do óleo por meio da imersão no hexano, seguido de

determinação gravimétrica. O procedimento foi feito em triplicatas laboratoriais. Para cada amostra analisada, cinco gramas de sementes foram macerados em gral de porcelana (A); em seguida o material foi pesado em balança digital de precisão; o valor referente à pesagem foi anotado com exatidão para posteriormente se calcular o teor de óleo com base no peso das amostras. Em seguida, as amostras pesadas foram transferidas para papel filtro em forma de cartuchos (B), que foram acoplados nos tubos do aparelho previamente pesados, contendo 125 ml de hexano (C). As amostras permaneceram uma hora imersas no hexano a 130 °C e mais quatro horas suspensas do hexano a 160 °C. Ao término do procedimento, as amostras foram colocadas em estufa a 65 °C por um período de aproximadamente 12 horas para que houvesse total evaporação do hexano, restando somente o óleo conforme ilustrado na FIGURA 17.

Figura 17 – Sequência de extração do óleo de mamona



Fonte: Barros (2013)

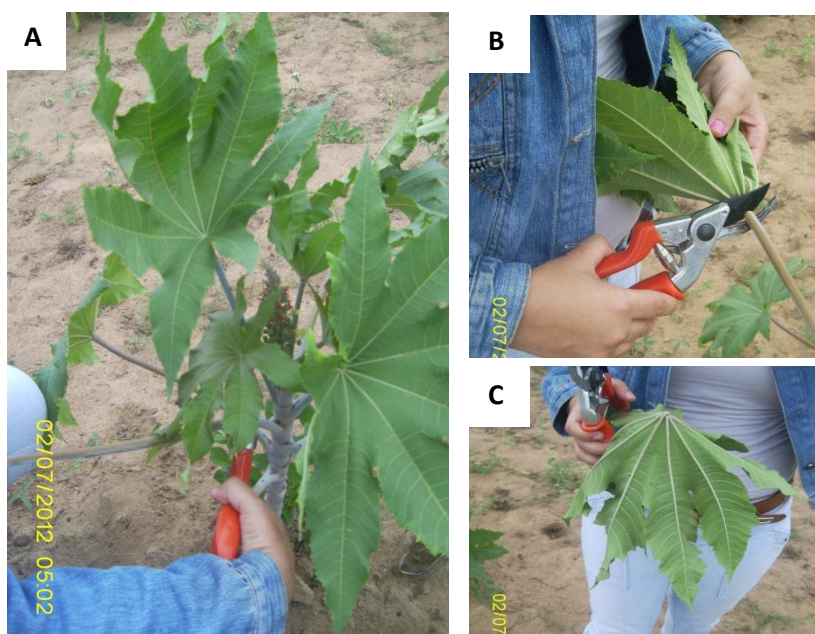
Após as 12 horas de evaporação do hexano, os tubos contendo o óleo foram pesados e, por diferença do peso inicial, se obteve o equivalente em teor de óleo referente a cada cultivar. O percentual foi calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{Teor de óleo} = \frac{(\text{Peso do tubo} + \text{óleo}) - (\text{Peso do tubo vazio})}{\text{Peso da amostra}} \times 100 \quad (10)$$

4.2.4 Estado nutricional

Para avaliação do estado nutricional da mamoneira, foram coletadas amostras de folhas em cada parcela dentro da área útil antes do florescimento das plantas. Para o diagnóstico nutricional foi coletada a quarta folha a partir do ápice do ramo principal, em quatro plantas da área útil, totalizando 4 folhas por amostra/parcela. Para as análises químicas foi considerado apenas o limbo das folhas coletadas, conforme demonstrado na FIGURA 18.

Figura 18 – Coleta de folhas de mamona.



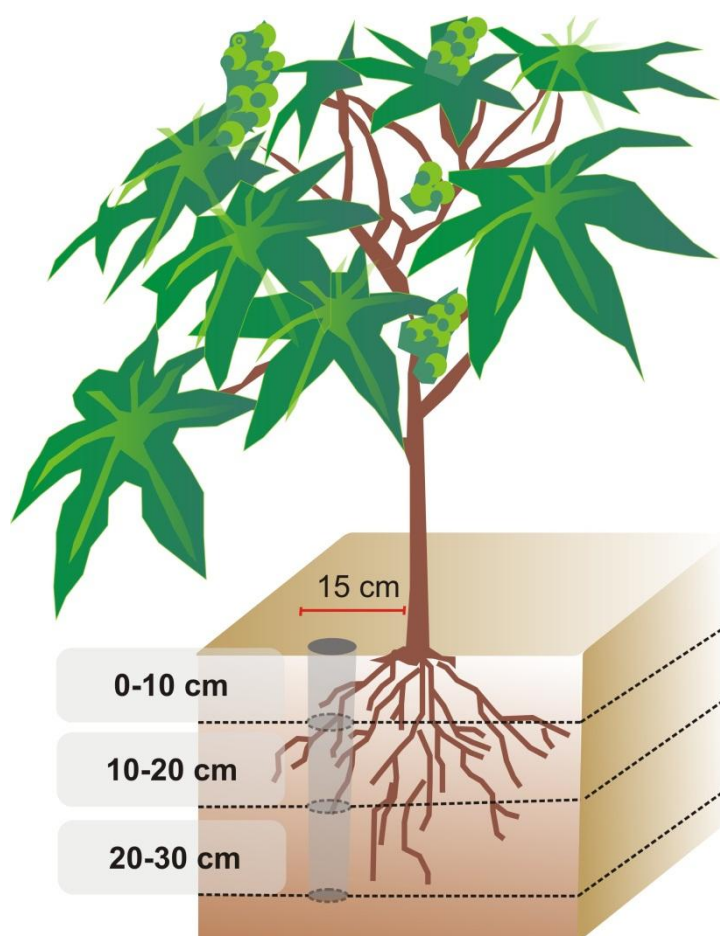
Fonte: Sousa, 2013

Em seguida, as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinho do tipo Willey e peneiradas em malha de 20 mesh. Na sequência, o material foi submetido à digestão sulfúrica para determinação dos teores de nitrogênio e digestão nitro-perclórica para determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA, VITTI e OLIVEIRA, 1997). Para determinação dos teores de B, as amostras foram submetidas à digestão a seco, conforme método descrito por Silva (1999).

4.2.5 Atributos radiculares

Para coleta de raízes foi utilizada sonda que possui diâmetro interno de 4,5 cm, 100 cm de comprimento e graduação a cada 10 cm. Cada amostra coletada apresentou o volume de 159 cm³. As amostras foram coletadas a 15 cm de distância das plantas nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm do solo, em três pontos dentro das parcelas experimentais, conforme demonstrado nas FIGURAS 19 e 20.

Figura 19 – Esquema de coleta de raiz pelo método da sonda.



Fonte: Sousa (2013)

Figura 20 – Amostragem e coleta de raízes



Fonte: Sousa (2013)

Foram coletadas 120 amostras de solo contendo raízes, considerando o delineamento de parcelas subdivididas em blocos casualizados, com 10 tratamentos nas parcelas (cultivares de mamona), três tratamentos nas subparcelas (profundidades de amostragem) e quatro repetições. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório para separação manual das raízes.

4.2.5.1 Avaliação do sistema radicular

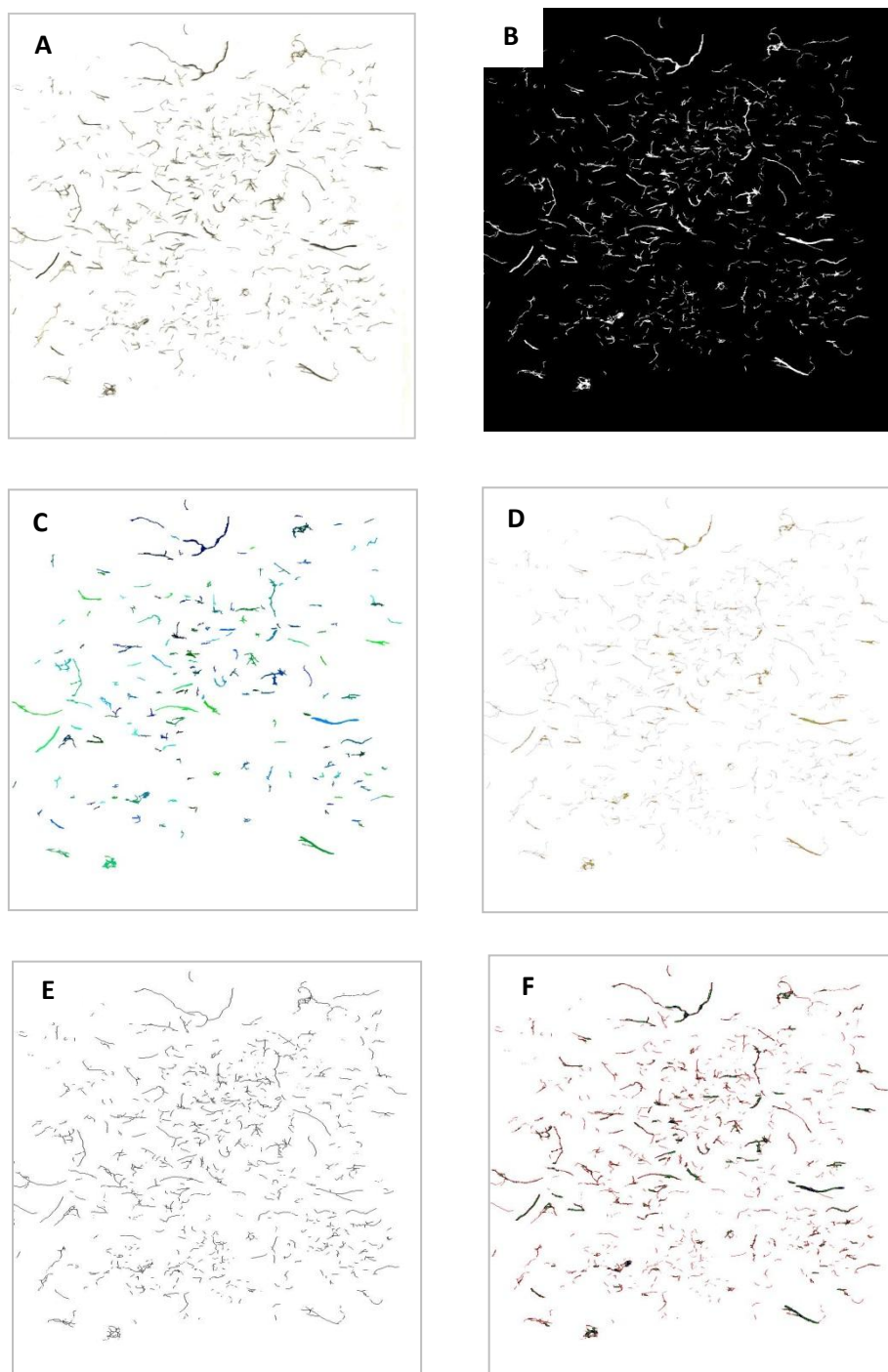
Por apresentar grande quantidade de raízes finas, a separação das raízes do solo foi feita por meio de pinças, pincéis e lupa. As amostras de solo contendo raízes foram colocadas em bandejas brancas para facilitar a visualização. Raízes maiores, de fácil visualização, foram removidas por meio de pinça, enquanto que raízes mais finas foram retiradas por meio de varredura com pincéis finos. As raízes separadas do solo foram armazenadas em frascos devidamente identificados, contendo solução de álcool P.A.

Após separação, as raízes foram espalhadas em placas de vidro para obtenção de imagens por meio da digitalização, que resultou em imagens em formato JPEG. A análise das imagens foi feita com auxílio do software Safira 2010 – Sistema para Análise de Fibras e Raízes – desenvolvido pelo Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CNPq/EMBRAPA), em São Carlos, SP (JORGE; RODRIGUES, 2008). Antes do

processamento, as imagens passaram por tratamento prévio para retirada de objetos não referentes às raízes.

O software Safira forneceu valores referentes ao volume total, comprimento total, área superficial e diâmetro das raízes (JORGE; SILVA, 2010). As imagens foram segmentadas por processos de binarização das raízes através da técnica de limiarização, seguidas das etapas de rotulação de dados, transformada de distância e afinamento da imagem binária pelo processo de produção de esqueletos de raízes, conforme demonstrado na FIGURA 21.

Figura 21 – Análise de imagem de raízes lavadas. (A) Imagem original; (B) Limiarização; (C) Rotulação de dados; (D) Transformada de distância; (E) Imagem binária- Esqueleto das raízes e (F) Esqueleto colorido- Quantidade de diâmetros.



Fonte: Sousa (2013)

4.2.6. Análises estatísticas

Para comparar produtividade, teor de óleo e estado nutricional entre as cultivares, foi utilizado o delineamento em blocos inteiramente casualizados com 10 tratamentos (cultivares) e quatro repetições. Para as determinações de atributos radiculares, foi utilizado o delineamento experimental em parcelas subdivididas com 10 tratamentos nas parcelas principais (correspondentes às cultivares de mamona) e três tratamentos nas subparcelas (três camadas de coleta de amostras: 0-10, 10-20, 20-30 cm).

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com aplicação do teste de normalidade, cujos valores médios foram contrastados entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.3.1 Produtividade e teor de óleo da mamoneira

No resumo da análise de variância pode-se observar que o coeficiente de variação para produtividade foi elevado, colaborando com a ausência de diferença entre cultivares. No entanto, para a produção de óleo houve diferença significativa entre as cultivares e menor variação entre os tratamentos estudados (TABELA 16).

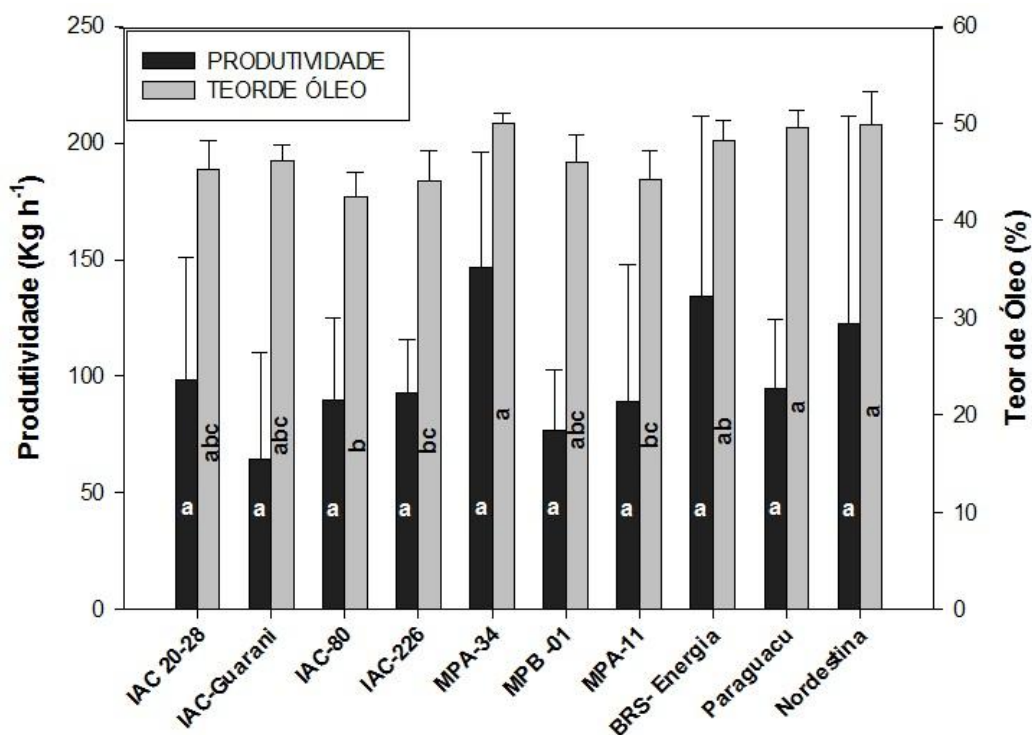
Tabela 16 – Resumo da análise de variância (ANOVA) da produtividade e teor de óleo de genótipos de mamona cultivada em Planossolos do semiárido cearense.

Teste F ¹		
Fonte de variação	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Teor de óleo (%)
Tratamentos	1,4 ^{ns}	6,9 ^{**1}
Bloco	6,1 ^{**}	6,5 ^{**}
CV (%)	42,6	4,4

^{1**}, * e ns: Significativo a 1, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

As médias de produtividade e do teor de óleo de cada genótipo são apresentadas na FIGURA 22.

Figuras 22 – Médias de produtividade e teor de óleo de dez cultivares de mamona



Fonte: Sousa (2013)

As cultivares MPA-34, BRS-Energia e Nordeste apresentaram tendência de maior produtividade, ultrapassando 100 kg ha^{-1} . Contudo, devido ao déficit hídrico ocorrido no ano de instalação do experimento, os valores de produtividade do presente estudo estão abaixo dos rendimentos já observados em cultivos de mamona em condições de sequeiro. A média nacional de produtividade no cultivo de sequeiro é de 1.500 kg ha^{-1} , enquanto que em condições irrigadas a produtividade pode alcançar até 5.000 kg ha^{-1} (CARVALHO, 2005).

Laureti *et al.* (1998) comprovaram que há diferenças de produtividade entre cultivares de mamona. Os autores concluíram que características morfológicas e fenológicas podem influenciar o desempenho produtivo e a adaptabilidade da mamona ao meio. Segundo Koutroubas, Papakosta e Doitsinis (2000), os rendimentos dependem da cultivar e para obter bons índices de produtividade é necessário suplementar água por meio da irrigação. Em regiões com estação seca ou período de seca, há prejuízos ao desenvolvimento da mamona, resultando em baixos rendimentos e aumentando o risco de perda total da produção (CARVALHO *et al.*, 2013).

Maheswari *et al.* (2010) demonstram que alguns cultivares apresentam mecanismo de adaptação à seca mais eficiente do que outros. Possivelmente, as cultivares que sobressaíram neste estudo responderam fisiologicamente melhor à condição de estresse hídrico.

Os baixos rendimentos obtidos neste estudo são explicados pela baixa precipitação, sendo que o total de chuvas acumulado durante a execução do experimento foi de $230,90 \text{ mm}$ mal distribuídos durante as fases fenológicas da cultura. Assim, os resultados estão de acordo com Lima *et al.* (2013), que obtiveram produtividade de 60 kg ha^{-1} em um ano com baixa precipitação. Esses autores observaram que existe forte relação ($r = 0,99$) entre a produtividade e a precipitação.

Em outros estudos também foram encontrados maiores rendimentos de grãos de rícino em relação aos observados neste estudo. Lavanya *et al.* (2012), avaliando o desempenho de 15 genótipos de mamona em Luvisolos da Índia sob condições de sequeiro, observaram maiores rendimentos de grãos, em torno de 1.580 kg ha^{-1} . Esses autores também verificaram que algumas cultivares atingiram teores de óleo em torno de $49,5\%$.

A faixa ideal de precipitação para produção da mamona varia de 750 a 1.500 mm , com um mínimo de 600 a 750 mm durante todo o ciclo da cultura, ajustando-se o plantio de forma que a planta receba de 400 a 500 mm até o início da floração. Logo, em regiões com precipitação inferior a 500 mm no período chuvoso, a mamoneira perde grande parte da sua produção econômica e resulta em rendimentos muito baixos (TÁVORA, 1982). Falasca,

Ulberich e Ulberich (2012) ressaltam que o fato de encontrar espécies vegetando em faixas de precipitação a partir de 250 mm indica capacidade extraordinária de adaptação da espécie.

Neste estudo, os maiores volumes de precipitação ocorreram durante a fase inicial de crescimento, antes da fase de floração. No entanto, durante o período de desenvolvimento dos frutos, quando os processos fisiológicos da planta exigem maior demanda hídrica, o volume de precipitação registrado foi baixo. Como consequência, o déficit hídrico sofrido pela planta causou o desenvolvimento de pequenos racemos que culminaram em baixa produtividade.

A precipitação pluvial que ocorre nas fases iniciais pode ser útil para melhor estabelecimento da cultura. Apesar de a mamona ser tolerante à seca, a produção é reduzida com o déficit hídrico (RAMANJANEYULU; REDDY; MADHAVI, 2013). De acordo com Hargurdeep e Mark (1999), o estresse hídrico durante a fase de estabelecimento da cultura pode atrasar ou mesmo inibir a floração por meio da inibição do desenvolvimento floral; assim o déficit hídrico durante qualquer fase prematura do desenvolvimento da cultura afeta o enchimento de grãos.

Kumar *et al.* (1996), avaliando a eficiência no uso da água para cultura de mamona sob condições de sequeiro, observaram que a eficiência é diminuída após a floração. Por isso, é importante realizar o plantio no início do inverno, logo após os primeiros 30 mm de chuva (CARTAXO, 2004). Kumar *et al.* (1996) e Baldwin e Cossar (2009) observaram que o atraso no plantio pode reduzir a produtividade da mamoneira. Ramanjaneyulu, Reddy e Madhavi (2013) observaram que o atraso do cultivo reduz o número de racemos em relação ao cultivo no período correto, da mesma forma que também altera o teor de óleo nas sementes.

Carvalho *et al.* (2013) encontraram maior produtividade para cultivar AL Guarany mediante irrigação. Os autores observaram redução linear dos componentes de produção da mamona com a restrição de água no solo, concluindo que o déficit de água durante o desenvolvimento da mamona tem efeitos primordialmente sobre o racemo primário. Ramanjaneyulu, Reddy e Madhavi (2013) mencionam que a safra da mamona na Índia ocorre durante a estação chuvosa e, sob condição climática atípica, a seca afeta a cultura, levando a perdas parciais ou mesmo declínio total da produtividade.

Em relação à temperatura, observou-se que durante o experimento houve variação de 22 a 38 °C. Esses valores não estão no intervalo considerado ideal para o desenvolvimento da cultura de acordo com Ogunniyi (2006). O autor enfatiza que a mamona requer temperatura entre 20 e 26 °C a fim de obter rendimentos máximos. A temperatura tem efeito

sobre a produtividade da mamona e influencia os rendimentos dos racemos secundários (KUMAR *et al.*, 1997). Segundo Beltrão e Silva (1999), temperaturas acima de 40 °C causam aborto de flores e reversão sexual das flores femininas, reduzindo o desempenho das mesmas e resultando em menor produção de óleo. Já Neeraja, Lavanya e Ganesh (2010) mencionam que o número de flores é reduzido drasticamente em temperaturas acima de 30 °C.

Outro fator que pode ter limitado a produtividade da mamona é a profundidade efetiva do Planossolo. Tal afirmação pode ser constatada por meio da correlação positiva significativa ($r = 0,44$, $p < 0,01$) entre produtividade e profundidade efetiva do Planossolo em que foi instalado o experimento. A partir dessa correlação foi possível observar que a produtividade alcançou valores superiores a 100 kg ha⁻¹ em solos com horizonte Bt ocorrendo a uma profundidade superior a 40 cm. As plantas obtiveram rendimentos inferiores quando estabelecidas em solo com horizonte Bt ocorrendo em profundidade inferior a 30 cm. Isso demonstra que a profundidade efetiva de Planossolos do semiárido é um fator limitante à produtividade da mamona.

Reddy *et al.* (2004), avaliando a influência da profundidade do solo sobre a produtividade da mamona, observaram que há respostas positivas da mamona em função do incremento de profundidade. Os autores mencionam que os componentes de produção e o índice de área foliar aumentaram significativamente com o incremento da profundidade do solo. Os autores também observaram que houve melhoria na absorção de N quando a mamona foi cultivada em solos mais profundos.

Com relação ao teor de óleo nas sementes, houve diferença entre tratamentos, de modo que as cultivares Nordeste, Paraguaçu, BRS-Energia e MPA-34 apresentaram maior produção. Esses resultados poderiam estar relacionados com a produtividade, pois estas mesmas cultivares apresentaram médias mais elevadas em relação às demais. No entanto, o teor de óleo apresentou correlação não significativa com a produtividade da cultura ($r = 0,058$). Para explicar esse fato, é preciso considerar que o teor de óleo nas sementes depende não só do genótipo, mas também das condições ambientais, como temperatura acima de 35 °C e estresse hídrico durante a floração (PAPAKOSTA, KOUTROUBAS E DOITSINIS, 1999).

A cultivar IAC-80 apresentou menor rendimento de óleo. É provável que isso tenha ocorrido devido à menor adaptabilidade da cultivar às condições do semiárido, bem como à baixa disponibilidade hídrica durante a condução do experimento. Estudos de interação genótipo vs. ambiente têm demonstrado que o teor de óleo varia em função de diferentes genótipos e das condições climáticas. Papakosta, Koutroubas e Doitsinis (1999) observaram que o teor de óleo entre genótipos variou de 44,5 a 54,2%.

Lima *et al.* (2013), avaliando o rendimento de mamona sob condições de sequeiro, observaram que o teor de óleo foi maior em anos mais chuvosos e variou de 33,6 a 49,2%. Os percentuais de óleo encontrados por esses autores são próximos aos encontrados neste estudo, mesmo com precipitação inferior àquela citada pelos autores. Laureti *et al.* (1998), avaliando o desempenho de cultivares de mamona, encontraram diferenças na produção de óleo que variaram de 45,5 a 49,3%

4.3.2 Teor de nutrientes no tecido vegetal

4.3.2.1 Macronutrientes

No que se refere aos teores de macronutrientes no tecido vegetal da mamona, o teste F revelou efeitos significativos para Ca, Mg, K e N (TABELA 17).

Tabela 17 - Resumo da análise de variância para os teores de macronutrientes no tecido vegetal da mamoneira cultivada em Planossolos no semiárido cearense.

Fonte de variação	Valor F					
	Ca	Mg	P	K	N	S
Tratamentos	2,3 ^{*1}	3,8 ^{**}	0,7 ^{ns}	2,3 [*]	4,6 ^{**}	0,6 ^{ns}
Bloco	13,7 ^{**}	6,0 ^{**}	5,4 ^{**}	13,5 ^{**}	1,8 ^{ns}	1,8 ^{ns}
CV (%)	23,7	8,7	27,6	17,7	8,5	32,7

^{1**}, * e ns: Significativo a 1, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

A cultivar BRS-Energia apresentou maiores teores de Ca e Mg (19,1 e 7,4 g kg⁻¹, respectivamente) e menores teores de K e N (10,4 e 25,3 g kg⁻¹, respectivamente). Essa cultivar também alcançou maiores médias de produtividade (134,32 g kg⁻¹). A cultivar IAC-226 apresentou maiores teores de K e N (17,6 e 34,0 g kg⁻¹), enquanto que as cultivares MPA-11 e Paraguaçu apresentaram maiores teores de N (34,6 e 33,2 g kg⁻¹, respectivamente), mesmo não diferindo estatisticamente da cultivar IAC-226 (TABELA 18).

Tabela 18 - Teores de macronutrientes na folha diagnóstico de cultivares de mamona desenvolvidas em condições de sequeiro em solos do semiárido.

Cultivares	Macronutrientes					
	Ca	Mg	P	K	N	S
-----Teores médios (g kg ⁻¹)-----						
IAC 20-28	13,6 ab ¹	4,2 a ²	0,3 a	15,5 ab	30,1 ab	1,8 a ²
IAC-Guarani	14,9 ab	4,5 a	0,3 a	15,5 ab	30,8 ab	2,3 a
IAC-80	12,6 ab	4,1 a	0,3 a	14,9 ab	28,5 ab	2,0 a
IAC-226	12,8 ab	5,2 ab	0,4 a	17,6 a	34,0 a	2,0 a
MPA-34	12,4 ab	4,8 ab	0,3 a	12,8 ab	30,2 ab	2,2 a
MPB-01	12,9 ab	4,1 a	0,4 a	13,6 ab	30,9 ab	1,7 a
MPA-11	11,5 ab	5,3 ab	0,4 a	14,3 ab	34,6 a	1,9 a
BRS-Energia	19,1 a	7,4 b	0,3 a	10,4 b	25,3 b	1,9 a
Paraguaçu	14,3 ab	4,9 ab	0,3 a	15,3 ab	33,2 a	1,9 a
Nordestina	10,0 b	4,5 a	0,4 a	15,9 ab	28,5 ab	1,6 a

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. ²Médias transformadas para Mg ($x = 1/\sqrt{x}$); S ($x = x/k$).

De acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), as concentrações foliares adequadas para o desenvolvimento e produtividade eficiente da mamoneira são: N de 40 a 50 g kg⁻¹; P de 3 a 4 g kg⁻¹; K de 30 a 40 g kg⁻¹; Ca de 15 a 25 g kg⁻¹; Mg de 2,5 a 3,5 g kg⁻¹; S de 3 a 4 g kg⁻¹. Tomando por base a faixa de suficiência de nutrientes para a mamona, foi verificado que todos os teores de macronutrientes analisados, com exceção do Mg que atingiu valores superiores ao recomendado, ficaram abaixo dos valores considerados adequados. Oliveira *et al.* (2010) também verificaram teor foliar acima do recomendado para Mg ao avaliar o estado nutricional das cultivares Lyra e Al Guarani 2002.

Com relação aos baixos teores foliares de P, Jeschke *et al.* (1996) também evidenciaram deficiência do nutriente em plantas de mamona, com valores abaixo do nível crítico necessário para o crescimento adequado. Os baixos teores de macronutrientes foliares estão relacionados à menor absorção pelas plantas. Isso indica uma provável deficiência de nutrientes no solo ou incapacidade de absorção pelas cultivares devido às restrições edafoclimáticas do local.

Como foi feita adubação mineral de plantio e de cobertura, conforme recomendação para a cultura da mamona (BELTRÃO e GOLDIN, 2006), é provável que a menor absorção de nutrientes tenha sido causada pela baixa umidade no solo. O experimento foi conduzido em sequeiro e a precipitação média em todo o período de condução das plantas não superou os 231mm. Além disso, a precipitação foi irregular durante as fases de crescimento da cultura.

Segundo MacKay e Barber (1985), a umidade do solo afeta a absorção de nutrientes, pois o alto teor de água no solo aumenta a taxa de difusão dos elementos que, por sua vez, aumenta a taxa de absorção. Assim, o déficit de umidade no solo promove difusão restrita, implicando na baixa absorção de nutrientes. Estudo conduzido por Brown e Zeng (2000), com o intuito de avaliar a mobilidade e absorção de potássio em diferentes condições de umidade, mostrou que a umidade influencia a mobilidade do nutriente no solo, aumentando a área disponível para que ocorram os processos de difusão, resultando em maior absorção pela planta.

Os teores encontrados neste estudo estão de acordo com o encontrado por Pacheco *et al.* (2008) que, ao avaliarem teores de nutrientes no cultivo de mamona sob condições de sequeiro, observaram que a baixa precipitação pluvial levou à insuficiência para plena difusão dos nutrientes até os pelos radiculares, resultando em baixa absorção e baixos teores de nutrientes na planta. Paulo *et al.* (1989) verificaram que o estado nutricional da mamoneira se restabelece com o início do período chuvoso. Isso sugere que a umidade do solo favorece os processos de absorção e difusão de nutrientes.

Os baixos teores foliares de macronutrientes têm relação com a baixa produtividade obtida no presente estudo, que ficou entre 64,2 e 146,6 kg ha⁻¹, sendo considerada muito abaixo da média nacional, que é de 1.500 kg ha⁻¹ em condições de sequeiro (CARVALHO, 2005). Segundo Nakagawa e Neptune (1971), quando o teor de N na mamoneira situa-se na faixa de 41,3 g kg⁻¹ após a germinação da planta, se tem indicativo de boa produção de frutos. No presente estudo o N e os demais nutrientes situaram-se abaixo da faixa de suficiência exigida pela cultura. Nesse contexto, Pacheco *et al.* (2008) ressaltam que, na região Nordeste, a baixa produtividade da mamona se dá em função da deficiência de N.

Em outros estudos foram encontrados teores foliares de macronutrientes na mamoneira semelhantes aos encontrados no presente estudo. Melo *et al.* (2009) verificaram teores de Ca e Mg na faixa de 10,5 a 14,11 e 3,24 a 4,35 g kg⁻¹, respectivamente. Paz-Ferreiro *et al.* (2012) verificaram teores de K e Ca na faixa de 17,0 e 15,4 g kg⁻¹, respectivamente. Oliveira *et al.* (2010) encontraram 20 g kg⁻¹ de N e 11,3 g kg⁻¹ de K para a cultivar Lyra.

Além da umidade do solo, os genótipos constituíram outro fator que influenciou os teores foliares de macronutrientes nas plantas. Segundo Barber e Mackay (1986), genótipos expressam diferentes tamanhos e morfologia de raízes que, por consequência, refletem-se em uma melhor ou pior absorção de água e nutrientes. Genótipos mais adaptados promovem enraizamento mais intenso e profundo, aumentando de maneira eficiente a absorção de água e nutrientes.

4.3.2.2 Micronutrientes

Para os teores de micronutrientes no tecido vegetal da mamona, o teste F revelou efeitos significativos somente para os teores de Zn (TABELA 19).

Tabela 19 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para os teores de micronutrientes no tecido vegetal da mamoneira cultivada em Planossolos do semiárido cearense.

Fonte de variação	Valor F				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamentos	1,9 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	2,5 [*]
Bloco	3,3 [*]	2,2 ^{ns}	7,8 ^{**}	2,7 ^{ns}	2,6 ^{ns}
CV (%)	39,8	28,6	33,1	35,8	15,7

^{**}, ^{*} e ^{ns}: Significativo a 1, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

A cultivar MPB-01 apresentou maior teor de Zn (59,7 mg kg⁻¹) e a cultivar BRS-Energia apresentou o menor teor (41,2 mg kg⁻¹), conforme demonstrado na TABELA 20.

Tabela 20 - Teores de micronutrientes na folha diagnóstico de cultivares de mamona desenvolvidas em condições de sequeiro em solos do semiárido.

Cultivares	Micronutrientes				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----Teores médios (mg kg ⁻¹)-----				
IAC 20-28	49,2 a ¹	4,2 a	48,9 a ²	86,3 a	41,5 ab
IAC-Guarani	49,2 a	5,0 a	37,5 a	143,1 a	43,5 ab
IAC-80	67,5 a	4,4 a	31,7 a	106,2 a	44,5 ab
IAC-226	37,1 a	5,0 a	15,8 a	94,6 a	48,4 ab
MPA-34	36,3 a	4,1 a	36,3 a	94,7 a	55,1 ab
MPB-01	61,7 a	6,1 a	42,2 a	116,3 a	59,7 a
MPA-11	35,8 a	5,6 a	31,9 a	98,0 a	51,2 ab
BRS-Energia	57,9 a	3,6 a	44,6 a	124,6 a	41,2 b
Paraguaçu	28,8 a	5,6 a	35,7 a	76,8 a	51,1 ab
Nordestina	43,3 a	4,4 a	12,6 a	81,7 a	48,4 ab

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. ²Médias transformadas Fe ($x = \sqrt{x}$).

Na literatura há poucas informações referenciais indicando teores adequados de micronutrientes em folhas de mamoneira. Segundo Hocking (1982) e Souza e Natale (1997), o nível crítico de zinco em folhas de mamoneira tem sido relatado com uma variação de 14 a 43 mg kg⁻¹, indicando o nível adequado para crescimento e desenvolvimento da cultura. Os valores encontrados neste estudo variaram de 41,2 a 59,7 mg kg⁻¹, excedendo os teores mencionados pelos autores citados. No entanto, Paz-Ferreiro *et al.* (2012) verificaram teores de 86,0 a 124 mg kg⁻¹; Oliveira *et al.* (2010) observaram teores de 42 mg kg⁻¹ e Lange *et al.*

(2005), avaliando o estado nutricional da cultivar Íris, verificaram teores inferiores a 9 mg kg^{-1} . Contudo, os últimos autores citados ressaltam que esta variação pode ser atribuída a diferentes épocas de coleta, tipo de amostragem e variedades.

Os teores de B variaram de 28,8 a $67,5 \text{ mg kg}^{-1}$. Souza e Natale (1997) encontraram concentrações de B nas folhas da mamoneira variando de 35 a 91 mg kg^{-1} . Paulo *et al.* (1989), em estudo com cultivares de mamoneira, verificaram concentrações de 50 mg kg^{-1} em plantas sem sintomas de doenças e 56 mg kg^{-1} em plantas com sintomas de doenças. Lange *et al.* (2005) encontraram teores foliares de B (16 mg kg^{-1}) inferiores aos encontrados em outros estudos com mamoneira.

As concentrações de Cu, Fe e Mn variaram entre cultivares em intervalos de 3,6 a 6,1; 31,7 a 48,9; 76,8 a $143,1 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. Concentrações de Fe semelhantes foram verificadas por Paz-Ferreiro *et al.* (2012) e Lange *et al.* (2005). Já Paulo *et al.* (1989), encontraram concentrações superiores desses micronutrientes no tecido foliar. Concentrações de Mn foram semelhantes às verificadas por Léles (2008) com teor de 115 mg kg^{-1} para a cultivar AL Guarany 2002. Já Paulo *et al.* (1989) encontraram teores de Mn de 139 mg kg^{-1} para a cultivar IAC 80. Os teores de Mn verificados por Lange *et al.* (2005) foram inferiores aos reportados por Léles (2008) e Paulo *et al.* (1989), que obtiveram concentrações de 16 mg kg^{-1} . Os teores de Cu observados neste estudo estão de acordo com os encontrados por Lange *et al.* (2005), Paz-Ferreiro *et al.* (2012) e Paulo *et al.* (1989) para cultivares sem sintomas de doenças.

4.4 Atributos radiculares da mamoneira

O teste F da análise de variância não revelou efeitos significativos para as cultivares, porém foi verificado efeito significativo para o fator profundidade nos atributos radiculares avaliados, exceto diâmetro médio (TABELA 21).

Tabela 21 - Resumo da análise de variância (ANOVA) para os atributos radiculares da mamoneira cultivada em Planossolos do semiárido cearense.

FV	Valor do F			
	C _{Total}	V _{Total}	AS _{Total}	Diâmetro Médio
Cultivares (A)	2,4 ^{ns}	0,7 ^{ns}	1,2 ^{ns}	0,6 ^{ns}
Profundidade (B)	11,8 ^{**}	9,1 ^{**}	13,1 ^{**}	0,4 ^{ns}
Blocos	1,6278 ^{ns}	1,2 ^{ns}	0,6 ^{ns}	2,7 ^{ns}
Interação AxB	0,52 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,9 ^{ns}
CV (%) A	40,83	19,8	12,4	10,1
CV (%) B	33,15	14,5	9,3	5,9

C_{Total} = Comprimento total; V_{Total} = Volume total; AS_{Total} = Área superficial total.

** , * e ns: Significativo a 1, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Apesar de não terem sido identificadas diferenças estatísticas para os atributos radiculares entre as cultivares avaliadas, é importante relatar os resultados deste estudo. Segundo Severino e Auld (2013a), essa importância se deve ao fato de o conhecimento sobre o sistema radicular da mamona ainda ser escasso. Os mesmos autores destacam a importância desse conhecimento para o melhoramento genético e para a seleção de cultivares mais adaptadas aos diferentes ambientes. Segundo Gan *et al.* (2011), o sistema radicular de oleaginosas tem sido pouco estudado e pouco se sabe sobre os padrões de distribuição e características das raízes de oleaginosos em ambientes semiáridos. Para Grant *et al.* (2012), compreender a distribuição em profundidade das raízes auxilia a compreender os limites para a produtividade, indicando quais horizontes do solo estão sendo acessados para obtenção de água e nutrientes.

Existem poucos estudos sobre raízes de mamona disponíveis na literatura. Um exemplo desse tipo de estudo é a pesquisa realizada por Smith, Jangawad e Srivastava (1991), que teve como objetivo avaliar a resposta do sistema radicular da mamoneira à qualidade física de Vertissolos da Índia. Nesse estudo os autores observaram que cultivares respondem diferentemente ao padrão de desenvolvimento radicular sob condições de estresse mecânico (resistência) e à condição de sequeiro.

Severino e Auld (2013a) destacam que os estudos sobre raízes de mamona e outras culturas têm sido desencorajados por causa das metodologias trabalhosas, além da variabilidade dos resultados, que dificulta as análises estatísticas. Outra desvantagem que os autores mencionam é a perda de raízes finas durante os processos de extração e quantificação. Todas as implicações metodológicas citadas por estes autores e outros estudiosos de raízes foram evidenciadas no presente estudo. A ausência de resposta significativa aos tratamentos possivelmente se deve à variação encontrada nos resultados.

Neste estudo, as cultivares Paraguaçu e MPB-01 apresentaram maior comprimento de raiz (TABELA 22). Esse maior comprimento radicular pode estar relacionado com características do próprio genótipo, como comportamento nutricional, potencial produtivo e a capacidade de adaptação às condições adversas do semiárido. As cultivares Paraguaçu e MPB-01 não se destacaram em produtividade dentre as demais avaliadas, mas apresentaram boa capacidade de absorção de N e Zn. É provável que essas espécies sejam mais tolerantes a períodos de estiagem, pois segundo Richards (2008), em sistemas de sequeiro, um sistema radicular extenso e profundo melhora o acesso à água e aos nutrientes.

Tabela 22 – Médias dos atributos radiculares da mamoneira cultivada em Planossolos do semiárido cearense.

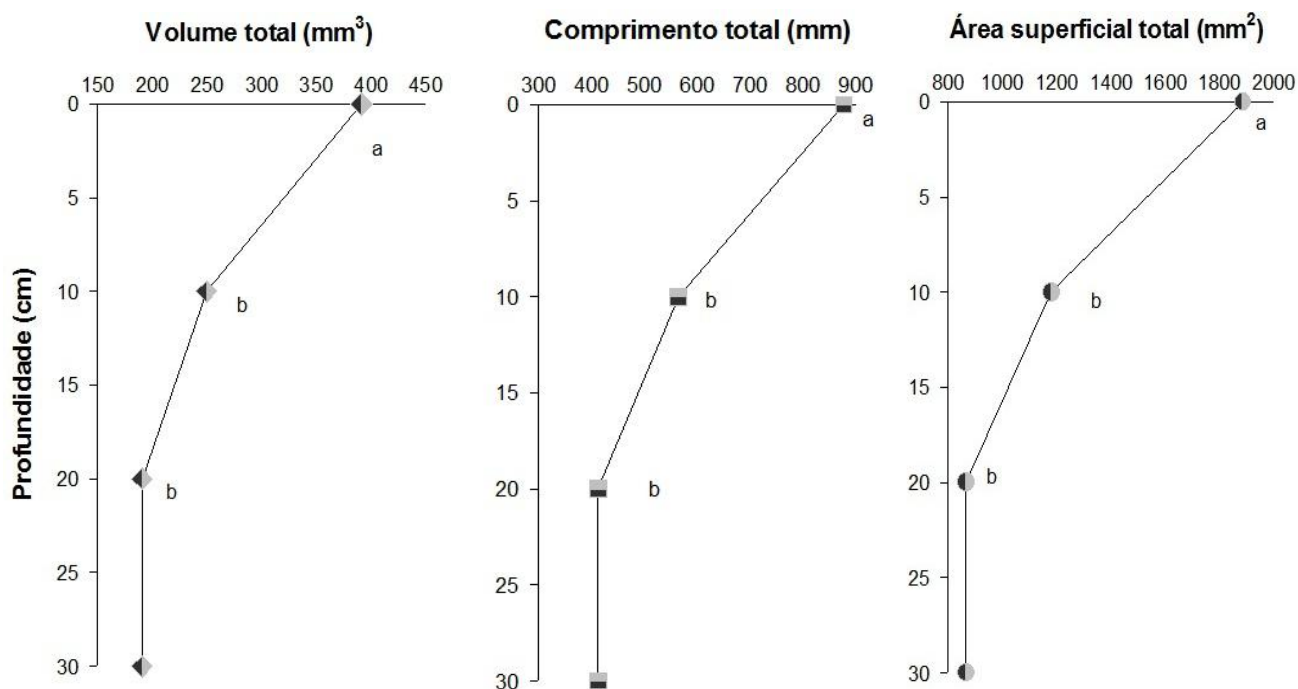
Fonte de variação	C_{Total}	V_{Total}	A_{Total}	Diâmetro Médio
Variedades	(mm)	(mm ³)	(mm ²)	(mm)
IAC 20-28	586,2 a ¹	232,7 a	1165,0 a	0,58 a
IAC-Guarani	764,7 a	345,7 a	1593,0 a	0,60 a
IAC-80	409,1 a	191,5 a	936,5 a	0,60 a
IAC-226	667,6 a	265,9 a	1308,8 a	0,58 a
MPA-34	487,9 a	249,3 a	1084,6 a	0,62 a
MPB-01	815,9 a	307,1 a	1635,4 a	0,59 a
MPA-11	356,0 a	315,0 a	1059,5 a	0,61 a
BRS-Energia	367,8 a	173,3 a	842,5 a	0,59 a
Paraguaçu	1065,4 a	448,5 a	2222,4 a	0,58 a
Nordestina	652,3 a	239,5 a	1258,3 a	0,58 a

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. ²Médias transformadas C_{Total} (x= \sqrt{x}); V_{Total} (x= log(X)); AT (x= log(X)).

Segundo Acuña e Wade (2012), a profundidade que o sistema radicular atinge varia entre ambientes, em resposta às diferenças nas propriedades físicas e químicas do solo e genotípicas das plantas. Pinto *et al.* (2008), ao avaliarem o sistema radicular de duas cultivares de mamona, notaram que a cultivar Mirante 10 produziu mais raiz em profundidade em relação a cultivar Nordesteina.

Em relação à distribuição das raízes em profundidade (FIGURA 23), pode-se observar que as raízes concentraram-se mais na superfície do solo, reduzindo à medida que a profundidade aumenta.

Figura 23 – Volume total (V_{Total}), comprimento total (C_{Total}) e área superficial total de raízes (A_{Total}) de mamona.



Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. Médias transformadas V_{Total} ($x = \log(X)$); C_{Total} ($x = \sqrt{x}$); AT ($x = \log(X)$).

Fonte: Sousa (2013)

Os maiores valores de comprimento total, área superficial total e volume total se concentraram na camada de 0-10 cm, estendendo-se para a camada intermediária de 10-20 cm. A princípio, a maior distribuição de raízes na camada superficial pode estar relacionada com a maior disponibilidade de água e nutrientes. Alternativamente, isso pode estar relacionado com a restrição física do Planossolo em estudo.

Padrão semelhante foi observado por Imada *et al.* (2013) que, ao avaliarem a distribuição vertical de raízes em regiões semiáridas, constataram que 60% da biomassa de raiz está concentrada na superfície do solo, diminuindo exponencialmente com o aumento da profundidade. Estes autores sugerem que a disponibilidade de nutrientes e umidade do solo influenciam a distribuição de raízes nas camadas superficiais. De acordo com Snyman (2005), em regiões semiáridas é comum encontrar elevada porcentagem de raízes nas camadas superficiais do solo. Para o autor essas raízes são responsáveis pela produção, enquanto que as raízes mais profundas contribuem para sobrevivência em condições de estresse hídrico.

4.5 CONCLUSÃO

As cultivares que responderam de maneira satisfatória às condições semiáridas, produzindo mais óleo, apresentando melhor estado nutricional e atributos radiculares mais favoráveis, foram Nordeste, Paraguaçu, BRS-Energia e MPB-01.

O tempo do experimento foi insuficiente para que houvesse respostas quanto ao crescimento radicular, sendo necessário um período superior para averiguar a diferença entre cultivares em resposta ao solo.

REFERÊNCIAS

- ACUÑA, T. L. B.; WADE, L. J. Genotype × environment interactions for root depth of wheat. **Field Crops Research**, v. 137, p. 117–125, 2012.
- ANJANI, K. Castor genetic resources: A primary gene pool for exploitation. Review. **Industrial Crops and Products**, v. 35, p. 1–14, 2012.
- ANJANI, K. Extra-early maturing germplasm for utilization in castor improvement. **Industrial Crops and Products**, v. 31, p. 139–144, 2010.
- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY - AOCS **Official methods and recommended practices**. 4. ed. Champaign, 1993. v. 3.
- ATABANIA, A. E. *et al.* A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 2070–2093, 2012.
- BALDWIN, B. S.; COSSAR, R. D. Castor yield in response to planting date at four locations in the south-central United States. **Industrial crops and products**, v. 29, p. 316–319, 2009.
- BARBER, S. A.; MACKAY, A. D. Root growth and phosphorus and potassium uptake by twocorn genotypes in the field. **Fertilizer Research**, v. 10, p. 217–230, 1986.
- BARROS JUNIOR, G. *et al.* Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 350–355, 2008.
- BELTRÃO, N. E. M.; GONDIM, T. M. S. de. 2006. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona_2ed/adubacao.html>. Acesso em 13 de Mai. 2013.
- BELTRÃO, N. E.; SILVA, L. C. Os múltiplos uso do óleo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) e a importância do seu cultivo no Brasil. **Revista Brasileira de Oleaginosas Fibrosas**, v. 31, p. 1–7, 1999.
- BRASILEIRO-VIDAL, A. C. *et al.* Heterochromatin and rDNA 5S and 45S sites as reliable cytogenetic markers for castor bean (*Ricinus communis*, Euphorbiaceae). **Micron**, v. 41, p. 746–753, 2010.
- BROWN, P. H.; ZENG, Q. Soil potassium mobility and uptake by corn under differential soil moisture regimes. **Plant and Soil**, v. 221, p. 121–134, 2000.
- CARTAXO, W. V. *et al.* O cultivo da mamona no semi-árido brasileiro. Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2004. 20 p. (Circular técnica, 77).
- CARVALHO, B. C. L. **Manual do cultivo da mamona**. Salvador: EBDA, 2005. 65p.
- CARVALHO, L. G. *et al.* Component production of castor bean crop irrigated by different soil water tensions. **Agricultural Water Management**, v. 127, p. 7–12, 2013.

CÉSAR, A. da S.; BATALHA, M.O. Biodiesel production from castor oil in Brazil: A difficult reality. **Energy Policy**, v. 38, p. 4031-4039, 2010.

CHUTIA, M. *et al.* Evaluation of promising castor genotype in terms of agronomical and yield attributing traits, biochemical properties and rearing performance of erisilkworm, *Samia ricini* (Donovan). **Industrial Crops and Products**, v. 34, p. 1439 – 1446, 2011.

DINIZ, L.L. *et al.* Castor bean meal for cattle finishing 1-Nutritional parameters. **Livestock Science**, v. 135, p. 153–167, 2011.

FALASCA, S. L.; ULBERICH, A. C.; ULBERICH, E. Developing an agro-climatic zoning model to determine potential production areas for castor bean (*Ricinus communis* L.). **Industrial Crops and Products**, v. 40, p.185–191, 2012.

GAN, Y. *et al.* Rooting systems of oilseed and pulse crops I: Temporal growth patterns across the plant developmental periods. **Field Crops Research**, v. 122, p. 256–263, 2011.

GRANT, J. C. *et al.* Depth distribution of roots of *Eucalyptus dunnii* and *Corymbia citriodora* subsp.*variegata* in different soil conditions. **Forest Ecology and Management**, v. 269, p. 249–258, 2012.

HARGURDEEP S. S.; MARK, E. W. **Reproductive Development in Grain Crops during Drought**. In: Donald L. Sparks, Editor(s), *Advances in Agronomy*, Academic Press, v. 68, p. 59-96, 1999.

HOCKING, P. J. Accumulation and distribution of nutrients in fruits of castor bean (*Ricinus communis* L.) **Annals of Botany**, v. 49, p. 51-62, 1982.

HUANG, X. *et al.* Canopy reflectance in two castor bean varieties (*Ricinus communis* L.) for growth assessment and yield prediction on coastal saline land of Yancheng District, China. **Industrial Crops and Products**, v. 33, p. 395–402, 2011.

IMADA, S. *et al.* Vertical distribution of fine roots of *Tamarix ramosissima* in an arid region of southern Nevada. **Journal of Arid Environments**, v. 92, p. 46-52, 2013.

JESCHKE, W. D. *et al.* Effects of P deficiency on the uptake, flows and utilization of C, N and H₂O within intact plants of *Ricinus communis* L. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, p. 1737-1754, 1996.

JORGE, L. A. C. de.; SILVA, D. J. C. B. **SAFIRA: manual de utilização**. São Carlos, SP. Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2010.

JORGE, L. A. C. de.; RODRIGUES, A. F. O. **Safira: Sistema de Análise de Fibras e Raízes**. Embrapa Instrumentação Agropecuária. São Carlos, SP, 2008 (Boletim de pesquisa e desenvolvimento 24).

KONDO, M. *et al.* Genotypic and environmental variations in root morphology in rice genotypes under upland field conditions. **Plant and Soil**, v. 255, p. 189–200, 2003.

KOUTROUBAS, S. D.; PAPAKOSTA, D. K.; DOITSINIS, A. Water Requirements for Castor Oil Crop (*Ricinus communis* L.) in a Mediterranean Climate. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 184, p. 33-41, 2000.

KUMAR, P. V. *et al.* Influence of moisture, thermal and photoperiodic regimes on the productivity of castor beans (*Ricinus communis* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 88, p. 279-289, 1997.

KUMAR, P. V. *et al.* Radiation and water use efficiencies of rainfed castor beans (*Ricinus communis* L.) in relation to different weather parameters. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 81, p. 241-253, 1996.

LANGE, A. *et al.* Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 61-67, 2005.

LAURETI, D. *et al.* Performance of castor (*Ricinus communis* L.) cultivars in Italy. **Industrial Crops and Products**, v. 7, p. 91-93, 1998.

LAVANYA, C. *et al.* Prospects of castor (*Ricinus communis* L.) genotypes for biodiesel production in India. **Biomass and bioenergy**, v. xxx, p. 1-6, 2012.

LÉLES, E. P. **Interação de doses de calcário e zinco na mamoneira**. 2008. 66 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

LIMA, J. R. S. *et al.* Seasonal and interannual variations of evapotranspiration, energy exchange, yield and water use efficiency of castor grown under rainfed conditions in northeastern Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 203-211, 2013.

MACKAY, A. D.; BARBER, S. A. Soil moisture effect on potassium uptake by com. **Agronomy Journal**, v. 77, p. 524-527, 1985.

MAHESWARI, M. *et al.* Osmotic adjustment, drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis* L.) hybrids. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, p. 243-249, 2010.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.

MARTÍN, C. *et al.* Fractional characterisation of jatropha, neem, moringa, trisperma, castor and candlenut seeds as potential feedstocks for biodiesel production in Cuba. **Biomass and energy**, v. 34, p. 533-538, 2010.

MELO, E. E. C. *et al.* Accumulation of arsenic and nutrients by castor bean plants grown on an As-enriched nutrient solution. **Journal of Hazardous Materials**, v. 168, p. 479-483, 2009.

NAKAGAWA, J.; NEPTUNE, A. M. L. Marcha de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L.) cultivar “Campinas”. **Anais da ESALQ**, v. 28, p. 323-337, 1971.

NEERAJA, P.; LAVANYA, C.; GANESH, M. Quality hybrid seed production in castor by manipulation of pistillate character. **Journal of Oilseeds Research**, p. 130–132, 2010.

OGUNNIYI, D. S. Castor oil: A vital industrial raw material. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1086–1091, 2006.

OLIVEIRA, J. P. M. *et al.* Adubação fosfatada para cultivares de mamoneira no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1835-1839, 2010.

PACHECO, D. D. *et al.* Teores foliares de nutrientes em mamoneiras (*Ricinus communis* L.) adubadas com doses variadas de NPK em solo de chapada da bacia do Rio Jequitinhonha. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, p. 224-231, 2008.

PAPAKOSTA, D. K.; KOUTROUBAS, S. D.; DOITSINIS, A. Adaptation and yielding ability of castor plant (*Ricinus communis* L.) genotypes in a Mediterranean climate. **European Journal of Agronomy**, v. 11, p. 227–237, 1999.

PAULO, E. M. *et al.* Deficiência de boro em mamona. **Bragantia**, v. 48, p. 241-247, 1989.

PAZ-FERREIRO, J. *et al.* Phytoremediation of a soil contaminated by heavy metals and boron using castor oil plants and organic matter amendments. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 123, p. 3–7, 2012.

PINHEIRO, H. A. *et al.* Leaf gas exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings subjected to salt stress conditions. **Industrial crops and products**, v. 27, p. 385–392, 2008.

PINTO, C. M. *et al.* Crescimento, distribuição do sistema radicular em amendoim, gergelin e mamona a ciclos de deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, p. 429-436, 2008.

RAMANJANEYULU, A.V.; REDDY, A.V.; MADHAVI, A. The impact of sowing date and irrigation regime on castor (*Ricinus communis* L.) seed yield, oil quality characteristics and fatty acid composition during post rainy season in South India. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 25–31, 2013.

REDDY, G. S. *et al.* Influence of soil depth on productivity of rainfed castor and clusterbean in sole and intercropping systems. **Indian Journal of Agricultural Research**, v. 38, p. 79-86, 2004.

RICHARDS, R. A. Genetic opportunities to improve cereal root systems for dryland agriculture. **Plant Production Science**, v.11, p. 12–16, 2008.

SAILAJA, M.; TARAKESWARI, M.; SUJATHA, M. Stable genetic transformation of castor (*Ricinus communis* L.) via particle gun-mediated gene transfer using embryo axes from mature seeds. **Plant Cell Reports**, v. 27, p. 1509–1519, 2008.

SEVERINO, L. S. *et al.* A Review on the Challenges for Increased Production of Castor. **Agronomy Journal**, v. 104, p. 853-880, 2012.

SEVERINO, L. S.; AULD, D. L. A framework for the study of the growth and development of castor plant. **Industrial Crops and Products**, v. 46, p. 25–38, 2013a.

SEVERINO, L. S.; AULD, D.L. Seed yield and yield components of castor influenced by irrigation. **Industrial Crops and Products**, v. 49, p. 52–60, 2013b.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos plantas e fertilizantes**. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/Embrapa Solos/Embrapa Informática para Agricultura, 1999, 370p.

SMITH, G. D.; JANGAWAD, L. S.; SRIVASTAVA, K. L. Castor Roots in a Vertic Inceptisol. **Developments in Agricultural and Managed Forest Ecology**, v. 24, p. 533-542, 1991.

SNYMAN, H. A. Range land degradation in a semi-arid South Africa- I: influence on seasonal root distribution, root/shoot ratios and water-use efficiency. **Journal of Arid Environments**, v. 60, p.457–481, 2005.

SOUZA, A. S. *et al.* Épocas de plantio e manejo da irrigação para a mamoneira. I – componentes de produção. **Revista ciência agrônômica**, v. 38, p. 414-421, 2007.

SOUZA, E. C. A.; NATALE, W. Efeito do boro e do zinco na cultura da mamoneira. **Científica**, Jaboticabal, v.2, p.327-333, 1997.

TÁVORA, F. J. A. F. A cultura da mamona. Fortaleza: EPACE, 1982. 111p.