



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

VALERIO FERREIRA MARCELO

**USO DE CONDICIONADOR DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL PARA
MELHORIA DA QUALIDADE DE SOLOS COESOS DE PERNAMBUCO**

Recife

2019

VALERIO FERREIRA MARCELO

**USO DE CONDICIONADOR DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL PARA
MELHORIA DA QUALIDADE DE SOLOS COESOS DE PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de concentração: Planejamento e Gestão de Zonas Semiáridas e Ecossistemas Limítrofes

Orientador: Prof.^a. Dr^a. Maria do Socorro Bezerra de Araújo

Coorientador: Prof.^o. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida.

Recife

2019

M314u Marcelo, Valerio Ferreira.

 Uso de condicionador de baixo impacto ambiental para melhoria da qualidade de solos coesos de Pernambuco / Valerio Ferreira Marcelo. – 2019.
 92 f. : il. ; 30 cm.

 Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria do Socorro Bezerra de Araújo.
 Coorientador: Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida.
 Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
 Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2019.
 Inclui referências.

 1. Meio ambiente. 2. Solos. 3. Solos – Conservação. 4. Solos – Manejo. 5. Polímeros. 6. Poliacrilamida. I. Araújo, Maria do Socorro Bezerra de (Orientadora). II. Almeida, Brivaldo Gomes de (Coorientador). III. Título

363.7 CDD (22. ed.) UFPE (BCFCH2019-246)

VALERIO FERREIRA MARCELO

**USO DE CONDICIONADOR DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL PARA
MELHORIA DA QUALIDADE DE SOLOS COESOS DE PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovado em: 30/08/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Maria do Socorro Bezerra de Araújo (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Werônica Meira de Souza - (Examinador Interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Maria Cristina Basílio Crispim da Silva - (Examinador Interno)
Universidade Federal da Paraíba

Prof^a. Dr. Marcus Metri Corrêa - (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^o. Dr. José Nildo Tabosa - (Examinador Externo)
Instituto Agronômico de Pernambuco

Às pessoas que sustentaram a ideia e tudo que a envolveu desde o início, Lídia Augusta minha mãe, Lara Marcelo minha filha, Andréa Giordanna por tudo o que representa em minha história, Valdenice Araújo uma madrinha que não me deixou tombar mesmo quando a queda estava diante de meus olhos, professora Socorro que não mediu esforços para a concretização deste trabalho e me apoiou quando a imprecisão do viver exigiu mais de mim que a produção científica e ao professor Brivaldo Almeida pelo apoio e ensinamentos como educador e amigo que trouxe para meu aprendizado mais que a técnica, lições de vida.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, aos meus protetores, guias, mestres(as) e orixás. A minha família pelo amor, apoio e compreensão. A minha mãe Lúdia por me educar, a Giordanna por estar sempre comigo, a minha filha Lara por acreditar no pai e a minha madrinha Valdenice.

À minha orientadora Profa. Maria do Socorro Bezerra de Araújo e meu coorientador Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida pelo compromisso com a boa pesquisa, ensino, respeito complementados com companheirismo nos momentos decisivos. Aos seus orientados e alunos (Edvan Uchoa, Simone, Adriana Magalhaes, Hidelblande, Hernãn, Danilo, Fernanda, Aglair, Gabriela, Carlos Vitor, Neura, Sthephany, Bruno) pela disponibilidade e apoio nas análises realizadas no Laboratório de Física do Solo do Dpt^o. de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Estendo meus agradecimentos aos professores e técnicos e amigos alunos e coordenação do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA, aos Professores e técnicos dos Laboratórios de Física do Solo e Biomassa do Departamento de Energia Nuclear destacando os professores Antonino e Dario Primo, ao setor de transporte que sempre nos atendeu mesmo em momentos difíceis da instituição. Aos bolsistas PIBIC, Paulo por todo o apoio nas atividades e Elise por sua verdadeira dedicação e amizade que construímos.

À professora Josicleda e seus bolsistas e orientandos (Igor, Rodrigo, Vivi, Jadson) pelo apoio e disponibilização do Laboratório de Geoprocessamento/SERGEIO para realizar as análises das imagens das raízes.

Ao pesquisador do IPA Dr. José Nildo Tabosa por acolher esta pesquisa em sua plenitude abrindo as portas da instituição e articulando diversos setores e pessoas em apoio, dentro e fora da instituição entre eles, José de Paula, Venezio, Manuel Américo, Leandro e todo o corpo técnico de apoio na sede e na Estação Experimental de Itapirema/Goiana-PE.

Agradeço também ao pesquisador Dr. José Coelho (EMBRAPA), ao professor Dr. Carlos Renato (UFRPE), ao professor Wagner Souza (IFPE) por esta sempre disponível em contribuir.

À Dr^a. Adriana Guedes, ao professor Rodolpho que em um dia difícil, largou seus afazeres para coletar raízes, a Cassio Júnior pela dedicação e apoio em todas as fazes que envolveram as atividades de campo, dedicando seus dias e Marina minha afilhada que foi a campo apoiar esta empreitada.

Agradeço à FACEPE e ao Governo do Estado pela concessão da bolsa.

“Amar e mudar as coisas me interessa mais...”

*Trecho da música Alucinação – 1976
(Antônio Carlos Belchior 1946-2017)*

RESUMO

Os solos coesos, em condições naturais, possuem densidade de até $1,8 \text{ g.cm}^{-3}$ e se desestruturam rapidamente em contato com a água. Quando secos, os coesos são extremamente duros e por isto apresentam elevada resistência mecânica à penetração de raízes. O grau de coesão é proporcional ao teor de argila, os coesos têm textura franco-argilo-arenosa ou mais fina e apresentam macroporosidade reduzida. As limitações físicas mencionadas, somadas à baixa quantidade de macro e mesoporos dificultam a permeabilidade afetando diretamente a aeração e percolação da água no solo e por consequência provoca restrições ao desenvolvimento vegetal. Como alternativa para o manejo dos solos, a poliacrilamida (PAM) aniônica pode ser utilizada como condicionadora de solo, melhorando as condições de cultivos agrícolas. O estudo apresenta as contribuições da poliacrilamida, um polímero formado a partir de monômeros de acrilamida, que a formulação difere conforme peso molecular, carga iônica e densidade de carga. A substituição do componente amina (NH_2) no monômero de acrilamida determina a sua carga iônica, sendo as poliacrilamidas aniônicas ambientalmente seguras. Por conseguinte, este estudo teve como objetivo avaliar a influência do uso da poliacrilamida aniônica (Superfloc A-130) como condicionador na atenuação do caráter coeso dos solos ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abráptico e LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso em Pernambuco, visando à melhoria da sua qualidade física e ambiental para uso agrícola. Para isto, foram mensurados os atributos físicos e a disponibilidade de água, tomando como referências suas características básicas do solo (densidade, porosidade, resistências à penetração), aliadas a análises mais específicas que indicam a qualidade do solo, como o Intervalo Hídrico Ótimo e o cultivar de milho BRS Gorutuba como biomarcador, com o intuito de observar as respostas morfológicas da parte aérea e do sistema radicular pelas principais características biométricas do vegetal e a presença dos macronutrientes (N, P e K) até os 30 dias após a emergência das plantas em casa de vegetação e 90 dias para as plantas cultivadas no campo. Como resultado, a poliacrilamida promoveu maior disponibilidade de água aos solos estudados, redução da coesão, maior disponibilidade dos macronutrientes às plantas em casa de vegetação. O Intervalo Hídrico Ótimo mostrou-se capaz de estimar a água disponível para as plantas relacionadas com as doses aplicadas em campo e em casa de vegetação.

Palavras-chave: Poliacrilamida. Porosidade. IHO. Milho.

ABSTRACT

Cohesive soils, under natural conditions, have a density of up to 1.8 g.cm^{-3} and rapidly break down in contact with water. When dry, the cohesives are extremely hard and therefore have high mechanical resistance to root penetration. The degree of cohesion is proportional to the clay content, the cohesives have a sandy loam or finer texture and have reduced macroporosity. The mentioned physical limitations, added to the low amount of macropores and mesopores, make permeability difficult, directly affecting the aeration and percolation of water in the soil and consequently causes restrictions to plant development. As an alternative for soil management, anionic polyacrylamide (MAP) can be used as a soil conditioner, improving the conditions of agricultural crops. The study presents the contributions of polyacrylamide, a polymer formed from acrylamide monomers, that the formulation differs according to molecular weight, ionic charge and charge density. Substitution of the amine component (NH_2) in the acrylamide monomer determines its ionic charge, and anionic polyacrylamides are environmentally safe. Therefore, the objective of this study was to evaluate the influence of the use of anionic polyacrylamide (Superfloc A-130) as a conditioner in the attenuation of the cohesive character of the soil. environmental for agricultural use. For this, the physical attributes and water availability were measured, taking as reference their basic soil characteristics (density, porosity, penetration resistance), together with more specific analyzes that indicate the soil quality, such as the Optimum Water Interval and BRS Gorutuba corn cultivar as biomarker, in order to observe the morphological responses of the area and root system by the main biometric characteristics of the plant and the presence of macronutrients (N, P and K) until 30 days after the urgency of the treatments. greenhouse plants and 90 days for plants grown in the field. As a result, polyacrylamide promoted greater availability of water to the studied soils, reduced cohesion, greater availability of macronutrients to greenhouse plants. The Optimum Water Interval proved to be able to estimate the available water for the plants related to the doses applied in field and greenhouse.

Keywords: Polyacrylamide. Porosity. Llwr. Maize.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização das áreas na mesorregião da mata	25
Figura 2	Montagem dos vasos e acomodação dos anéis volumétricos	33
Figura 3	Coleta das raízes, retirada do bloco de solo do vaso	36
Figura 4	Coleta das raízes, assoreamento do bloco de solo	36
Figura 5	Raiz fotografada para análise no software Safira	37
Figura 6	Fotografia raiz análise no software Safira/Casa de Vegetação	38
Figura 7	Croqui experimento instalado em campo	39
Figura 8	Croqui unidade experimental (parcela) em campo	40
Figura 9	Croqui tridimensional da unidade (parcela) experimental em campo	41
Figura 10	Coleta de raízes em campo com cilindro	44
Figura 11	Imagem raiz para análise no software Safira/campo	45
Figura 12	Distribuição de poros, A - Solo de Itapirema / B-Solo de Trapiche	47
Figura 13	Desempenho da Resistência a Penetração Mecânica da Raiz nos solos manejados com poliacrilamida	50
Figura 14	Diagramas de desempenho do Intervalo Hídrico Ótimo para o ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico	52
Figura 15	Diagramas de desempenho do Intervalo Hídrico Ótimo para o ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico	54
Figura 16	Resultados para biometria da parte aérea para as plantas cultivada em casa de vegetação	58
Figura 17	Resultados para biometria do sistema radicular das plantas cultivada em casa de vegetação	62
Figura 18	Resultados para macronutrientes das plantas cultivada em casa de vegetação	65
Figura 19	Curva característica de retenção de água no solo	67
Figura 20	Desempenho da resistência mecânica a penetração da raiz	69
Figura 21	Densidade crítica estabelecida para pera o intervalo hídrico ótimo tratamento 40 kg.ha-1 de poliacrilamida	71
Figura 22	Diagramas de desempenho do Intervalo Hídrico Ótimo para o ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico, experimento em campo	72
Figura 23	Distribuição de poros solo de Itapirema, experimento em campo	74
Figura 24	Imagem do experimento em campo na estação experimental de Itapirema – Goiana/PE	75
Figura 25	Número de fibras nas plantas cultivadas em campo	77
Figura 26	Resultados para os macronutrientes N e P nas plantas cultivadas em campo	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Caracterização química e granulométrica dos solos estudados	28
Tabela 2	Descrição das doses de polímero aplicas	42
Tabela 3	Distribuição percentual de classes de poros tratamentos nos solos estudados	48
Tabela 4	Valores da RP/Potencial Mátrico e Dose de Poliacrilamida	51
Tabela 5	Parâmetros de ajuste para RP e Ds das equações da regressão / Solo Itapirema	51
Tabela 6	Parâmetros de ajuste para RP e Ds das equações da regressão / Solo Trapiche	53
Tabela 7	Valores de Granulometria, MO, CO e CE para os solos estudados	57
Tabela 8	Parâmetros de ajuste para RP e Ds das equações da regressão/Itapirema Campo.	70
Tabela 9	Distribuição percentual de classes de poros no solo manejado com PAM em campo	74
Tabela 10	Caracterização química do solo em campo	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E AMBIENTAL DOS SOLOS COESOS.....	17
2.2	QUALIDADE DO SOLO COESO	19
2.3	ALTERNATIVAS PARA A REDUÇÃO DA COESÃO.....	20
2.4	POLÍMERO NO SOLO	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1	DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
3.2	COLETA DO SOLO.....	26
3.3	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS	27
3.4	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS SOLOS	29
3.4.1	Análise Granulométrica.....	29
3.4.2	Porosidade.....	29
3.4.3	Densidade	29
3.4.4	Resistência Mecânica à Penetração de Raízes	30
3.5	ANÁLISES FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO	30
3.5.1	Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS).....	30
3.5.2	Intervalo Hídrico Ótimo	31
3.6	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO.....	32
3.6.1	Acondicionamento dos Solos nos Vasos e Calagem	32
3.6.2	Calagem dos Solos Contidos nos Vasos.....	34
3.6.3	Aplicação de Poliacrilamida (PAM) nos Solos Contidos nos Vasos	34
3.6.4	Adubação, Plantio, Irrigação e Desbaste	34
3.6.5	Biometria das Plantas	35
3.6.6	Densidade das Raízes	38
3.6.7	Análises Químicas da Planta.....	38

3.7	EXPERIMENTO EM CAMPO	39
3.7.1	Aplicação do Polímero	42
3.7.2	Biometria das Plantas do Experimento em Campo - Parte Aérea	43
3.7.3	Coleta de Solo em Anéis no Experimento de Campo.....	43
3.7.4	Coleta da Raiz no Experimento de Campo.....	43
3.7.5	Análise Estatística	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	COMPORTAMENTO FÍSICO DOS SOLOS COESOS MANEJADOS COM POLIACRILAMIDA E RESPOSTA FISIOLÓGICA E BIOMÉTRICA DO VEGETAL CULTIVADO EM AMBIENTE CONTROLADO	47
4.1.1	Porosidade.....	47
4.1.2	Resistência do Solo à Penetração Mecânica da Raiz - RP	49
4.1.3	Intervalo Hídrico Ótimo – IHO	51
4.1.4	Desempenho do Milho como Biomarcador em Solos Coesos Manejados com Poliacrilamida.....	55
4.1.4.1	Parte Aérea Da Planta	55
4.1.4.2	Sistema Radicular das Plantas Cultivadas em Solos Coesos Manejados com Polímero	59
4.1.4.3	Quantificação dos Macronutrientes, Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) nas Plantas de Milho Cultivadas nos Solos Coesos Manejados com e sem Poliacrilamida em Ambiente Controlado	63
4.2	COMPORTAMENTO FÍSICO-HÍDRICO DE SOLO COESO MANEJADO COM POLÍMERO EM CAMPO	66
4.2.1	Curva Característica de Retenção de Água no Solo - CCRAS	66
4.2.2	Resistência Mecânica À Penetração De Raízes (RP)	67
4.2.3	Intervalo Hídrico Ótimo	70
4.2.4	Porosidade do Solo Coeso Cultivado em Campo	73
4.3	RESPOSTA FISIOLÓGICA E BIOMÉTRICA DO VEGETAL CULTIVADO EM CAMPO SOB AÇÃO DA POLIACRILAMIDA	75

4.3.1	Parte Aérea da Planta em Campo	75
4.3.2	Desempenho do Sistema Radicular das Plantas Cultivadas com Polímero na Profundidade 0 – 48 cm sob Horizonte Coeso	76
4.3.3	Quantificação dos Macronutrientes (Nitrogênio, Fósforo e Potássio) Presentes nas Plantas de Milho Cultivadas na Profundidade 0-48 Sob Horizonte Coeso	77
5	CONCLUSÕES	79
6	PERSPECTIVAS	80
	REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

O estudo apresenta o comportamento de solos coesos sob ação da Poliacrilamida (PAM). O termo coeso é usado para distinguir solos com horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados, muito resistentes e duros a extremamente duros quando secos, passando a friáveis ou firmes quando úmidos (EMBRAPA, 2013). A coesão ocorre tanto nas áreas sob floresta e áreas sob cultivo, indicando ser um processo de transformação do seu material de origem (RIBEIRO, 1991).

Os horizontes coesos, em condições naturais, possuem densidade elevada entre 1,5 a 1,8 g/cm³ (ARAÚJO FILHO et al. 2001) e se desestruturam rapidamente em contato com a água. Quando secos, são extremamente duros e por isto com elevada resistência mecânica à penetração de raízes.

Os solos coesos têm seu grau de coesão proporcional ao teor de argila e textura franco-argilo-arenosa ou mais fina, e apresentam macroporosidade reduzida e brusca redução de raízes (RIBEIRO, 2001). São solos que predominam nos tabuleiros, os Latossolos Amarelos, nas colinas e morros estão os Argissolos e alguns Latossolos Vermelho Amarelos (LEPSH, 2007).

A coesão em solos é atribuída a três distintas origens. De acordo com o Vargas (1977), primeiro pela presença de óxidos de ferro e alumínio como agentes cimentantes; segundo pela atração das partículas solidas de solo e a água, dependendo a sua intensidade, do tipo da fração argila presente, dos íons adsorvidos na superfície dos grãos e o espaço entre estas partículas do solo, e terceiro, pelo efeito da tensão superficial presente na água intersticial (contidas no interior dos poros), quando o agregado recebe alguma tensão de cisalhamento.

As limitações físicas mencionadas acima, somadas à baixa quantidade de macro e mesoporos dificultam a permeabilidade, afetando diretamente a aeração e a percolação da água no solo e, por consequência, causa restrições ao desenvolvimento vegetal.

Os solos cultivados ou preservados pela vegetação nativa dos tabuleiros costeiros e mar de morro são fortemente impactados ambientalmente pelo modelo de produção e pela forma de manejo utilizada para os solos coesos presentes nesses ecossistemas. Parte importante dessa área é utilizada para produção da cana-de açúcar, banana, verduras, inhame e mandioca (EMBRAPA, 2014).

Na produção dessas culturas há uma significativa participação da agricultura de base familiar, ressaltando que este segmento de produção no cenário nacional é responsável por 80% da ocupação no campo e ainda fortalece as práticas de produções ambientalmente mais equilibradas (PASSOS, 2014).

Outro fator que deve ser fortemente observado é a necessidade urgente do uso racional da água como alternativa ao manejo atual dos recursos hídricos para a produção de alimentos, mudas de espécies florestais e biomassa para alimentação animal.

Como alternativa para o manejo dos solos na busca por maior disponibilidade da água para as plantas, redução da perda de macronutrientes, demanda química de oxigênio, dispersão de sementes de plantas catalogadas como prejudiciais às culturas, microrganismos e solo por lixiviação, a poliacrilamida aniônica (PAM) está no mercado desde 1995, trazendo a promessa de várias propriedades benéficas para o manejo do solo, suprimindo inclusive as demandas descritas (SOJKA et al., 2007).

A Poliacrilamida (PAM) utilizada na presente pesquisa é produzida pela Century Química do Brasil com nome comercial de “Poliacrilamida Superfloc A-130”; tem alta massa molecular (15,0 Mg mol⁻¹) e 35% de densidade de carga (hidrólise), é convencionalmente utilizada para flocular e decantar os resíduos sólidos no tratamento de efluentes industriais.

Para avaliar a influência da poliacrilamida aniônica nos solos estudados, no contexto das suas estruturas físicas e a disponibilidade de água, tomando como referências suas características básicas (Densidade, Porosidade, Resistências à penetração), aliadas a análises mais específicas que indicam a qualidade do solo, como o Intervalo Hídrico Ótimo (SILVA et al., 1994; TORMENA et al, 1998), foi utilizado o cultivar de milho BRS Gorutuba como biomarcador para observar as respostas morfológicas da parte aérea e do sistema radicular pelas principais características biométricas do vegetal e a presença dos macronutrientes (N, P e K) até os 30 dias após a emergência das plantas em casa de vegetação e 90 dias para as plantas cultivadas no campo.

O uso do polímero promove a redução da coesão, atenua a perda de solo e nutrientes por lixiviação trazendo benefícios ambientais e contribuindo para a redução da eutrofização de corpos de água com isso contribui também para uma melhor gestão ambiental na agricultura (LI e WANG 2016; YUAN, et al., 2017).

Atualmente a disponibilidade de água nas plantas é melhor diagnosticada e quantificada pelo Intervalo Hídrico Ótimo (IHO), o qual constitui-se em um índice que integra diversos fatores físicos relacionados diretamente com o crescimento das plantas, são eles: porosidade da aeração maior que 10%, água no solo nas tensões entre a capacidade de

campo (CC), o ponto de murcha permanente (PMP) e teor de água no solo em que a resistência a penetração do solo (RP) é < 2 Mpa (SILVA et al.,1997).

A avaliação da redução da coesão com uso de características fisiológicas de plantas, como diâmetro de caule, tamanho da planta, extensão do sistema radicular são escassas, o que reduz as informações para os pequenos agricultores na tomada de decisão para escolha do manejo de solos coesos.

Nesse contexto, considerando as restrições para manejo de solos coesos descritas, este estudo realizou a aplicação de poliacrilamida em dois solos coesos distintos, avaliando a redução da coesão e sua influência nos parâmetros físico-hídricos do solo e no desenvolvimento do milho, a partir dos resultados de experimento conduzido em casa de vegetação e campo com o objetivo de avaliar o uso da poliacrilamida como condicionador na atenuação do caráter coeso de solos em Pernambuco, visando à melhoria da sua qualidade física e ambiental para uso agrícola.

A poliacrilamida (PAM) é um condicionante muito usado no cenário internacional, no entanto, estudos com PAM em solos com caráter coeso são bastante escassos, os poucos trabalhos com a PAM em solos coesos se restringem a avaliações físicas das estruturas como em MELO et al. (2014) que avaliaram o Diâmetro Médio Ponderado (D.M.P) e Diâmetro Médio Geométrico (D.M.G).

Este estudo inova quando além de parâmetros físicos, amplia para parâmetros físico-hídricos e o acompanhamento do desenvolvimento de uma cultivar de milho como biomarcador, em que o sistema radicular, o desenvolvimento da parte aérea da planta e a absorção dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio são avaliados no desempenho dos solos coesos manejados com poliacrilamida.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nessa seção será apresentada a revisão da literatura da pesquisa.

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E AMBIENTAL DOS SOLOS COESOS

Os solos coesos estão localizados em importantes áreas de produção agrícola principalmente no nordeste brasileiro. Estas áreas anteriormente ocupadas por mata atlântica compõem as unidades de paisagens Mar de Morro que abrange do Rio Grande do Norte até a região sul do Brasil e os Tabuleiros costeiros que abrangem do estado do Amapá até o Rio de Janeiro (IBGE, 1997).

No nordeste, corresponde a 5,92% da região, com uma superfície de 98.503 km², abrange do extremo sul da Bahia até o Maranhão, acompanhando o litoral (SILVA JÚNIOR et al., 2006), e ocupando aproximadamente 16% da área total dos estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará (SOUZA et al., 2001).

Em Pernambuco estas unidades de paisagem estão melhor representadas na Zona da Mata norte e sul do estado, onde há predominância da cultura da cana-de-açúcar e seus derivados em ambas as unidades de paisagens, registrando-se também fragmentos de mata atlântica. Em partes importantes destas áreas, além da cultura massiva da cana, são também utilizadas para produzir banana, verduras, inhame e mandioca (SILVA JÚNIOR et al., 2014).

Os Tabuleiros Costeiros para os estados nordestinos são também de grande importância socioeconômica e ambiental devido ao seu potencial produtivo, proximidade dos grandes centros urbanos, da infraestrutura para transportes rodoviários e terminais marítimos, além de grande mercado potencial com demanda reprimida por produtos agrícolas (MOTA et al., 1997; CINTRA e LIBARDI, 1998). O perfil histórico básico da demanda por alimentos é determinado em função das tendências econômicas como a urbanização, distribuição de renda, reabsorção da mulher na economia formal (WILKINSON, 1989).

A produção de alimentos em áreas de ocorrência de solos coesos ainda busca um equilíbrio na relação desproporcional entre custo e benefício causado pelas culturas em virtude dos impedimentos proporcionados pelos solos com este caráter naturalmente estabelecido (CINTRA e LIBARDI, 1998).

MOTA et al., (1997), destacaram que nessa região, 70% dos estabelecimentos rurais são menores que 50 ha, ocupando apenas 26% da área, onde predominam as culturas de

subsistência (milho, feijão e mandioca), pecuária extensiva e extrativismo. Os autores afirmaram que em Sergipe, as maiores culturas são de cana-de-açúcar, coco, cítricos (principalmente laranja) e pecuária extensiva. O estado de Sergipe é também um grande produtor de frutas.

Deve-se destacar que a exploração desses solos iniciou-se com o extrativismo português da mata atlântica e foram estendidas com a monocultura da cana-de-açúcar, coco, cacau, citros, grãos, pastagens, essências florestas exóticas até a pecuária (SILVA JÚNIOR et al., 2006).

Amorim (2010), descrevendo a Região Costa do Descobrimento na Bahia, indicou entre suas oito mesoformas os Tabuleiros Costeiros e Mares de Morro, o autor destacou que durante os séculos XVI e XVII a região permaneceu como fronteira de recursos inexplorados pelo povoamento destas áreas estar restrito a alguns núcleos dispersos pelo litoral. Afirmou ainda que a situação se manteve até a metade do século XX, e só a partir dos anos 1950, com a construção da BR 5 ligando os Estados da Bahia e Espírito Santo, e na década de 1960 com a abertura da BR-101 teve início a ocupação maciça da região.

As vias trouxeram a dinamização do uso do solo com as culturas do cacau, da pecuária e da exploração da madeira que significou aumento da migração para a região. Houve também registros significativos de desmatamento de áreas de Mata Atlântica e substituição pela pastagem e área de uso agrícola. A partir dos anos 1970 com forte apoio do Estado inicia-se a silvicultura com plantio de eucalipto como mais uma atividade econômica com base no uso do solo.

As áreas com ocorrência de solos coesos como os Tabuleiros Costeiros e Mares de Morros estão próximas de corpos de água, e com a expansão agrícola vem a necessidade de aplicação de práticas culturais com gestão ambiental responsável que atendam as tendências emergentes relacionadas com a gestão e conservação do solo e da água.

As camadas coesas contribuem para a perda da camada arável e fértil, reduzindo a produtividade de solos conhecidamente pobres como é o caso dos Tabuleiros. Esta condição leva à ampliação do uso de fertilizantes e corretivos de solo.

Fertilizantes e corretivos de solo em excesso são frequentemente carregados para corpos de água, adsorvidos no sedimento ou em solução, promovendo a poluição. Pode o mesmo processo ocorrer com águas subterrâneas (SATURNINO e LANDERS, 1997). Os estudos de Yuan et al., (2017), mostraram que a PAM também reduz a perdas de macronutrientes do solo e reduzindo o risco de eutrofização.

2.2 QUALIDADE DO SOLO COESO

Em todo o mundo, a produção de alimentos é impactada negativamente pela crescente degradação dos solos agricultáveis, como também pelas mudanças climáticas que trazem incertezas quanto à disponibilidade de água nas culturas. Estes fatores exigirão esforços para ampliar a produção de forma sustentável, ou seja, sem ampliar a área agricultável, reduzindo os riscos ao meio ambiente e promovendo segurança alimentar.

Nesse contexto, reduzir o caráter coeso dos solos poderá abrir horizontes para maior produção e variedade de culturas sem a necessidade de expansão das áreas de plantio e até contribuir para uma melhor condição do solo em atividades de silvicultura e revegetação de áreas de mata.

As alternativas para melhorar a qualidade física e conservação das condições de cultivo são descritas por Pruski (2013), como práticas de caráter edáfico, que buscam manter a fertilidade do solo. São práticas de caráter vegetativo que buscam proteger a superfície do solo da erosão e práticas de caráter mecânico que alteram a condução do escoamento superficial e a estrutura do solo. Todas estas práticas têm custos elevados e resultados lentos, além da necessidade de serem bem avaliadas para uma possível aplicação em solos coesos e suas peculiares condições.

Ainda, os indicadores de qualidade do solo referem-se a atributos mensuráveis que influenciam a capacidade do solo para desempenhar produção agrícola ou funções ambientais (ARSHAD; MARTIN, 2002). Logo, atributos que são mais sensíveis ao manejo são mais desejáveis como indicadores. Stefanoski et al. (2013) apresentaram como indicadores primários da qualidade do solo, os atributos densidade, resistência à penetração, textura e porosidade total.

Para Fernandes (2008), a qualidade ideal para o solo é definida pela cultura a ser estabelecida.

É consenso que todas as formas de manejo do solo alteram a sua estrutura física e sabe-se que práticas mecânicas nem sempre apresentam resultados satisfatórios prolongados.

O fato é que os horizontes coesos apresentaram uma significativa redução na quantidade e no diâmetro das raízes, variando de poucas a raras (LIMA NETO et al., 2009). Trabalhos descrevendo a ocorrência e limitações causadas ao solo pela coesão natural no Brasil veem sendo realizados desde a década de 1930 (OLIVEIRA et al., 2002).

Giarola e Silva (2002) afirmaram que a formação dos horizontes coesos está relacionada com processos físicos e químicos naturais. Para Corrêa et al. (2008), a coesão tem relação com a translocação de argilas muito finas.

Diversos autores dissertaram sobre a coesão (JACOMINE, 1996; FERREIRA et al., 1999; ARAÚJO FILHO et al., 2001; GIAROLA e SILVA, 2002; REZENDE et al., 2002; FERNANDES et al., 2004; NASCIMENTO, 2005; MOREAU et al., 2006; CINTRA et al., 2009; RESENDE, 2013 VIEIRA et al., 2012; RAMOS et al., 2013; DANTAS et al., 2014; LIMA et al., 2015), atribuindo a presença do caráter coeso à argiluviação, presença de ferro em baixos teores e sílica nos microporos provenientes dos ciclos de exposição do solo à umidade e à seca e à acomodação face a face das partículas de argila. O fato é que as teorias não são conclusivas quanto à origem e causas da coesão.

Estando esta condição estabelecida naturalmente e necessitando ser contornada para melhor aproveitamento do solo, trabalhos já foram propostos, apresentando soluções para a redução do caráter coeso desses solos, especificamente para aumentar a sua profundidade efetiva por meio de práticas mecânicas. Entretanto, estas têm promovido o chamado “pé de arado”, que aumenta a densidade do solo, refletindo em danos a outras propriedades físicas do solo.

Para Niero et al. (2010), as práticas de manejo do solo e das culturas provocam alterações nos atributos do solo, que podem significar perda de qualidade, afetando a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola.

2.3 ALTERNATIVAS PARA A REDUÇÃO DA COESÃO

O solo coeso não armazena água adequadamente, pois a sua estrutura dificulta o escoamento da água em profundidade, impedindo duplamente o desenvolvimento radicular, pois quando ocorre disponibilidade de água, as raízes ficam limitadas às camadas superficiais, a camada coesa atua como barreira ampliando a perda superficial de solo e nutrientes, além de manter as raízes em desenvolvimento nas camadas iniciais (RIBEIRO, 1996). Na ausência de água a coesão do solo impede o aprofundamento das raízes em busca de água e nutrientes nas camadas mais profundas do solo, prejudicando o desenvolvimento das plantas.

As alternativas para lidar com a coesão do solo, por vezes são semelhantes às alternativas aplicadas para reduzir a compactação dos solos. A escarificação, a subsolagem, a

cobertura vegetal, a incorporação de matéria orgânica seca e verde são práticas mecânicas e biológicas utilizadas para atenuar a coesão no solo (CARVALHO, 2018).

A escarificação é a prática mecânica utilizada para romper camadas coesas, adensadas e, ou compactadas na profundidade até 35 cm (profundidades de 5 a 15 cm/escarificação superficial e 15 a 35 cm/escarificação profunda) conforme descreve Silva et al., (2015). Os mesmos autores descrevem que a subsoladores são utilizados para romper camadas em profundidades a partir de 35 cm e são equipamentos que exigem elevado consumo energético promovendo alto custo da operação. A subsolagem rompe tridimensionalmente as camadas do solo em profundidade superiores a 40 cm (FESSEL, 2003).

O uso do subsolador é uma prática descrita como de curta durabilidade podendo seus efeitos serem revertidos em pouco tempo com a recomposição das características físicas anteriores do solo (BUSSCHER et al. 1995; NICOLOSO et al., 2008; REICHERT et al., 2009, SEKI et al., 2015). Outra prática mecânica aplicada para minimizar os afeitos da coesão do solo são os mecanismos sulcadores adaptados às máquinas de semeadura. Os estudos de Seki et al., (2015), em solos compactados, não observaram interferência no desenvolvimento das plantas, nem na produtividade da cultura do milho como o solo manejado com as práticas de subsolagem, a escarificação e mecanismos sulcadores tipo haste na operação de semeadura.

Diversas práticas não mecânicas para lidar com a coesão do solo são apresentadas por Carvalho (2018). São alternativas biológicas como a cobertura verde com o uso da leguminosa feijão-de-porco, *Crotalaria juncea*, braquiária ruziziense e plantas espontâneas cultivadas entre linhas de culturas de mamoeiro e citrus como alternativas à redução da coesão mantendo a umidade e busca da melhoria da estrutura do solo coeso.

A perspectiva de condicionadores para melhor aproveitamento do solo continua sendo ampliada, como as macrófitas aquáticas associadas a doses de fósforo (MACHADO et al., 2014), as zeólitas (tectossilicatos), que atuam na retenção de água no solo (BERNARDI et al. 2009) e o gesso agrícola (sulfato de cálcio) um condicionador de solo fonte de cálcio e enxofre, corretor de solos sódicos e com elevados teores de potássio (VITTI et al., 2008).

O fato é que os procedimentos aqui elencados, são demorados, com elevado custo e por vezes são dependentes. Por exemplo, as práticas biológicas necessitam em sua implantação do uso de mecanização.

A poliacrilamida, por promover retenção de umidade, ampliar a absorção de nutrientes, reduzir a perda superficial de solo e manter a porosidade superficial mostra-se como alternativa prática na função de condicionador para solos coesos.

2.4 POLÍMERO NO SOLO

Poliacrilamida (PAM) é o polímero formado a partir de monômeros de acrilamida, a formulação difere conforme peso molecular, carga iônica e densidade de carga. O peso molecular define a extensão da cadeia do polímero. Dessa forma, maior cadeia do polímero, maior peso molecular. A substituição do componente amina (NH_2) no monômero de acrilamida determina a sua carga iônica, que será positiva (catiônica), negativa (aniônica) ou neutra (não iônica). A poliacrilamida tem a sua densidade definida pela quantidade de substituições da amina aplicada na extensão da cadeia polimérica, sendo as poliacrilamidas aniônicas ambientalmente seguras para uso devido ao seu baixo teor de acrilamida e elevado peso molecular (BAVERNIK 1994; SEYBOLD et al., 1994; SOJKA E SURAPANENI 2000; SOJKA et al., 2007; VACHER et al., 2003; LABAHN et al., 2010; LU et al., 2012; THAKUR et al., 2018)

Os polímeros são considerados uma molécula única, apesar de seu tamanho, já que as cadeias poliméricas são reticuladas umas às outras (em forma de rede e entrelaçadas). Pequenas mudanças no ambiente como, na temperatura, pH, carga elétrica, presença de espécies iônicas e presença de enzimas podem alterar o tamanho o teor de água da estrutura da poliacrilamida (THAKUR, et al., 2018).

Pesquisas com o uso do PAM/Poliacrilamida como condicionador de solo foram iniciadas em 1950 (BARVENIK, 1994). Deste então, a poliacrilamida vem-se estabelecendo como alternativa às práticas mecânicas e trazendo novas disponibilidades quanto à origem, podendo ser biopolímero de polissacarídeo produzido por bactérias ou polímero (PAM) derivado do petróleo, como o usado nesta pesquisa.

Os estudos de Gascue (2006) com este polímero, realizado em dois solos distintos, com cultivo de tomate em casa de vegetação, indicaram maior disponibilidade de água para as plantas, maior germinação e redução da salinidade.

O estudo realizado por Lentz (2015), aplicando os polímeros para avaliar a erosão superficial, floculação, estabilidade de agregados e infiltração de água em sistema de irrigação superficial por sulco, constatou ser o PAM mais eficaz para estes parâmetros. Este resultado pode ser devido ao teor de argila do solo e à constituição molecular mais volumosa do polissacarídeo que limitou a extensão e flexibilidade da molécula em solução, se comparado com o PAM.

Os estudos de Jung e Jang (2016), sobre a curva característica de retenção de água no solo manejado com PAM, indicaram que a concentração de solução de poliacrilamida pode ser um dos fatores de interferência dos resultados, além do ângulo e diâmetro dos poros.

Santana (2007) afirmou que os polímeros melhoram a retenção e a disponibilidade de água, aeração e descompactação, reduzindo o uso da água em até 50%, quando utilizada na agricultura, estufas, viveiros, silvicultura e paisagismo.

Os polímeros, segundo Suriani (2010), são classificados em três grupos: i) aqueles em que a água é fortemente confinada por fortes ligações H-H, ficando toda água retida; ii) aqueles que possuem grande capacidade de adsorção e pouca força retenção; e iii) aqueles que retêm a água por ligações fracas de H, liberando-a paulatinamente com o tempo. Os polímeros retêm água e nutrientes durante um longo período. A taxa de liberação de nutrientes, ao longo da degradação do polímero, pode ser em harmonia com as necessidades nutricionais das plantas (MISHRA et al., 2018).

Miranda et al. (2018), avaliando o uso da fitorremediação e condicionadores químicos entre estes a poliacrilamida na recuperação de atributos físicos em um Neossolo Flúvio, constataram que o polímero foi mais eficiente em melhorar as propriedades físicas relacionadas com a fração porosa do solo e reduziu a resistência à penetração.

Os compostos da poliacrilamida (PAM) são polímeros lineares ou copolímeros de acrilamida, podem ser neutros, aniônicos ou catiônicos. Estudos com PAM aniônica de elevado peso molecular indicam a não toxicidade para animais, seres humanos, peixes e plantas (SEYBOLD et al., 1994; SOJKA et al., 2007; LABAHN et al., 2010; LU et al., 2012;).

A degradação da poliacrilamida no ambiente pode ser atribuída a cargas, à variação de temperaturas, à hidrólise, ao tipo de ambiente, a microrganismos, mudanças no teor de sal e valores de pH neutro. (TOLSTIKH et al., 1992; LANDE et al., 1979), pode também ocorrer pela ação da radiação UV, exposição ao sol e o cisalhamento das cadeias poliméricas (RANDBY, 1993; LU et al., 2012; XIONG et al., 2018).

A degradação dos polímeros também pode ocorrer pela ação de bactérias que integram a microfauna edáfica e os corpos de água (SHANKER et al., 1990; KAY-SHOEMAKE et al., 1998 SHUKOR et al., 2009). As bactérias agem sob condições aeróbicas ou anaeróbicas decompondo a PAM usando o carbono e ou nitrogênio que a constitui. A degradação resulta nos compostos amônia e ácido acrílico (SMITH et al., 1997; LABAHN et al., 2010). Esses compostos são encontrados na natureza e não são impactantes, embora a amônia seja tóxica, mas na presença de oxigênio passa a nitrito e nitrato que são nutrientes.

O tempo de decomposição da PAM, pode variar de dias a meses dependendo do polímero e as características ambientais (SMITH et al., 1997; KAY-SHOEMAKE et al., 1998).

As camadas coesas reduzirem a profundidade efetiva do solo, respondem por grandes alterações no potencial de água, aeração e resistência mecânica do solo à penetração do sistema radicular das plantas (CINTRA et al., 2007). No Brasil, poucos são os trabalhos com poliacrilamida voltados para o manejo de solos e especificamente para os solos coesos. O mais recente é o de Marcelo et al. (2016), que estudaram os efeitos do manejo com polímero e polímero associado ao gesso. Anterior a este, existem os de Melo (2013), Andrade (2014) e Almeida (2008), os quais se limitam basicamente a avaliação física das estruturas do solo e não abordam os parâmetros de um bioindicador vegetal.

As demais referências teóricas e metodologias que deram sustentação à realização deste estudo estão expressas nos processos de produção, interpretação e análise dos dados. Esse procedimento elucidou com mais consistência o percurso de efetivação da pesquisa e como foram alcançados os resultados apresentados nas conclusões.

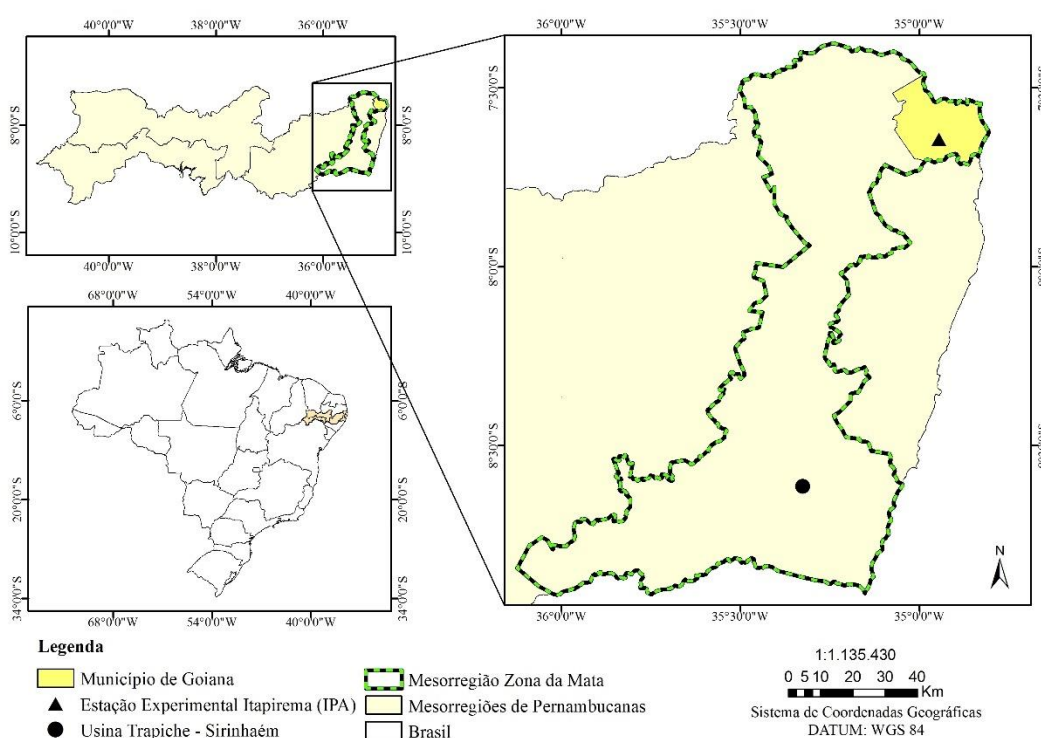
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa seção serão apresentados os materiais e métodos da pesquisa.

3.1 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado com solos coletados em dois locais distintos da Zona da Mata pernambucana (figura 1), o primeiro na Estação Experimental de Itapirema, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), nas coordenadas 07°38'39.7'' S e 34°56'44.1'' W de Greewinch, e clima Ams' pela classificação de Köppen, pluviometria anual média de 2.002,8 mm e vegetação do tipo floresta tropical subperenifólia. Itapirema está instalada sobre Tabuleiro Costeiro no município de Goiana-PE, Zona da Mata Norte. E o segundo, na Usina Trapiche, estabelecida em área caracterizada como Mar de Morro no Município de Sirinhaém – PE, Zona da Mata Sul nas coordenadas 08° 36' 47'' S e 35° 19' 36'' W de Greewinch, com clima As' conforme a classificação de Köppen, a pluviometria anual média região é de 1.309,9 mm e a cobertura vegetal predominante é do tipo floresta tropical subperenifólia.

Figura 1 – Localização das áreas na mesorregião da mata



Antes da confirmação dos perfis previamente abertos e descritos foi realizada uma prospecção com penetrômetro de campo (solo Track/medidor automático de compactação do solo) para confirmação da área coesa; na sequência a confirmação do perfil descrito e separação dos horizontes conforme Santos et al. (2005), seguindo-se a classificação do solo proposta pelo SiBCS, (EMBRAPA,2013).

Em Itapirema, a seleção do horizonte para o estudo foi realizada baseado nas características morfológicas do caráter coeso, selecionando o horizonte identificado como Bt1, na profundidade entre 48-70 cm. O perfil do solo foi classificado como ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrupto (MARCELO, 2015). Na Usina Trapiche, as características morfológicas do caráter coeso foram identificadas selecionando o horizonte BA, na profundidade entre 28-42 cm e o perfil classificado como LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso (ANDRADE, 2014).

O experimento em casa de vegetação foi conduzido na sede do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA/Recife. Os experimentos de laboratório foram realizados nas universidades UFPE/Dept°. Energia Nuclear (Laboratórios de biomassa e Física do solo) e UFRPE/ Dept° Agronomia e (Laboratórios de Física e Química do solo), Dept° Engenharia Agraria e Ambiental (Laboratórios de Física do solo) e no IPA.

3.2 COLETA DO SOLO

Os solos selecionados foram classificados como ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrupto (Estação Itapirema) coletado no horizonte Bt1, na profundidade entre 48-70 cm e LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso (Usina Trapiche) coletados no horizonte BA na profundidade entre 28-42 cm.

As coletas ocorreram em duas condições, a primeira em sacos de ráfia com capacidade para 50 kg, destinado para as análises química, granulométrica e instalação do experimento em casa de vegetação, a segunda em anéis de aço 50x50 mm para análises físicas (porosidade, densidade, umidade, curva característica de retenção de água no solo) com o objetivo de caracterizar os solos em condição de campo. Todo o solo coletado em sacos foi posto para secar ao ar.

As coletas foram realizadas no inverno nos dias 11/08/2016 no município de Sirinhaém e 08/09/2016 no município de Goiana no período caracterizado pelo final da quadra chuvosa que se inicia em junho no estado de Pernambuco.

3.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS

A caracterização química dos solos foi realizada utilizando-se a metodologia conforme EMBRAPA (2011) para quantificação de pH, Ca, Mg, Na, K, Al, H, S, CTC, V% e m%.

O pH do solo foi determinado em suspensão na proporção 1:2,5 (solo: solução), utilizando-se água e KCl 1 mol L^{-1} como soluções. Na quantificação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} utilizou-se KCl (1 mol L^{-1}) como solução extratora, dosados via espectrofotometria de absorção atômica. O KCl (1 mol L^{-1}) foi utilizado também para extrair o Al^{3+} titulado com NaOH $0,25 \text{ mol L}^{-1}$. Com a solução dupla ácida Mehlich I, foram extraídos Na^+ , K^+ e P nas amostras e determinados com fotômetro de chama (Na^+ e K^+) e fotocolorimetria (P).

Para determinar a acidez potencial (H+Al) utilizou-se solução extratora tamponada de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ com pH 7,0, titulando-se com NaOH na presença de fenolftaleína. A capacidade de troca catiônica potencial (CTC_{pot}) à pH 7,0 foi determinada utilizando-se solução de acetato de cálcio 1 N pH 7,0 como cátion saturante do complexo de troca e solução de acetato de sódio 1N pH 7,0, conforme Camargo et al., (2009). A determinação do carbono orgânico (CO) foi realizada por combustão úmida com dicromato de potássio ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) para oxidar a matéria orgânica.

Os resultados dessas análises permitiram calcular a soma das bases (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_{ef}); saturação por base (V%) e por alumínio (m%).

Na tabela 1, a seguir, podem ser observadas as características resultantes das análises realizadas

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica dos solos estudados

Horizonte/profundidade Bt 1 (48-70) / ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico – Itapirema/Goiana																	
Análise Química														Granulometria			
P	pH	Ca	Mg	Na	K	Al	H	SB	CTC	V	m	CO	MO	CE	A*	S**	AG.
mg/dm³	(H2O)	cmolc/dm³								%		g.Kg⁻¹		dS/m	g.Kg⁻¹		
2	5,30	0,15	0,50	0,05	0,04	0,55	0,46	0,7	0,8	89	43	6,21	10,68	0,095	643,00	21,00	336,00
Horizonte/profundidade BA (28-48) / LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso – Usina Trapiche/Sirinhaém																	
Análise Química														Granulometria			
Granulometria																	
P	pH	Ca	Mg	Na	K	Al	H	SB	CTC	V	m	CO	MO	CE	A*	S**	AG.
mg/dm³	(H2O)	cmolc/dm³								%		g.Kg⁻¹		dS/m	g.Kg⁻¹		
2	5,20	0,15	0,50	0,07	0,06	0,55	1,43	0,7	2,8	28	41	14,96	25,73	0,149	396,80	88,20	516,00

P=Fosforo; Ca= Cálcio; Mg= Magnésio; Na= Sódio; K= Potássio; Al= Alumínio; H= Hidrogênio; SB= Soma das Bases; CTC= Capacidade de troca de cátions; V=Saturação por Bases; m= Saturação por alumínio; CO=Carbono orgânico; MO= Matéria orgânica; CE= Condutividade elétrica; A*= Areia total; S**= Silte; AG= argila.

3.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS SOLOS

Nessa seção será apresentada a caracterização física dos solos estudados.

3.4.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi realizada pelos métodos do densímetro proposto em Gee e Or (2002), modificado e descrito por Almeida (2008) e com metodologia proposta pela EMBRAPA (2011).

3.4.2 Porosidade

A porosidade (total, macro, meso e microporosidade) do solo foi determinada pela diferença do volume de água na saturação nas amostras de solo contidas em anéis volumétricos após ser submetidos à diferentes pressões. O volume de água na saturação corresponde ao volume total de poros expresso em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Volume de macroporos, meso e micro são obtidos após a aplicação sequencial dos potenciais mátricos 1 Kpa (para macroporos), 6 Kpa (para mesoporos) e 1500 Kpa (para microporos), em que a diferença de volume no potencial de referência foi dividido pelo volume total do anel volumétrico obtendo-se o volume de poros conforme o potencial de referência.

A classificação adotada para os diâmetros dos poros nesse estudo segue Prevedello (1996).

3.4.3 Densidade

As densidades dos solos (D_s) foram determinadas pelo método do anel volumétrico, apresentado por Grossman e Reinsch (2002). O método consiste em dividir a massa de solo seco em estufa (M_s) a 105 °C por 24 horas pelo volume dos sólidos contido no anel (V_s).

No método, o volume de sólidos é assumido como volume do anel ($V_{\text{anel}} = \pi r^2 h$). Conforme a equação (1):

$$D_s = \frac{M_s}{V_s} \quad (1)$$

3.4.4 Resistência Mecânica à Penetração de Raízes

Os ensaios de RP foram realizados nas amostras contidas nos anéis volumétricos, submetidas às seguintes tensões de água no solo: 1; 6; 10; 33; 80; 300 e 1500 kPa.

Após equilíbrio de cada pressão aplicada e respectivos pesos, sendo cada conjunto anel-amostra levado ao penetrômetro de bancada composto por um atuador linear elétrico com motor de passo, um painel para controle da velocidade (1 mm s^{-1}), uma base metálica para sustentação do conjunto mecânico e da amostra durante o teste, e uma célula de carga com capacidade nominal de 20 kg, contendo na sua extremidade inferior uma haste com agulha de 4 mm de diâmetro de cone.

Os modelos determinados para IHO e CCRAS nesse estudo foram realizados com os softwares Excel e R, Core Team, (2016), a partir do pacote soilphysics (LIMA et al., 2016).

3.5 ANÁLISES FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO

Nessa seção serão apresentadas as análises físico-hídricas do solo.

3.5.1 Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS)

Com as amostras de solo contidas nos anéis volumétricos foram construídas as CCRAS, pelo uso da mesa de tensão (1,6 e 10 kPa), conforme Oliveira (1968); e câmaras de Richards (33, 80, 300, 1500 kPa), conforme metodologia sugerida em Dane e Hopmans (2002).

A curva característica de retenção de água no solo (CCRAS) foi usada para obtenção de umidades nas tensões estudadas e seus valores utilizados para quantificar a distribuição dos macro, meso, microporos.

A cada pressão estabelecida equilibrada, as amostras foram pesadas, levadas à estufa (105°C , 24 h) e a umidade volumétrica calculada pela equação (2).

$$\theta_{(\%)} = \frac{\left(\frac{\text{massa de água equilibrada à determinada tensão ou pressão}}{\text{Densidade da água}} \right)}{\text{volume total do solo}} \times 100 \quad (2)$$

Os resultados obtidos a partir da CCRAS foram ajustados equação (2), proposta por Van Genuchten (1980).

$$\theta_v = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \Psi)^n]^m} \quad (3)$$

onde: θ_v é a umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); θ_r é a umidade volumétrica residual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); θ_s é a umidade volumétrica de saturação ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); α expressa o parâmetro inversamente proporcional ao diâmetro médio dos poros (cm^{-1}); Ψ é o potencial mátrico aplicado ou a tensão que a água está retirada no solo; n e m são parâmetros empíricos da equação. Para calcular o valor de m , utilizou-se a expressão $m = 1 - 1/n$, para $n > 1$, restrição de Muallén, conforme sugere Van Genuchten (1980).

3.5.2 Intervalo Hídrico Ótimo

A determinação do Intervalo Hídrico Ótimo seguiu os processos propostos por Silva et al. (1994), e as contribuições posteriores de Leão et al. (2004, 2005) e Lima et al. (2016).

Silva et al. (1994) adicionou a variável ρ à função proposta por Ross et al. (1991), segundo Leão et al. (2004; 2005), buscando evidenciar o quanto a densidade interfere na conservação da água no solo.

$$\theta = \exp(a + b * \rho) h^c \quad (4)$$

Em que: θ é a umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) no solo; ρ é a densidade (g cm^{-3}) do solo; h é o potencial mátrico (cm); e a, b, c são parâmetros de ajuste do modelo.

O ajuste da curva resistência do solo a penetração de raízes RP foi realizado em função da umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e a Densidade (g cm^{-3}) pelo modelo não linear Busscher (1990), equação (5):

$$RP = b_0 \theta^{b_1} \rho^{b_2} \quad (5)$$

Em que PR é a resistência à penetração do solo (MPa), ρ é densidade do solo, θ é a umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e b_0, b_1 , e b_2 são parâmetros de ajuste do modelo.

A umidade ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) na capacidade de campo (θ_{CC}) e no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) foram obtidas pelas equações (6) e (7) em sequência.

$$\theta_{CC} = \exp(\alpha + b\rho) h_{CC}^c \quad (6)$$

$$\theta_{PMP} = \exp(\alpha + b\rho) h_{PMP}^c \quad (7)$$

onde: θ_{CC} é a umidade na capacidade de campo, θ_{PMP} é a umidade no ponto de murcha permanente volumétrica ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) no solo; ρ é a densidade (g cm^{-3}) do solo; h é o potencial mátrico (cm); e α , b , c são parâmetros de ajuste do modelo.

A umidade ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) no qual a RP atinge o valor crítico em MPa (θ_{PR}), que nesse estudo variou conforme o tratamento aplicado ao solo, foi definida com as equações RP (5) e (8).

$$\theta_{RP} = \left(\frac{RP}{b_0 \rho b_2} \right)^{\frac{1}{b_2}} \quad (8)$$

A umidade θ_{Ar} ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) em que o conteúdo de ar é $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (10%) foi calculada a partir da equação (9), em que ρ_p é densidade de partículas.

$$\theta_{Ar} = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_p} \right) - 0.1 \quad (9)$$

3.6 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO

Nessa seção será apresentada a condição do experimento em casa de vegetação.

3.6.1 Acondicionamento dos Solos nos Vasos e Calagem

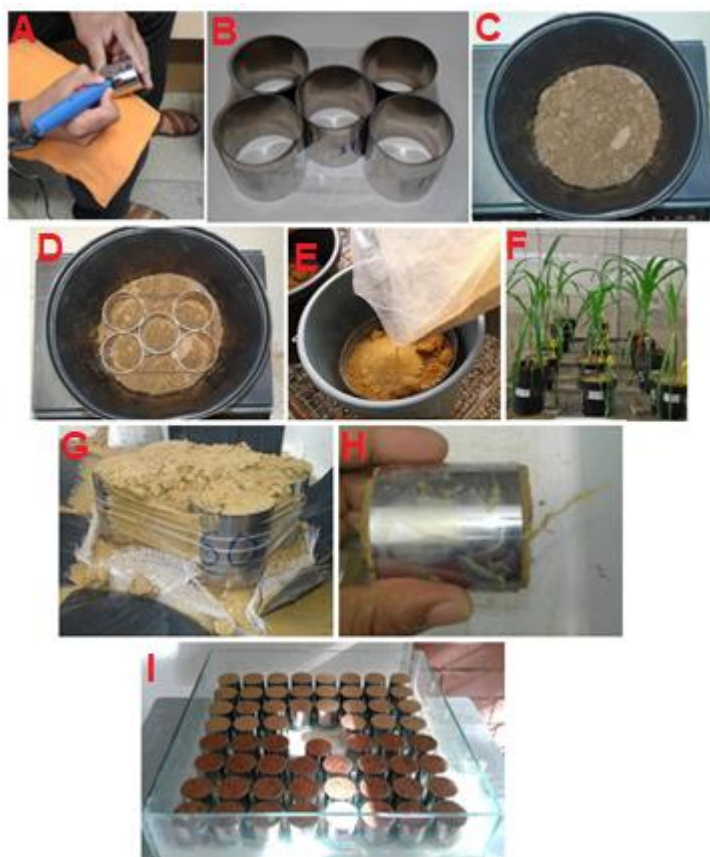
Os vasos, como unidades experimentais, tiveram a sua distribuição inteiramente ao acaso e com 5 tratamentos e 5 repetições por tratamento para cada solo estudado, somando 50 vasos.

Os solos já secos ao ar foram fracionados em porções de 6,4 kg de solo por vaso e acondicionados unitariamente da seguinte forma: os vasos foram numerados, forrados previamente com tela de nylon para evitar perda de solo pelos orifícios de drenagem, e adicionada uma primeira camada de solo (1,5 kg) e sobre ela acomodado um conjunto de 5 anéis volumétricos de aço com dimensões 50x50 mm unidos com fita adesiva transparente (pesados previamente) e só então inserida a segunda camada de solo (3,5 kg), totalizando 5,0 kg de solo sem peneiramento.

Para favorecer a emergência das plântulas, foi passado em peneira de 2 mm, 1,4 kg dos mesmos solos por vaso e adicionados nas superfícies deles, estabelecendo uma massa 6,4 kg de solo por vaso. Esta última camada de solo só foi adicionada ao vaso após 90 dias do envasamento das duas primeiras camadas de solo (30 dias antes da incorporação do calcário).

Na figura 2 (A a I), pode ser observado a sequencias parcial da montagem dos vasos.

Figura 2 – Montagem dos vasos e acomodação dos anéis volumétricos



A= Numeração dos anéis com gravador elétrico; B= Conjunto de cinco anéis fixados com fita para acondicionar nos vasos; C= Vaso + tela + uma camada de solo; D= Vaso+ tela + solo + conjunto de anéis; E= Vaso +tela + solo + anéis + acondicionado em balde com poliacrilamida; F= Vaso + tela + solo + anéis +poliacrilamida + cultivar de milho; G= anéis com solo coletado nos vasos após coleta das plantas de milho; H= Anel com solo coletado em vaso apresentando parte de extensão de raiz de milho; I= Anéis com solo coletados nos vasos distribuídos em mesa de tensão.

3.6.2 Calagem dos Solos Contidos nos Vasos

O calcário dolomítico (10 g) foi aplicado na superfície do solo e diariamente, por trinta dias, adicionou-se aos vasos 400 mL de água nos cinco primeiros dias e nos demais dias, 200 mL para forçar a passagem do calcário por todo o volume de solo contido nos vasos. Toda a água drenada e coletada foi reintroduzida aos vasos assegurando assim o melhor aproveitamento do calcário.

Após trinta dias, a adição de água foi cessada e o solo permaneceu em repouso por igual período.

3.6.3 Aplicação de Poliacrilamida (PAM) nos Solos Contidos nos Vasos

Quando os solos envasados ficaram com a superfície firmemente enrijecidas, os vasos foram saturados por capilaridade com os tratamentos (1- água/sem polímero, 2- 10 Kg/ha⁻¹, 3- 20 Kg/ha⁻¹, 4- 40 Kg/ha⁻¹ e 5- 100 Kg/ha⁻¹ de PAM adicionada em água) na quantidade referente à capacidade de pote 2,481 L para o solo ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrupto e 3,114 L para o solo LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso, definida conforme Kämpf (2006).

Após a saturação por capilaridade, a quantidade de água referente aos tratamentos que permaneceram nos baldes, foi adicionada aos vasos com solo pela superfície, dessa forma garantindo que todo o polímero diluído em água estabelecida para cada tratamento percorresse a massa de solo envasada.

3.6.4 Adubação, Plantio, Irrigação e Desbaste

Concluída a incorporação da poliacrilamida e com os solos saturados, foi realizada a adubação (Superfosfato de amônia 3g, Superfosfato simples 8g, Cloreto de Potássio 3g) em todos os vasos e no dia seguinte o plantio de 5 sementes por vaso em forma de cruz do cultivar de milho BRS GORUTUBA/EMBRAPA.

A irrigação foi realizada considerando a diferença de massa em relação à capacidade de pote 100%, 85% e 80%. Todos os vasos estavam saturados e seus pesos individuais foram aferidos diariamente, monitorados e mantidos na capacidade de pote estabelecida.

No terceiro dia, após o plantio, iniciou-se a germinação (urgência das plântulas); no quinto dia havia germinação em todos os vasos do experimento.

Onze dias após a emergência das plântulas, foi efetuado o primeiro desbaste, extraindo duas plantas por vaso, quando todas as plantas apresentavam duas folhas plenamente expandidas. Ficaram inicialmente 3 plantas (quando a germinação permitiu) em cada vaso, como recomendado por Fageria (2000).

Até esse período foi mantida 100% da capacidade de pote e a partir daí iniciou-se a redução para 85% da capacidade de pote, mantida até o segundo desbaste, realizado 15 dias após a urgência, ficando apenas uma planta por vaso. Nesse momento, iniciou-se a adequação para 80% da capacidade de pote que se manteve até a conclusão do experimento. O crescimento das plantas foi acompanhado diariamente por 32 dias.

3.6.5 Biometria das Plantas

Nas plantas em casa de vegetação, a altura foi aferida pela distância vertical entre a superfície do solo e o ponto de inserção da última folha, utilizando-se trena graduada. O diâmetro do caule foi medido com paquímetro a 3 cm do solo; para aferir as massas seca e fresca da parte aérea, as plantas foram cortadas rente ao solo, pesada a massa fresca e acondicionadas em sacos de papel, identificadas e transferidas para estufa de circulação forçada a 65 °C até obtenção de massa constante.

Na obtenção da massa seca de raiz: as raízes foram lavadas secas a sombras por 24 horas e posteriormente colocadas em sacos de papel, identificadas e transferidas para estufa a 65°C até obtenção de massa constante.

Para determinar a área foliar, foram aferidas as medidas de comprimento (C) e maior largura (L) em todas as folhas das plantas de todas as repetições por tratamentos, sendo a área de cada folha estimada pela equação $0,75 \times C \times L$ (sendo L e C medidas em centímetro), como proposto por Francis et al. (1969).

Os vasos com os solos e raízes foram acondicionados unitariamente em uma bandeja plástica onde eles foram cortados em tiras descendentes (Figura 2 A e B).

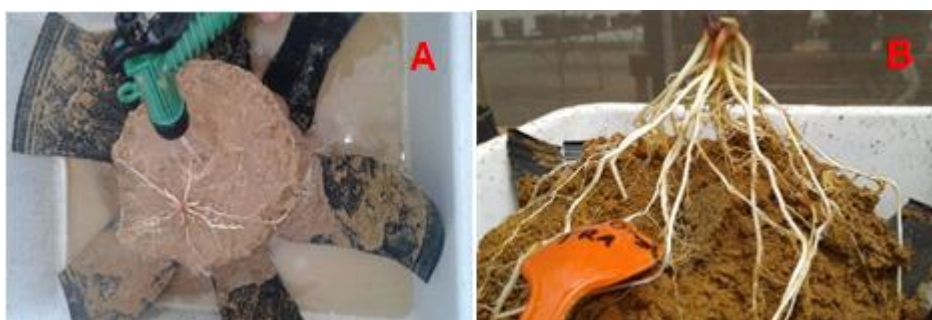
Figura 3 A e B - Coleta das raízes, retirada do bloco de solo do vaso



Fonte Arquivo do autor

O bloco de solo contido no vaso, foi assoreado por jato de água com o esguicho regulável (Figura 4 A e B) para mangueira de jardinagem uma adaptação de Böhn (1979).

Figura 4 A e B - Coleta das raízes, assoreamento do bloco de solo



Fonte: Arquivo do autor

As raízes desprendidas do solo foram coletadas em uma peneira, instalada na parte inferior da bandeja através de orifício no canto superior direito, sob uma bancada de madeira de 1m de largura, com espaçamento entre as tábuas de 12 cm, e tábua de 12,5 cm. A água do processo foi coletada em balde localizado sob a bancada.

As raízes retiradas do solo foram acondicionadas em uma bandeja branca, com as seguintes dimensões 37 x 27,5 x 10 cm (largura, comprimento e altura, respectivamente), com lâmina de água suficiente para submergir as raízes e reduzir a formação de sombras no momento da fotografia.

As raízes foram fotografadas com câmera de aparelho celular Galaxy Samsung modelo SM-J200BT. Foram realizadas uma série de até 10 fotos por raiz e escolhida a com melhor definição (Figura 5).

Figura 5 – Raiz fotografada para análise no software Safira



Fonte: Arquivo do autor

As imagens, antes de serem analisadas pelo Software livre Safira, desenvolvido pela EMBRAPA, (JORGE e RODRIGUES, 2008) com limiarização de 150 (parâmetro do programa), foram ajustadas (aprofundamento e ajuste da opacidade) com o software PhotoScape 3.7 (MOOII Tech, Seoul, Korea), um programa de edição de imagens gratuito para Windows.

As imagens das raízes tiveram as bordas clareadas com o programa a partir da opção *Paint Brush*, selecionada cor branca para destacar as bordas das imagens devido ao sombreamento natural resultante da fotografia produzida pela limitação de luminosidade.

Na sequência, as imagens das raízes que necessitaram de ajustes no brilho (aumento ou atenuação) e aprofundamento para melhorar a definição, utilizou-se a opção *Effect Brush*, (com contraste nº 20 e afina nº 5).

A etapa seguinte foi processar as imagens (Figura 5 A, B, C e D) para obtenção do número de fibras, área superficial da raiz e diâmetro ponderado da raiz no software Safira conforme descrito por Jorge e Rodrigues (2008).

Figura 6 A, B, C e D– Fotografia raiz análise no software Safira/Casa de Vegetação

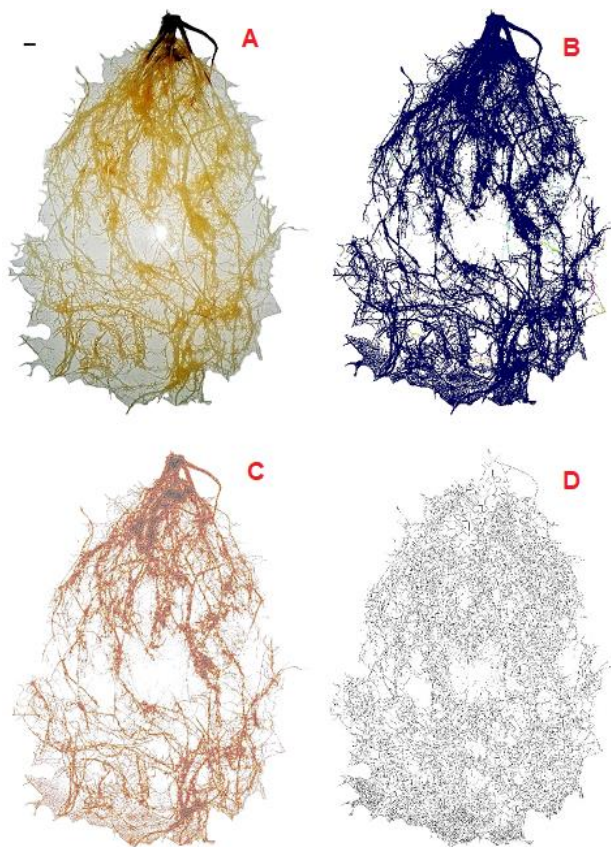


Foto: Arquivo do autor

A= imagem para processamento, B=Imagem transformada da distância, C=Esqueleto colorido, D= Esqueleto.

3.6.6 Densidade das Raízes

Para estimar a densidade específica (g m^{-3}) das raízes foi utilizada uma proveta graduada com um volume de água conhecido, onde foi mergulhada toda a estrutura de raízes coletadas e previamente pesadas. Foram medidos os volumes deslocados de água, segundo o princípio de Arquimedes.

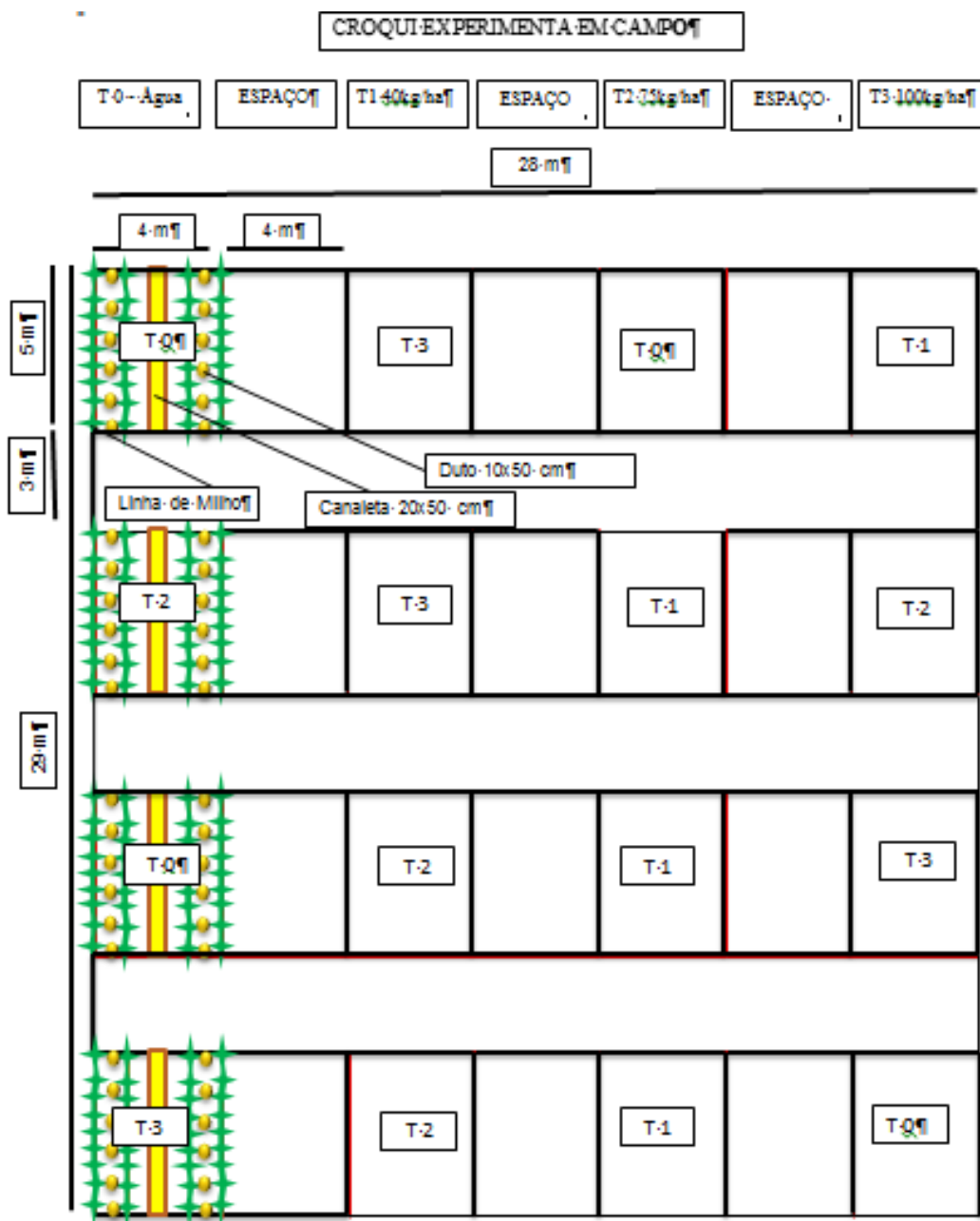
3.6.7 Análises Químicas da Planta

A quantificação de Fósforo (P), Nitrogênio (N), Potássio (K) e Sódio (Na) foram determinados segundo a metodologia proposta pela EMBRAPA (2011). O acúmulo dos macronutrientes foi obtido multiplicando-se o teor dos macronutrientes (g/kg) pelo peso da massa seca (g) em cada parte da planta.

3.7 EXPERIMENTO EM CAMPO

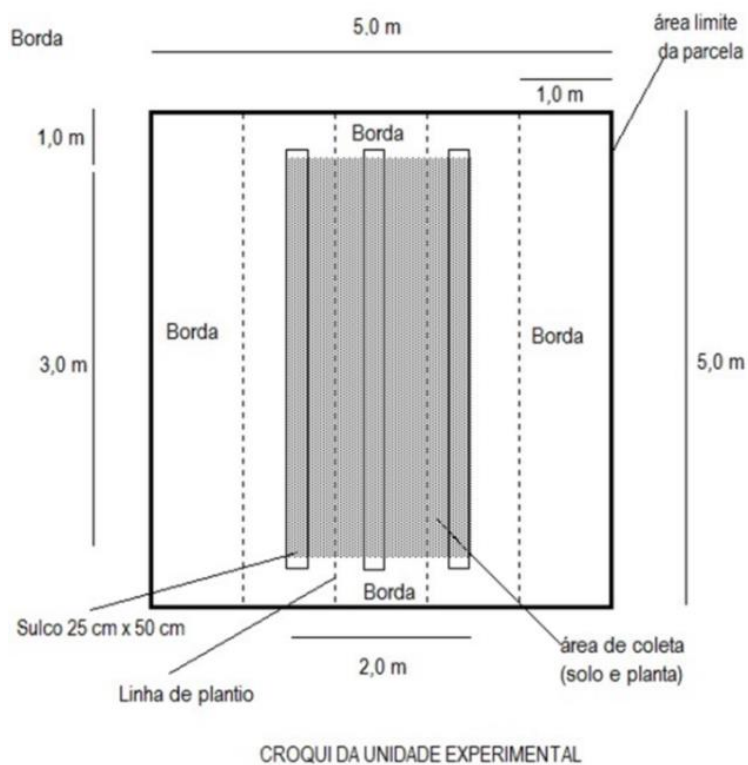
No campo, o experimento foi instalado em uma área de 812 m² na Estação Experimental de Itapirema em blocos inteiramente casualizados (Figura 7), a área teve como cultura anterior a cana-de-açúcar.

Figura 7 – Croqui do experimento instalado em campo



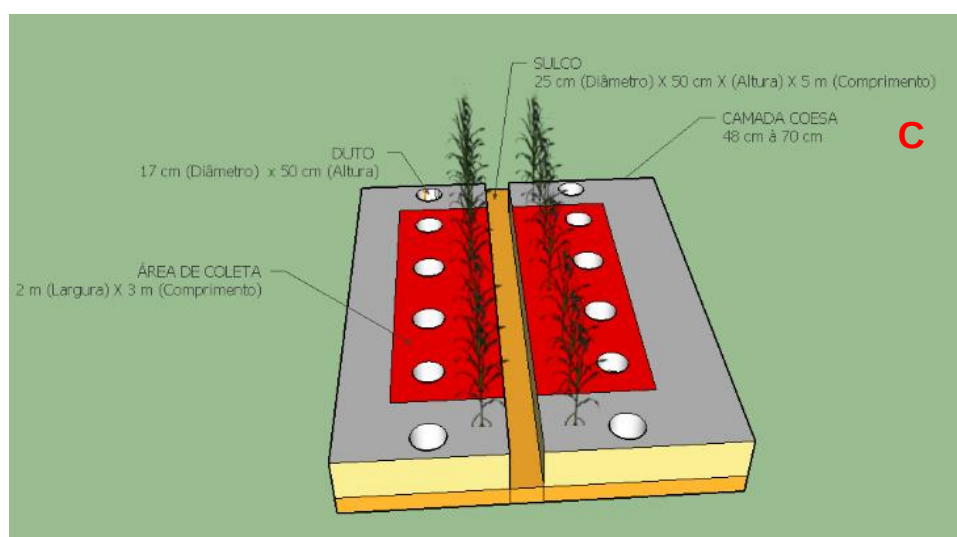
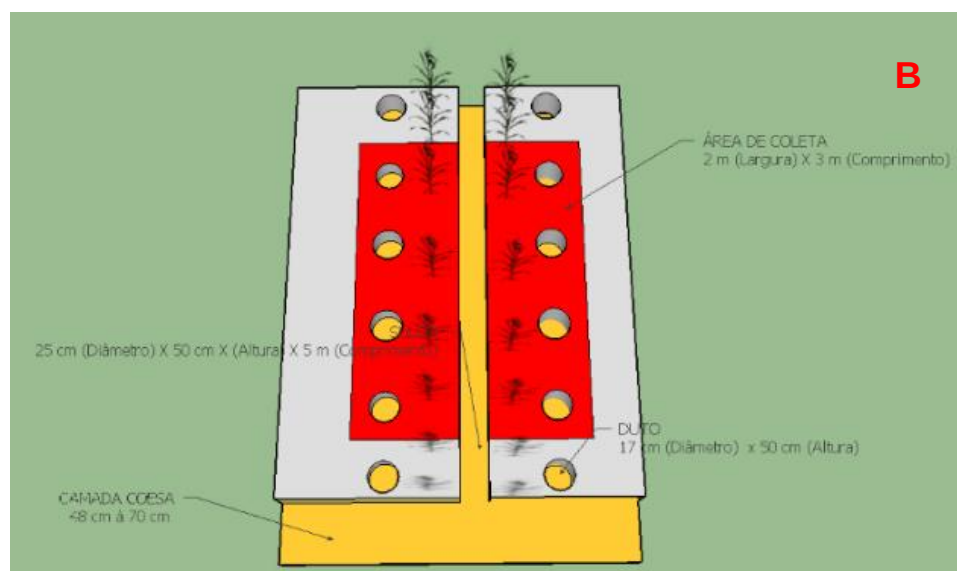
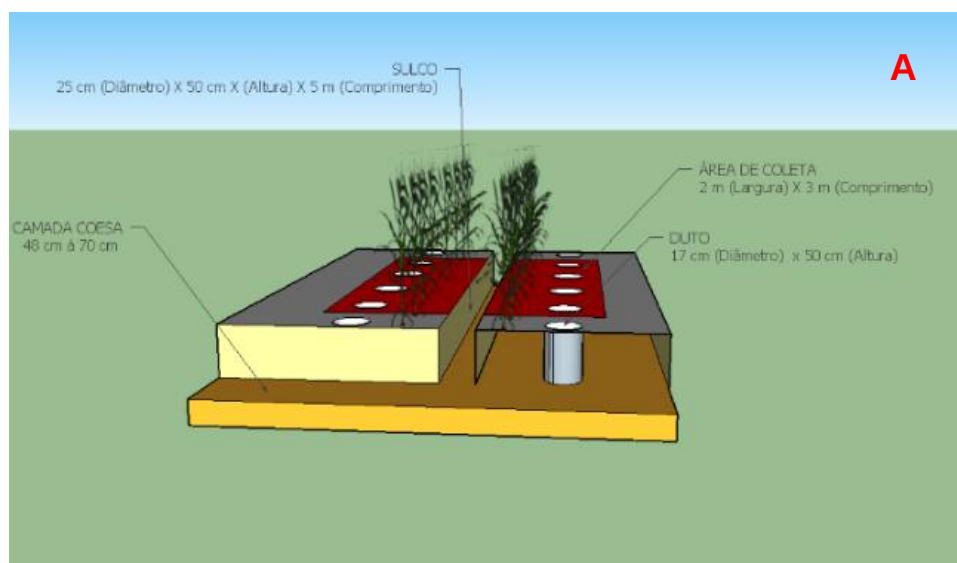
Cada unidade experimental foi formada por 4 fileiras de 3 metros de comprimento no espaçamento de 1 metro. A área da parcela foi de (4 filas x 3 m x 1) 12 m². A área útil foi delimitada nas 2 fileiras centrais, com 16 plantas por linha (Figura 7).

Figura 8 – Croqui unidade experimental (parcela) em campo



Em cada unidade experimental também foi construído um sulco (5 m-comprimento x 25 cm – diâmetro x 50 cm – altura) entre as linhas de cultura da área de coleta e doze dutos (seis por linha de cultura) com as dimensões 17 cm de diâmetro por 50 cm de profundidade, com a função de manter úmidas as linhas de plantio(Figura 9).

Figura 9 A, B e C- Croqui tridimensional da unidade (parcela) experimental em campo



Figuras: Arquivo do autor
A= Vista frontal, B=Vista superior, C=Perspectiva

Foram aplicados na área, 200 kg de calcário dolomítico trinta dias antes do plantio. A adubação realizada foi 30 g de superfosfato simples (fundação), e por cova com espaçamento 0,20 m foram plantadas 3 sementes, que no quarto dia após o plantio havia plântulas em todas as covas.

Aos 27 dias após o a emergência das plântulas foi realizado o desbaste, deixando uma planta por cova e aos 32 dias após a urgência foi realizada uma capina mais rigorosa e a segunda adubação com 200 g (666 kg.ha^{-1}) por linha de 20-00-20 (N P K).

3.7.1 Aplicação do Polímero

As doses de polímero aplicadas nas parcelas foram diluídas no volume de água estimado para a evapotranspiração (90 Litros) considerando as áreas destinadas por parcela.

Foram aplicadas três doses por tratamento em cada parcela, a primeira aplicação foi realizada 5 dias após emergência das plântulas, a segunda foi realizada 35 dias após a urgência e a terceira aplicação 60 dias após a urgência, sendo esta última realizada 30 dias antes da coleta da parte aérea e raízes das plantas.

As doses foram ajustadas conforme as dimensões das parcelas (Tabela 2)

Tabela 2. Descrição das doses de polímero aplicadas

Tratamento	Dose Polímero por Aplicação (kg ha^{-1})	Equivalência em (g)	Dose Total de polímero aplicada (kg ha^{-1})
1	0	0	0
2	40	80	120
3	75	150	225
4	100	200	300

Em cada parcela as doses foram diluídas em 90 litros de água e aplicadas na base das plantas, nos dutos e sulcos de cada parcela. Nos sulcos, o objetivo foi disponibilizar o polímero na superfície da camada coesa mantendo o perfil úmido entre linhas de cultura na parte central da parcela.

Nos dutos, o objetivo foi manter por maior tempo disponível as doses no perfil da parcela na parte posterior das duas linhas de interesse para coleta do experimento. Na base das plantas a aplicação foi para dispor de forma mais direta água para a raiz.

3.7.2 Biometria das Plantas do Experimento em Campo - Parte Aérea

A altura das plantas foi aferida com trena fixada em uma haste de alumínio, medindo seis plantas de cada repetição por tratamento, a quantificação de plantas na área útil em cada parcela e a biomassa da planta úmida e da planta seca para esse dado foram coletadas todas as plantas das linhas da área útil, pesadas e fracionadas 500g acondicionadas em saco de papel e postas para secar em estufa de circulação forçada a 65° C até atingir peso constante.

A área foliar do experimento em campo não foi aferida devido à ocorrência de ataque severo por lagarta em várias plantas o que poderia trazer uma estimativa fora da realidade do experimento. O ataque das lagartas também afetou os frutos em desenvolvimento, porém durante o acompanhamento da lavoura foi observado que haviam até três frutos por planta.

3.7.3 Coleta de Solo em Anéis no Experimento de Campo

O solo foi exclusivamente coletado nos sulcos centrais de cada parcela, local onde o solo coeso estava exposto e recebeu todos os tratamentos de forma direta, inclusive água das chuvas.

A coleta indeformada de solo foi realizada com amostrador tipo Uhland munido com anel volumétrico de aço nas dimensões 50 x 50 mm

Os anéis foram identificados por tratamento, envolvidos em plástico filme para manter a umidade no solo e acomodados em caixas plásticas para reduzir o risco de impacto.

Em laboratório, foram retirados excessos de solo das extremidades adicionados pano e liga, saturados e pesados e levados para as câmaras de Richard para a realização dos ensaios de porosidade, umidade, resistência mecânica à penetração de raiz.

3.7.4 Coleta da Raiz no Experimento de Campo

Para coletar as raízes, foi realizado um estreitamento das paredes do sulco central nas parcelas, dessa forma alargando o sulco e aproximando-se da base das plantas e expondo as raízes.

As raízes foram coletadas na parte central, considerando a profundidade entre 0 e 20 cm. Com um cilindro nas dimensões 49,79 mm altura x 79,48 mm diâmetro, raio de 39, 73 e volume de 247,04 cm³. O cilindro foi introduzido na base da planta (Figura 9) na profundidade citada acima, e o volume de solo extraído foi acondicionado em saco plástico,

foram três réplicas por tratamento. Sendo está uma adaptação do método do monólito apresentado por Böhn (1979).

Na figura 10 a seguir, pode ser observada uma vista parcial da coleta de raízes utilizando o cilindro.

Figura 10 – Coleta de raízes em campo com cilindro



Fonte: Arquivo do autor

O volume de solo foi peneirado e as raízes coletadas postas para secar em estufa de circulação forçada até atingir peso constante.

As raízes secas foram pesadas e escaneadas. As imagens resultantes foram utilizadas para avaliar a estrutura (Figura 11 A, B, C, D, E e F) das raízes com o software Safira.

Figura 11 A, B, C, D, E e F – Imagem raiz para análise no software Safira/campo

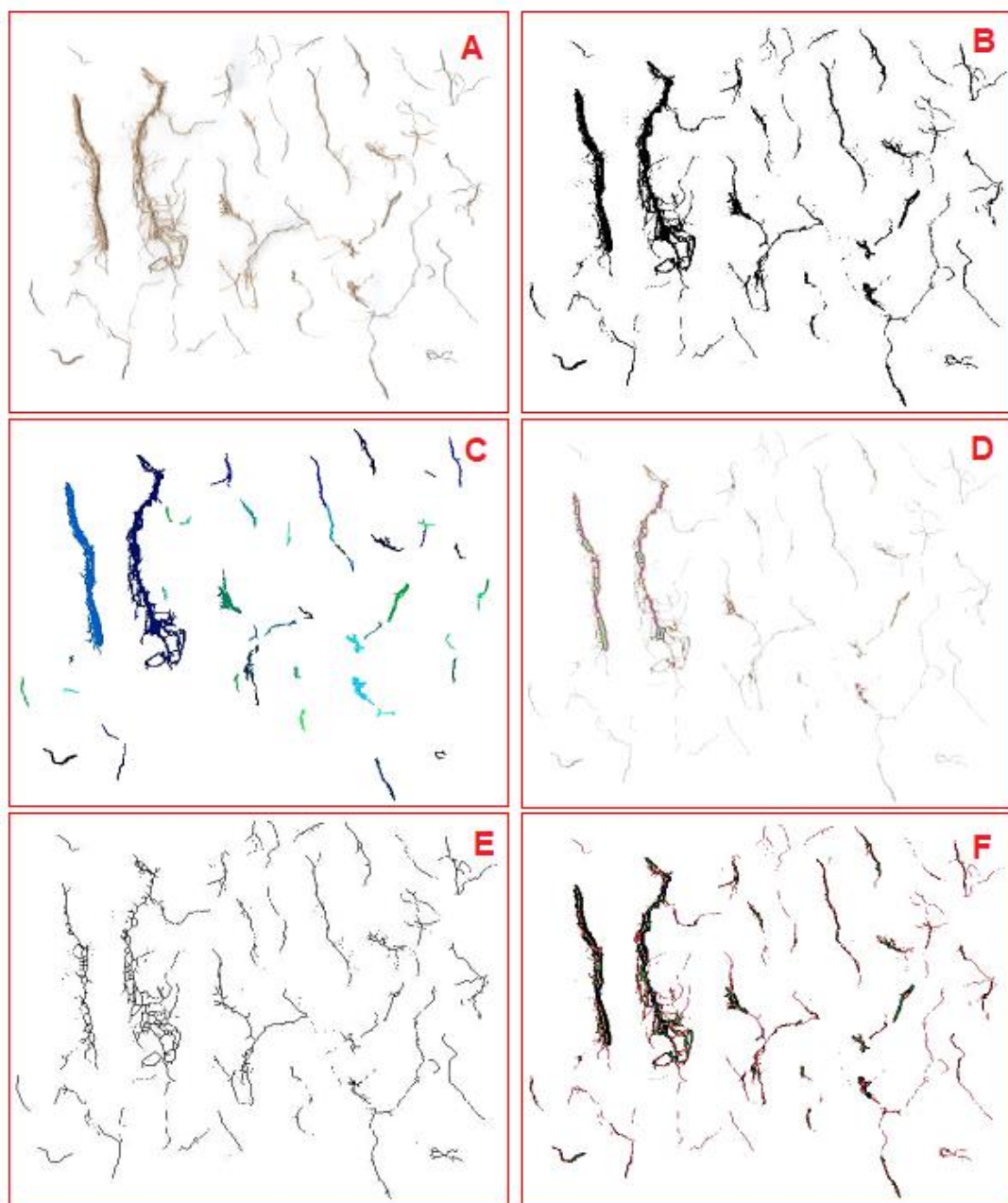


Foto: Arquivo do autor

A= Imagem escaneada ajustada, B=Imagem binarizada, C=Imagem rotulada, D= Imagem transformada de distância, E=Esqueleto e F= Esqueleto colorido.

3.7.5 Análise Estatística

Para todas as etapas da pesquisa (casa de vegetação, laboratório e campo), as médias dos parâmetros analisados foram submetidas a análise de variância (ANOVA) e para os efeitos dos tratamentos que apresentarem diferenças significativas foi aplicado o teste de regressão nesse avaliados os coeficientes ou parâmetros de regressão ao nível de 5% ($p < 0,05$) utilizado o software Sisvar®.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção serão apresentados os resultados e discussão da pesquisa.

4.1 COMPORTAMENTO FÍSICO DOS SOLOS COESOS MANEJADOS COM POLIACRILAMIDA E RESPOSTA FISIOLÓGICA E BIOMÉTRICA DO VEGETAL CULTIVADO EM AMBIENTE CONTROLADO

Neste capítulo a contribuição da poliacrilamida no ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrúptico e LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso são apresentados e discutidos.

4.1.1 Porosidade

Observando o efeito dos tratamentos (Figura 11 A e B) na distribuição percentual dos poros (Tabela 3) no solo com maior teor de argila a PAM reduziu significativamente a porosidade total a partir dos meso e microporos, indicando que as argilas constituintes dos agregados são mais sensíveis à adsorção da PAM.

Por ser um atributo muito importante na avaliação qualitativa e ambiental de solos, em especial os coesos, a quantificação da porosidade é relevante. Os solos coesos possuem os macroporos em baixa quantidade percentual e este atributo no ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrúptico (Tabela 3), a poliacrilamida ampliou em 30% com o tratamento 20 kg ha⁻¹. Enquanto nos mesoporos houve aumento de apenas 18,7% com o tratamento 100 kg ha⁻¹ de polímero. Estes valores promoveram apenas discretas oscilações na porosidade total.

Figura 12 A e B – Distribuição de poros, A - Solo de Itapirema / B-Solo de Trapiche

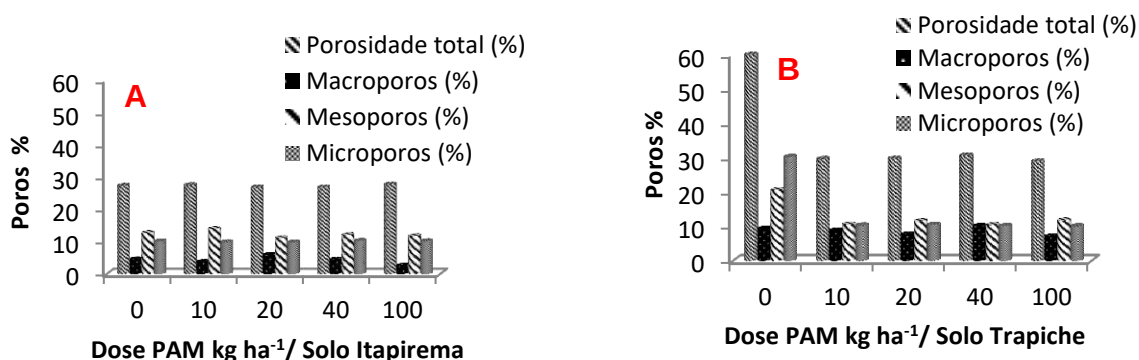


Tabela 3. Distribuição percentual de classes de poros tratamentos nos solos estudados

Polímero kg ha ⁻¹	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico (Itapirema-Goiana)			
	-----Poros %-----			
	Total	Macroporos	Mesoporos	Microporos
0	27	5	13	10
10	28	4	14	10
20	27	6	11	10
40	27	5	12	10
100	28	3	15	10

Polímero kg ha ⁻¹	LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso (Trapiche-Sirinhaém)			
	-----Poros %-----			
	Total	Macroporos	Mesoporos	Microporos
0	60	9	21	30
10	30	9	11	10
20	30	8	12	10
40	31	10	10	10
100	29	7	12	10

Isto porque a poliácridamida é adsorvida na superfície dos agregados. Estes têm em sua constituição areias quartzosas e ortoclásias (feldspato), que possuem seus grãos cobertos por argilas segundo Amaro Filho et al. (2008), os mesmos autores afirmaram que os agregados superficiais são formados pelos grãos de quartzo e argila dispersa, grupos de cristais de argila são formados e estes se ligam aos grãos de quartzo, formando assim os agregados. É importante afirmar que há também outros constituintes nos agregados como a matéria orgânica e a contribuição da atividade da microfauna edáfica.

A constituição dependendo do teor de argila pode trazer diferença nos resultados alcançados nas contribuições à estrutura física do solo manejado com poliácridamida, principalmente na distribuição de poros. Pois, os macroporos são importantes para drenagem e aeração, os mesoporos para a redistribuição de água que continua nos microporos mais lentamente garantindo disponibilidade de água para as plantas (PREVEDELLO, 1996).

No estudo, a microporosidade não sofreu alterações pela ação da PAM, sugerindo que as doses aplicadas nas condições do experimento não foram capazes de interferir nessa classe de poros.

Os mesoporos no ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico, foi a única classe de poros susceptível a uma discreta variação ascendente com o tratamento 100 kg h⁻¹ (Tabela3).

A grande maioria dos estudos realizados com PAM são efetuados em sistemas de irrigação por sulco como em McNeal et al., (2017), isso porque em princípio busca-se a redução da perda de solo e, por conseguinte de nutrientes. Esta ação é completamente ligada a distribuição dos poros, pois, solos com número de macro e mesoporos reduzidos como os coesão são mais vulneráveis a erosão.

Nos estudos de Vleeschauwer, et al., (1978) constataram que a PAM foi capaz de elevar a porosidade e a infiltração de água no solo, atribuindo os resultados a uma influência da ação da PAM nos agregados. Para Yakupoglu et al., (2019) a PAM é um método para controle de erosão no solo e facilita a infiltração da água interferindo na porosidade, mas esta contribuição depende do tamanho dos agregados.

Quando a PAM conseguiu ampliar a distribuição de poros, Khodadadi (2018), relatou a influência na germinação, aumento no teor de água disponível no solo, maior taxa de germinação, maior tempo de vida das plantas sob estresse hídrico e melhor resposta de fertilizantes aplicados com água e polímero. Conforme Prevedello (1996), no solo os poros são responsáveis pelo armazenamento, disponibilidade e transporte da solução e do ar.

A conservação do solo envolve meios de reduzir a erosão e restaurar a fertilidade do solo (MILLER; SPOOLMAN, 2015).

Nos solos estudados a aplicação da PAM, não apresentou mudanças significativas que possam indicar elevação do percentual de poros.

4.1.2 Resistência do Solo à Penetração Mecânica da Raiz - RP

A elevada resistência à penetração (>2 MPa) é um fator limitante ao desenvolvimento das raízes, trazendo sérias limitações para as plantas. São elevadas em solos coesos, em solos compactados e em avançado estado de degradação entre outros fatores.

O desempenho dos solos ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso e LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso podem ser observados nas figuras 13 A e B e Tabela - 4

No ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso, a partir da tensão 333 cca (2,5 log cca /Tabela 4), houve uma mudança, e os tratamentos com poliacrilamida passam a evidenciar a importância da PAM como retentora de água no solo e, por conseguinte redutora da resistência à penetração das raízes quando o solo passa a perder água em direção ao ponto de murcha permanente.

Dessa forma, a dose 100 kg.ha^{-1} , pela maior concentração da solução da PAM, retendo por maior tempo a água na camada superficial do solo percolando lentamente pelos poros do solo, reduziu a RP nas tensões mais elevadas quando comparada aos demais tratamentos, conforme evidenciada na figura 13 A.

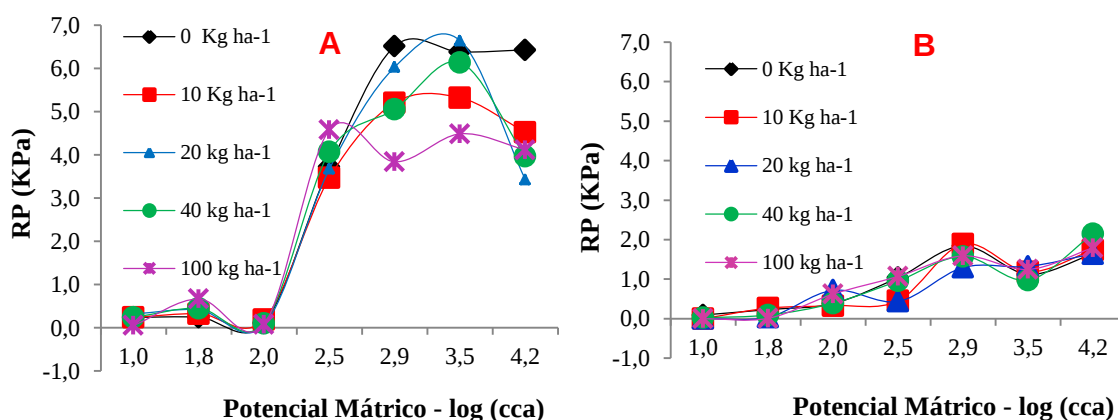
Para a RP do LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso oriundo de Trapiche, os valores foram baixos, possivelmente pelos teores de argila e matéria orgânica presentes no solo, revelando que na tensão 333 cca, limite da faixa úmida da capacidade de campo (CC) para

solos argilosos, a poliacrilamida reduziu a RP do solo na dose para LATOSSOLO AMARELO notadamente 20 kg.h^{-1} , pois dispõe de mais água retida nos poros (Figura 13 B e Tabela – 4)

Lira et al., (2016) constataram que a RP foi o parâmetro físico-hídrico sensível em diferenciar o comportamento hídrico dos coesos sob diferentes manejos estudados. Nos estudos de Sojka e Surapaneni (2000); Lu et al., (2002) e Ajwa e Trout (2006), os solos tratados com PAM apresentam maior RP inicialmente, mas, o uso contínuo promoveu maior estruturação do solo, reduzindo a sua RP. No entanto, há de se considerar a dose de poliacrilamida e a granulometria do solo manejado. Isso porque, a água possui estrutura e propriedades bem peculiares como a polaridade, ligações de hidrogênio, coesão, adesão e tensão superficial (BRADY; WEIL, 2013), que são potencializadas pela poliacrilamida. A adsorção da PAM aproxima as partículas, agregando-as em estruturas mais estáveis ou reduzindo os espaços entre elas, diminuindo os macroporos (espaços inter-agregados), promovendo maior resistência do solo à penetração das raízes (MILLER et al., 1998). No entanto, a quantidade de argila, matéria orgânica entre outros componentes do solo mais a continuidade do manejo com a PAM contribui para a redução da resistência mecânica a penetração da raiz.

Na figura 13 A e B estão as representações gráficas para as RP observadas e na Tabela 4 estão lançados os valores médios observados das RP para os respectivos solos nos potenciais mátricos estudados.

Figura 13. Desempenho da Resistência à Penetração Mecânica da Raiz nos solos manejados com poliacrilamida



A - ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso-Itapirema / B- LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso -Trapiche / RP: Resistencia Mecânica à Penetração da Raiz.

Tabela 4 Valores da RP/Potencial Mátrico e Dose de Poliacrilamida

Solo	Potencial Mátrico		Dose de Polímero				
	cca	log	0 Kg ha ⁻¹	10 Kg ha ⁻¹	20 kg ha ⁻¹	40 kg ha ⁻¹	100kg ha ⁻¹
ARGISSOLOA MARELO Distrocoeso abruptico	10	1,0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1
	60	1,8	0,2	0,3	0,4	0,4	0,7
	100	2,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
	333	2,5	3,7	3,5	3,7	4,1	4,6
	8000	2,9	6,5	5,2	6,0	5,1	3,8
	3.000	3,5	6,4	5,3	6,6	6,1	4,5
	15.000	4,2	6,4	4,5	3,4	4,0	4,1
LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso	10	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	60	1,8	0,2	0,3	0,0	0,1	0,0
	100	2,0	0,4	0,3	0,7	0,4	0,6
	333	2,5	1,0	0,5	0,4	1,0	1,1
	8000	2,9	1,8	1,9	1,3	1,6	1,6
	3.000	3,5	1,1	1,2	1,3	1,0	1,2
	15.000	4,2	1,6	1,7	1,6	2,1	1,8

cca: Centímetro de coluna de água, log: Logaritmo, RP: resistência a penetração, Kpa: Quilo Pascal, Kg.ha⁻¹: Quilo por hectare

4.1.3 Intervalo Hídrico Ótimo – IHO

Na construção do IHO para o ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico foram considerados os parâmetros estimados (a, b, c, b_0, b_1 e b_2) pelas equações da regressão para o modelo conforme apresentados na Tabela 5.

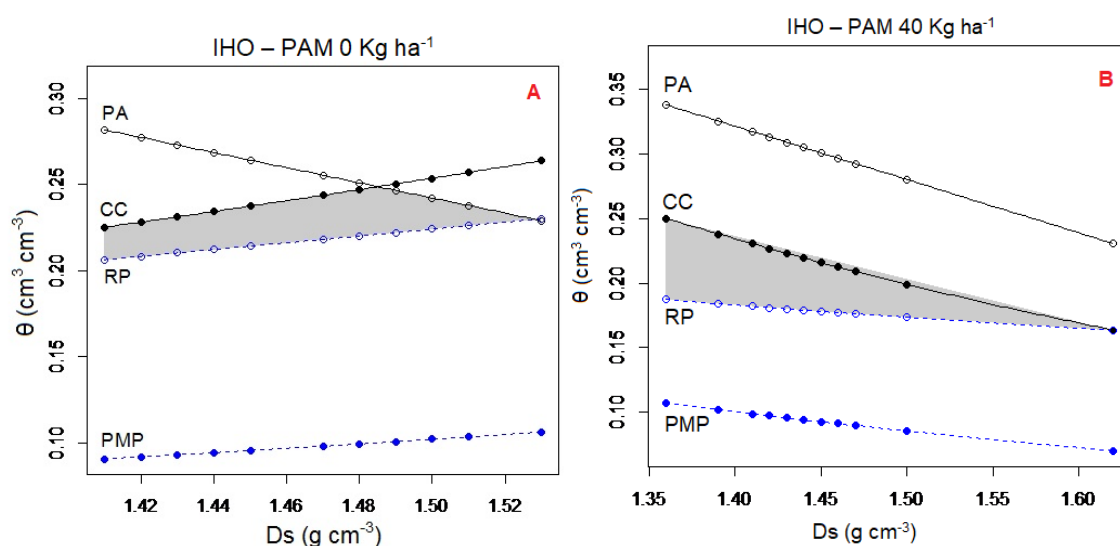
Tabela.5 Parâmetros de ajuste para RP e Ds das equações da regressão / Solo Itapirema

Tratamento	Umidade (θ)	Parâmetros estimados modelo		RP	Valor do IHO
		RP	Umidade (θ)		
Tratamento PAM 0 Kg.ha ⁻¹	a -2,51565	b_0 0,001153	a 0,50354	b_0 0,005142	0,01811175
	b -1,31947	b_1 -3530176	b -0,16916	b_1 -3,682267	
	C - 0,18147	b_2 4,711434			
		R^2			
	0,854049	0,8744991	0,869488	0,8163187	
	Umidade (θ)PA	Umidade (θ)RP	Umidade (θ)CC	Umidade (θ) PMP	
	0,24240526	0,21293978	0,23105153	0,09899008	
Tratamento PAM 40 Kg.ha ⁻¹		Parâmetros estimados modelo		RP	Valor do IHO
	Umidade (θ)	RP	Umidade (θ)		
	a 1,61393	b_0 0,02929	a 0,40956	b_0 0,01238	0,03606564
	b -1,633079	b_1 -2,97517	b -0,13888	b_1 -2,99376	
	C - 0,16917	b_2 -2,31759			
		R^2			
	0,7959166	0,7611247	0,7217064	0,7493219	
	Umidade (θ)PA	Umidade (θ)RP	Umidade (θ)CC	Umidade (θ) PMP	
	0,2801653	0,1799856	0,2160513	0,1077302	

PA=Porosidade de aeração; CC=Capacidade de campo; RP=Resistência mecânica à penetração de raízes; PMP=Ponto de murcha permanente; IHO=Intervalo hídrico ótimo; θ =Umidade volumétrica; Ds=Densidade do solo. A=Tratamento com água; B=Tratamento 10 Kg ha⁻¹

Avaliando a densidade crítica do ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico nos diagramas resultantes para o IHO deste solo, observou-se que houve melhor desempenho com a dose 40 Kg.ha⁻¹. O solo sem a PAM que estava com seu limite superior exercido pela Porosidade de Aeração (PA) e Capacidade de Campo (Figura 13 A), passa com o tratamento 40 Kg.ha⁻¹ ter o seu limite superior exercido exclusivamente pela Capacidade de Campo (CC) como registrado na figura 13 B.

Figura. 14 A e B. Diagramas de desempenho do Intervalo Hídrico Ótimo para o ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico



PA=Porosidade de aeração; CC=Capacidade de campo; RP=Resistência mecânica à penetração de raízes; PMP=Ponto de murcha permanente; IHO=Intervalo hídrico ótimo; θ =Umidade volumétrica; D_s =Densidade do solo. A=Tratamento sem polímero; B=Tratamento 40 kg ha⁻¹

A porosidade de aeração como limitante superior nos IHO revela que em determinado momento o solo passa a reduzir sua disponibilidade de oxigênio devido à coesão pelo percentual baixo de macro e mesoporos ou mesmo pelo excesso de disponibilidade de água, promovendo assim, condição de anóxia para o ambiente radicular. Estabelecida a condição de anóxia, conforme Primavesi (2016), acarreta à planta deficiência no desenvolvimento da parte área, menor absorção dos macronutrientes e menor produção de hormônios de crescimento entre outras limitações.

No IHO para o ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico o tratamento 40 kg.ha⁻¹ foi o melhor para a condição da planta e aceitação do solo estudado, pois dispõe água sem o risco de limitação pela porosidade de aeração, ou seja, sem o preenchimento total dos poros, dessa forma, reduzindo o risco de anóxia por saturação dos espaços vazios do solo. Esta condição traz enorme prejuízo ao desenvolvimento da planta inclusive na produção (PRIMAVESI, 1988). Estas alterações na disponibilidade de poros vazios podem ter sua

resposta na modificação da estrutura dos poros causada pelo manejo (KLEIN et al., 2008). Nesse caso, o solo manejado com poliacrilamida.

A porosidade de aeração considerada neste estudo é 10%, no entanto o estudo de Mohammedi et al., (2010) sugere que esse valor convencional pode variar se considerado o tipo de solo, sua fauna edáfica, temperatura e a cultura.

O solo sob ação dos 40 kg.ha⁻¹ da PAM ampliou também a faixa úmida, ou seja, disponibilizou em equilíbrio mais água às plantas. No entanto, o limite inferior permaneceu exercido pela Resistência à Penetração (RP), situação característica de solos degradados.

Assim, a PAM não reduziu a condição de degradação do solo, mas ampliou sua densidade crítica (DSc), onde o IHO é igual a zero. Estabelecer limitantes de propriedades físicas do solo é complexo por envolver a necessidade de integrar variáveis relacionadas com o solo, clima e a planta, conforme Tormena et al., (1998).

Para o LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso coletado na Usina Trapiche, os parâmetros estimados pelas equações da regressão para o modelo estão na Tabela 6, observa-se que houve redução do valor do IHO, comparando o tratamento sem a presença da PAM e com o tratamento 20 kg.ha⁻¹ da PAM.

Tabela.6 Parâmetros de ajuste para RP e Ds das equações da regressão / Solo Trapiche

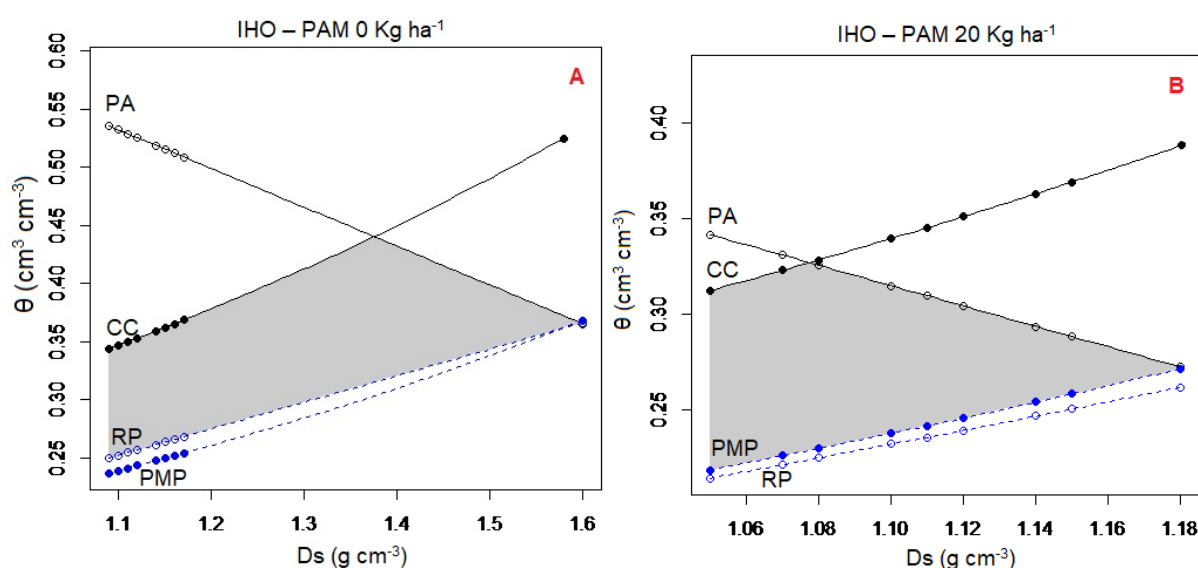
		Parâmetros estimados modelo				Valor do IHO
		Umidade (θ)	RP	Umidade (θ)	RP	
Tratamento	PAM 0 kg.ha ⁻¹	<i>a</i> -1,669142	<i>b</i> ₀ 0,0000976	<i>a</i> 0,48746	<i>b</i> ₀ 0,003059	0,1009039
		<i>b</i> 0,865886	<i>b</i> ₁ -7,0096280	<i>b</i> -0,06554	<i>b</i> ₁ -4,894202	
		<i>C</i> -0,074410	<i>b</i> ₂ 6,9973191			
			R ²			
		0,8032056	0,8475181	0,5808409	0,6707689	
		Umidade (θ)PA	Umidade (θ)RP	Umidade (θ)CC	Umidade (θ) PMP	
		0,3983278	0,2449346	0,3604555	0,2595516	
Tratamento	PAM 20 kg.ha ⁻¹	Umidade (θ)	RP	Umidade (θ)	RP	Valor do IHO
		<i>a</i> -2,585685	<i>b</i> ₀ 0,002382	<i>a</i> 0,46984	<i>b</i> ₀ 0,003272	
		<i>b</i> 1,666554	<i>b</i> ₁ -4,146486	<i>b</i> -0,06704	<i>b</i> ₁ -4,513510	
		<i>C</i> -0,071168	<i>b</i> ₂ 7,105943			
			R ²			
		0,854049	0,5611278	0,6924259	0,4904973	
		Umidade (θ)PA	Umidade (θ)RP	Umidade (θ)CC	Umidade (θ) PMP	
		0,3148936	0,2413772	0,3450351	0,2465870	

PA=Porosidade de aeração; CC=Capacidade de campo; RP=Resistência mecânica à penetração de raízes; PMP=Ponto de murcha permanente; IHO=Intervalo hídrico ótimo; θ =Umidade volumétrica; Ds=Densidade do solo. A=Tratamento com água; B=Tratamento 20 kg.ha⁻¹

Quando observados os diagramas do IHO para o LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso, que embora possua outras características, mas, em comum o caráter coeso, a

ação da PAM promoveu a alteração do limite inferior com o tratamento 20 kg.ha^{-1} . No tratamento sem a PAM, o limite inferior é dado pela RP, (Figura 14 A) e como o tratamento 20 kg.ha^{-1} da PAM (Figura, 14 B) este limite passou a ser exercido pelo PMP. Dessa forma confirmando o IHO como boa ferramenta para avaliação do solo coeso com menor teor de argila. No entanto com futuros ajustes, poderá ser mais bem correlacionado com o desenvolvimento vegetal. Mas, Gubiane et al., (2013) observaram correlação entre oito cultivos de milho por uma função linear explicando 17% na variação da altura das plantas.

Figura.15. Diagramas de desempenho do Intervalo Hídrico Ótimo para o ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrupático



PA=Porosidade de aeração; CC=Capacidade de campo; RP=Resistência mecânica à penetração de raízes; PMP=Ponto de murcha permanente; IHO=Intervalo hídrico ótimo; θ=Umidade volumétrica; Ds=Densidade do solo. A=Tratamento sem PAM; B=Tratamento 20 kg.ha^{-1}

Neste estudo, para o solo com maior conteúdo de argila de Trapiche esse parâmetro biométrico vegetal obteve seu melhor desempenho no melhor resultado para o IHO.

O IHO também mostrou os resultados positivos da PAM integrada ao manejo, sendo este condicionador importante no esforço de redução da condição degradada do solo.

Os valores de referência (críticos) para densidade de partícula (Dp) e resistência do solo à penetração de raízes (RP) (tabela. 5) foram ajustadas conforme o tratamento aplicado (dose de polímero), fato justificado pela variação dos valores de umidade nas tensões específicas influenciando os parâmetros Dp e RP a partir dos tratamentos aplicados. Sendo o IHO uma ferramenta nova e que necessita ser calibrada conforme as características específicas dos solos e suas capacidades de reter água, conforme sugere Pilatti et al. (2012).

4.1.4 Desempenho do Milho como Biomarcador em Solos Coesos Manejados com Poliacrilamida

Nessa seção serão apresentados os resultados para o desempenho do milho como biomarcador em solos coesos manejados com poliacrilamida.

4.1.4.1 Parte Aérea Da Planta

Os solos estudados embora distintos, têm o caráter coeso como principal característica, quando cultivados em ambiente controlado sob ação da poliacrilamida (PAM) obtiveram ganhos na altura da planta, no diâmetro do caule, na área foliar e na massa seca da parte aérea da planta conforme apresentado na figura 15 A a H.

O parâmetro altura da planta para as cultivadas no ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrupático (Itapirema) obteve o maior desempenho observado com o tratamento 100 kg.ha^{-1} de poliacrilamida, com ganho observado de 37,33% em relação às plantas cultivadas sem polímero (Figura 15 A). A taxa de crescimento estimada foi de 0,41% para cada Kg de polímero aplicado dentro do limite da dose máxima utilizada

Quando avaliado o diâmetro do caule para as plantas cultivadas no mesmo solo (Figura 15 C), a dose observada que promoveu maior aumento desse parâmetro foi 40 kg.ha^{-1} , correspondendo a 9,49% de ganho em diâmetro para a cultura sem polímero. A dose máxima de polímero estimada foi $64,8 \text{ kg/ha}^{-1}$ com diâmetro máximo de 7,96 mm.

A área foliar, para as plantas cultivadas nas mesmas condições no solo de Itapirema, resultou em taxa de crescimento de 1,10% para cada quilo de polímero acrescentado no solo. O mesmo indicador biométrico observado, resulta com o tratamento 100 Kg.ha^{-1} ganho de 87,09% quando comparado com a média das plantas sem polímero (Figura 15 E).

Para as plantas cultivadas com a PAM, foi observado resultado de 323% (20 kg.ha^{-1}) de massa seca da parte aérea quando comparadas ao tratamento sem a PAM (Figura 15 G). É um ganho altamente significativo de biomassa no solo de Itapirema. Quando aferido o valor estimado, a maior massa alcançada foi 4,66 g com dose de $80,5 \text{ kg.ha}^{-1}$ de polímero.

Com as mesmas condições de manejo, o LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso (Usina Trapiche) apresentou para os mesmos parâmetros biométricos no cultivar de milho, os melhores resultados destacados para o tratamento 20 Kg.ha^{-1} .

Os resultados correlacionam-se com a melhor condição estabelecida pelo IHO em relação às doses observadas, fortalecendo o argumento de que a disponibilidade de água em condições adequadas, influencia positivamente para o melhor desenvolvimento da planta.

Nas plantas cultivadas no LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso, com os resultados observados, permitiu-se estimar a dose máxima de poliacrilamida em $50,6 \text{ Kg.ha}^{-1}$ obtendo-se maior altura de 36,35 cm (Figura 15 B). As plantas neste solo obtiveram o maior resultado para o diâmetro do caule com a dose 20 Kg.ha^{-1} , e dele estimou-se o diâmetro do caule em 8,29 mm, com a maior dose estimada de $32,5 \text{ kg.ha}^{-1}$ (Figura 15 AD).

As mesmas plantas cultivadas nesse LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso apresentaram para a área foliar (Figura 15 F), resultado quadrático com a produção máxima de $809,31 \text{ cm}^2$ e melhor dose estimada de $53,4 \text{ Kg.ha}^{-1}$, com 87,62% de ganho de área foliar em relação ao tratamento sem polímero. A massa da parte aérea (Figura 15 H) da planta apresentou comportamento cúbico com sua dose máxima estimada $20,7 \text{ kg.ha}^{-1}$ com produção de 5,46 g e para a menor produção a dose $75,3 \text{ kg.ha}^{-1}$ de PAM e produção de 1,37 g de massa da parte aérea da planta.

A dose observada que promoveu o maior ganho de massa foi 20 kg.ha^{-1} com 6,0 g correspondendo a 71,4% em relação ao tratamento sem adição da PAM.

Os resultados da biometria da planta para ambos os solos coesos podem estar diretamente ligados aos ganhos no acúmulo dos macronutrientes, especialmente o potássio, conforme doses de poliacrilamida que será evidenciado adiante. Para essa afirmação, corrobora o estudo de Prado e Vidal (2008), que observam na cultura do milho sem adição de potássio elevada redução na altura da planta, número de folhas, área foliar e diâmetro do caule.

A área foliar das plantas cultivadas no solo coeso de Itapirema teve os resultados mais expressivos. Conforme Lucchesi (1984), a área foliar propicia a eficiência das folhas da planta na captação de energia solar, na produção de matéria orgânica e influência sobre o crescimento e desenvolvimento da planta.

Embora a produtividade não seja o objeto deste estudo, e sim as contribuições da PAM para a redução da coesão e melhoria das propriedades físicas do solo coeso, é importante destacar o estudo de McNeal et al. (2017), que aplicou poliacrilamida em cultura de milho irrigado por sulco e aumentou o rendimento de grãos em 7%. Lentz e Sojka (2009) também obtiveram com PAM ganho de 4,5% na produção de grãos de milho. Os mesmos autores indicam que este ganho está relacionado com a maior infiltração de água no solo e maior disponibilidade dos macronutrientes P (Fósforo) e K (Potássio).

Há de se fazer um destaque para o solo de Trapiche (LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso) por apresentar teores mais elevados de silte, argila, matéria orgânica, carbono orgânico e condutividade elétrica (Tabela 7), em relação ao solo de Itapirema. Estas diferenças certamente influenciaram na forma com que o polímero interagiu com as partículas do solo.

Tabela 7 - Valores de Granulometria, MO, CO e CE para os solos estudados

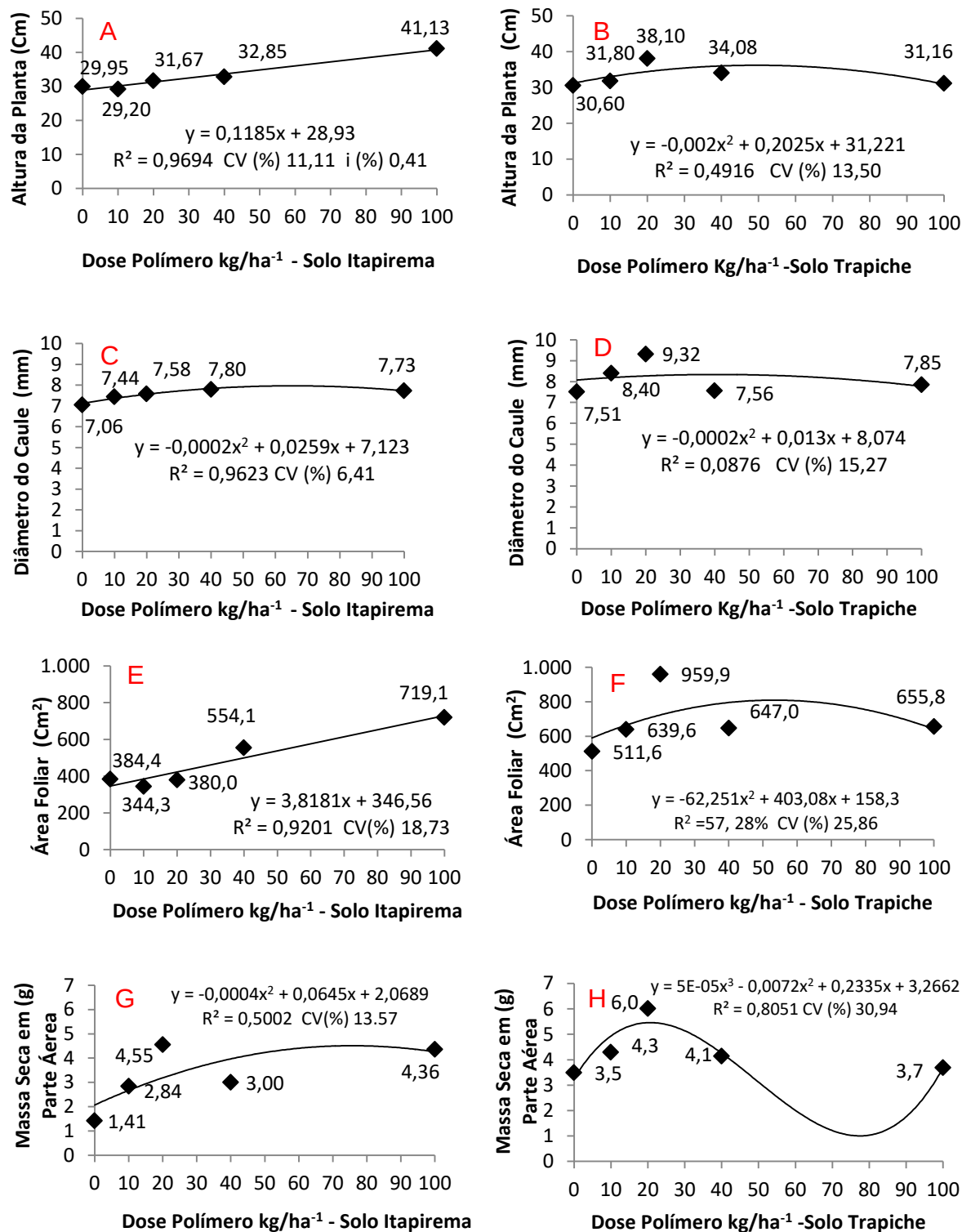
ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrupto					
Granulometria			MO	CO	CE
Areia	Silte g.kg ⁻¹	Argila.			μS/cm
643,00	21,00	336,00	10,68	6,21	95,99
LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso					
Granulometria			MO	CO	CE
Areia	Silte g.kg ⁻¹	Argila.			μS/cm
396,80	88,20	516,00	25,73	14,96	149

MO = Matéria orgânica; CO = Carbono Orgânico; CE= Condutividade elétrica

A poliacrilamida é adsorvida na superfície dos agregados. Estes têm em sua constituição areias quartzosas e ortoclásias (feldspato), que possuem seus grãos cobertos por argilas segundo Amaro Filho et al. (2008), os autores afirmaram que os agregados superficiais são formados pelos grãos de quartzo e argila dispersa, grupos de cristais de argila são formados e estes se ligam aos grãos de quartzo, formando assim os agregados.

Essa constituição, dependendo do teor de argila, pode trazer diferença nos resultados alcançados nas contribuições à estrutura física do solo manejado com poliacrilamida, principalmente na distribuição de poros que influencia o desenvolvimento radicular e este a absorção de nutrientes pelas plantas, ocasionando resultados apresentados nas figuras 15 A a H.

Figura 16 A, B, C, D, E, F, G e H - Resultados para biometria da parte aérea para as plantas cultivada em casa de vegetação



Altura da planta (A - solo de Estação Itapirema, B - Solo de Usina Trapiche) ; Diâmetro do Caule (C - solo de Estação Itapirema, D - Solo de Trapiche); Área foliar (E - solo de Estação Itapirema, F - Solo de Usina Trapiche); Massa seca da parte aérea (G - solo de Estação Itapirema, H - Solo de Usina Trapiche)

4.1.4.2 Sistema Radicular das Plantas Cultivadas em Solos Coesos Manejados com Polímero

O sistema radicular do milho é fasciculado e por isso não apresenta um eixo principal nem raízes secundárias como o pivotante que poderia facilitar a penetração do sistema radicular em solos com maior coesão, no entanto, o sistema radicular fasciculado do milho possibilita observação mais dinâmica da exploração e expansão da raiz no solo.

Na figura 16 A a J, estão apresentados os resultados obtidos para os parâmetros número de fibras, densidade radicular, diâmetro médio ponderado, área superficial da raiz e massa seca da raiz.

Nas plantas cultivadas no solo de Itapirema, o tratamento com o maior crescimento radicular pelo número de fibras de raízes observado foi no solo sem adição da poliacrilamida. A dose máxima estimada foi $77,0 \text{ kg.ha}^{-1}$ com a maior produção de 912,17 unidades. A menor dose estimada foi $21,3 \text{ kg.ha}^{-1}$ para uma produção mínima de 402,63 fibras (Figura 16 A). Este resultado, quando associado à densidade das raízes que também respondeu com a menor média estatística observada para o tratamento sem a presença da PAM, em solo coeso de Itapirema.

O resultado observado para a densidade (Figura 16 C), sugere que as plantas produziram raízes mais longas e leves como resposta fisiológica para aumentar a absorção de nutrientes mais escassos na massa de solo sem a PAM, devido à maior perda de água por percolação no solo com maior quantidade de areia.

Essa estratégia da planta foi relatada por Anghinoni e Meurer (1999). Os autores também citam o aumento da área superficial da raiz como estratégia da planta. O solo de Itapirema apresentou dose máxima estimada de $56,3 \text{ kg.ha}^{-1}$ da PAM para a produção estimada de $0,63 \text{ g.cm}^{-3}$.

O diâmetro médio ponderado da raiz foi maior no tratamento 10 kg.ha^{-1} (Figura 16 E), contudo, a taxa de crescimento estimada por unidade de concentração foi negativa (-0,17%), demonstrando que as raízes foram mais grossas no solo sem poliacrilamida. Para o solo de Itapirema em casa de vegetação, a maior concentração aplicada da PAM indica uma redução do diâmetro das raízes.

Dessa forma, para as plantas cultivadas no solo coeso de Itapirema, na busca por água disponível em um solo sem a PAM, mais coeso, resultou em raízes com maior diâmetro sem a presença da PAM. As raízes desenvolvidas na dose 100 kg.ha^{-1} tiveram maior disponibilidade de água, crescendo mais facilmente nas paredes dos vasos e próxima da superfície do solo na

camada mais frouxa e mais abundante de água devido à adsorção do polímero aos agregados do solo com maior concentração do mesmo.

No desenvolvimento da área superficial da raiz no solo de Itapirema (Figura 16 G), a maior área observada foi no tratamento com 100 kg.ha^{-1} , com ganho de 19,37% em relação ao tratamento sem PAM. A dose mínima estimada foi $44,6 \text{ kg.ha}^{-1}$, como área superficial da raiz estimada em $420,11 \text{ mm}^2$. Em Itapirema para este indicador, o polímero só traria benefício para o solo observado nesse parâmetro com doses a partir de 91 kg.ha^{-1} trazendo área superficial estimada superior ao tratamento sem polímero $726,73 \text{ mm}^2$.

A maior área superficial observada nas raízes no solo de Itapirema, pode ser atribuída pelo solo com maior coesão devido à ausência de polímero e com maior dose de polímero, por seu potencial de aproximação dos agregados do solo (MILLER et al., 1998). Isto exigiu que as raízes ficassem mais grossas, ampliando sua superfície para penetrar em um solo mais coeso, ou seja, com maior impedimento para o desenvolvimento radicular.

No entanto, para a massa seca do sistema radicular, o ganho observado em relação ao tratamento sem PAM alcançou 103% no tratamento 100 kg/ha^{-1} para o solo de Itapirema. A taxa de ganho de massa foi de 0,70% por quilo de PAM adicionado no solo de Itapirema em casa de vegetação (Figura 16 I).

O resultado para o número de fibras das raízes nas plantas cultivadas no solo coeso da Usina Trapiche foi linear com taxa de crescimento 0,19% para cada quilo de polímero aplicado no solo. Neste solo com maior teor de argila, a densidade das raízes observada foi inferior às observadas em Itapirema. A produção máxima estimada foi $0,029 \text{ g.cm}^{-3}$ com dose máxima estimada de 50 kg/ha^{-1} da PAM.

Ainda nas plantas cultivadas no solo de Trapiche, o crescimento observado para o diâmetro médio das raízes (Figura 16 F) foi linear e os tratamentos com a PAM mostraram-se maiores que nas plantas cultivadas sem a PAM. No parâmetro biométrico diâmetro médio ponderado, as raízes tiveram maior diâmetro nos tratamentos com maior dose de PAM, indicando maior dificuldade de crescimento em um solo mais argiloso. A taxa de crescimento observada do diâmetro médio foi de 0,40%.

Os resultados observados para a área superficial das raízes das plantas cultivadas no solo da Usina Trapiche (Figura 16 H) foram inferiores ao tratamento sem PAM, com taxa de crescimento negativo (-0,61%), à medida que a dose da PAM foi elevada a área superficial da raiz foi reduzida, a menor área observada foi no tratamento 100 kg.ha^{-1} , é possível que os maiores teores de argila, silte e matéria orgânica tenham possibilitado melhor arranjo da PAM com estes constituintes do solo, compondo uma massa de solo com menor coesão e, ou maior

disponibilidade de água para as raízes e conseqüentemente sem a necessidade de ampliar a área superficial para expandir-se no solo.

O melhor desempenho para dose observada da massa seca da raiz (Figura 16 J) foi 20 kg.ha⁻¹ com 0,58 g como maior resultado observado. A dose estimada que promoveu maior ganho de massa seca foi 50 kg.ha⁻¹ para uma produção máxima de 0,53 g.

O movimento de água é comparativamente mais lento e dá-se em taxas diferentes, em diferentes solos (WINTER, 1976). O mesmo autor destacou que as raízes tendem a se expandir onde existem concentrações locais de água ou nutrientes.

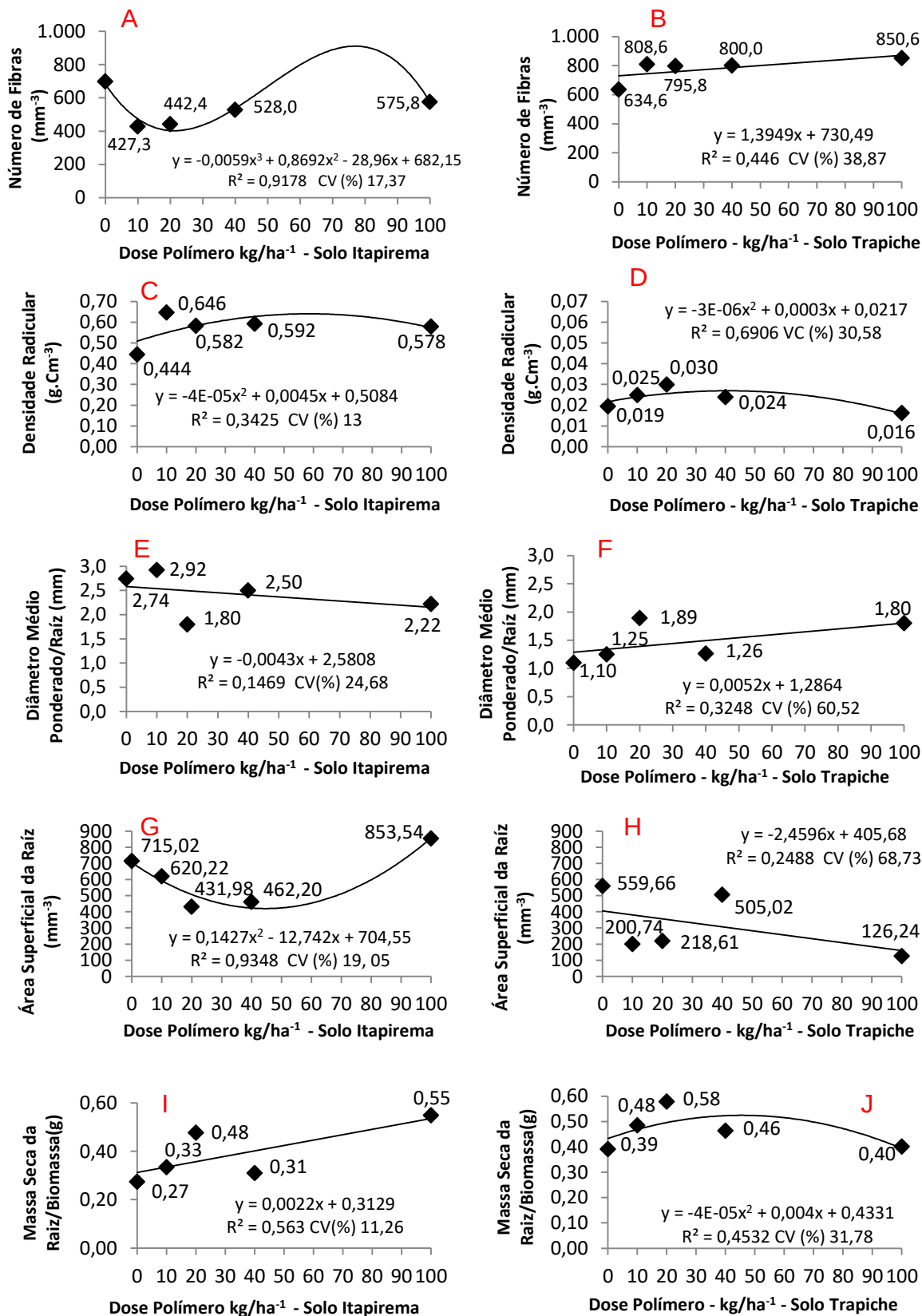
Conforme Jorge e Rodrigues (2008), são mais utilizados para a expressão das taxas de absorção de água, absorção de nutrientes e refletir os efeitos bióticos e abióticos do meio os parâmetros área superficial e o comprimento de raízes.

Para Libardi e De Jong van Lier (1999), o comportamento do sistema radicular no solo é regido por um número grande de fatores da planta e do solo, todos inter-relacionados, o que dificulta a previsão de seu funcionamento.

É possível que respostas mais seguras às variações não estejam apenas nas interferências das doses de PAM na estrutura física do solo, sendo possível que estudos complementares dos fitormônios em plantas cultivadas em solos manejados com PAM possam trazer melhores respostas, pois, as distintas reações das plantas podem estar ligadas à variação de produção hormonal conforme as doses de poliacrilamida.

Os resultados para os parâmetros biométricos do sistema radicular da cultivar de milho utilizada como bioindicador estão na figura 17 A a J.

Figura 17 A, B, C, D, E, F, G, H, I e J - Resultados para biometria do sistema radicular das plantas cultivada em casa de vegetação



Número de fibras (A - solo de Estação Itapirema, B - Solo de Usina Trapiche) ; Densidade radicular (C - solo de Estação Itapirema, D - Solo de Trapiche); Diâmetro Médio (E - solo de Estação Itapirema, F - Solo de Usina Trapiche); Área superficial (G - solo de Estação Itapirema, H - Solo de Usina Trapiche); Massa seca da raiz (I - solo de Estação Itapirema, J - Solo de Usina Trapiche).

4.1.4.3 Quantificação dos Macronutrientes, Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) nas Plantas de Milho Cultivadas nos Solos Coesos Manejados com e sem Poliacrilamida em Ambiente Controlado

As taxas de N (nitrogênio), observadas em casa de vegetação nas plantas cultivadas no ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrupto (Figura 17 A), tiveram comportamento linear ascendente e taxa de crescimento 10,6%. Os resultados observados no solo com PAM foram superiores ao tratamento sem a presença da PAM.

No LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso, a dose mais adequada observada da PAM foi 20 kg.ha⁻¹, a dose máxima estimada foi 41,4 kg.ha⁻¹, com a melhor produção estimada em 21,89 g.kg de nitrogênio (Figura 17 B).

O milho, como qualquer outra planta, necessita de nutrientes para se desenvolver, tomando como exemplo o N, que é sujeito a maiores perdas por volatilização e lixiviação sendo o primeiro na forma de nitrato e segundo na forma de ureia (CRUZ et al., 2011). A poliacrilamida no solo retém a água preservando por maior tempo a umidade, reduzindo a perda de nutrientes por lixiviação, segundo Balena (1998) e Santos et al., (2009).

Nesse sentido, em relação ao N, à medida que foi elevada a dose da PAM no solo coeso coletado na estação de Itapirema, as plantas tiveram o N disponível por maior tempo e com isso elevou a absorção do nutriente pelo sistema radicular das plantas cultivadas no ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso (Figura 17 A), no entanto, esse comportamento não foi observado no LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso oriundo da Usina Trapiche (Figura 17 B).

Baixas taxas de N na planta são responsáveis pela redução da área foliar, isso foi observado no ambiente controlado da casa de vegetação. As melhores taxas observadas de N na planta corresponderam às maiores áreas foliares observadas em ambos os solos.

A planta de milho enquanto se desenvolve acumula nutrientes na parte aérea, incluindo os grãos, a elevada absorção de potássio ocorre nos primeiros 40 dias e para nitrogênio e fósforo tem sua melhor absorção em dois momentos distintos, durante o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, conforme Cruz et al., (2011).

Para os resultados observados referentes ao P nas plantas cultivadas no solo coeso coletado na estação de Itapirema (Figura 17 C), o desempenho foi linear com taxa de crescimento estimada em 0,82%. No solo da Usina Trapiche, o resultado teve comportamento quadrático, com a dose máxima estimada em 54,5 kg.ha⁻¹ com produção máxima estimada de P de 1,426 mg.kg (Figura 17 D).

Em ambos os solos estudados, tanto no ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrúptico (Estação Itapirema) quanto no LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso (Usina Trapiche) foram observados ganhos de P para as plantas cultivadas com a PAM. No solo de Itapirema, os resultados observados mostram ganho de 97,3% quando comparados com o tratamento sem PAM e o resultado da maior dose.

A maior absorção de fósforo é importante para o vegetal pois, quando há carência desse nutriente a planta é afetada com a redução metabólica, diminuição da biomassa, redução da área foliar e superfície das raízes, sendo o vegetal afetado negativamente (COIMBRA et al., 2014).

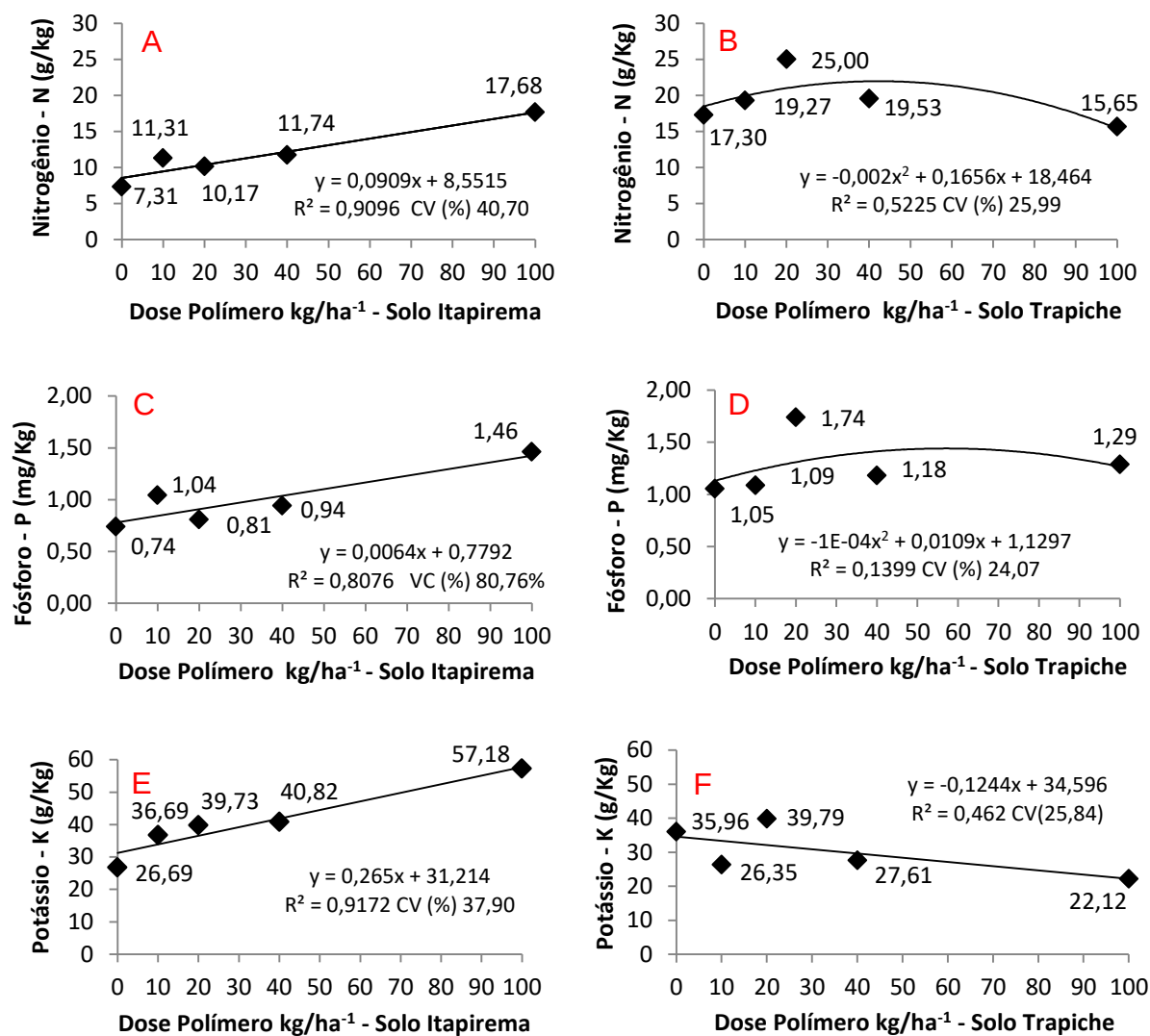
Para o macronutriente K, as quantidades observadas nas plantas cultivadas nos solos de Itapirema e Trapiche tiveram comportamentos distintos (Figura 17 E e F). Embora não seja atribuída nenhuma função estrutural ao K, este nutriente possui importância na abertura dos estômatos, viscosidade citoplasmática, transporte via floema e ativação de enzimas, destacando-se assim no metabolismo celular (VIEGAS, 2007).

No solo coeso de Itapirema foi observado nas plantas valores do K (g/kg) com desempenho linear e todos superiores ao tratamento sem a PAM, a taxa de crescimento estimada foi de 0,85% de K (g/Kg) para cada dose de polímero aplicado no solo (Figura 17 E).

Nas plantas cultivadas no solo coeso da usina Trapiche, a maior dose observada esteve no tratamento com dose 20 kg.ha⁻¹ (Figura 17 F), no entanto, o desempenho foi linear descendente, a PAM reduziu a quantidade de K quando relacionado com o tratamento sem a PAM (dose zero). A taxa estimada de crescimento foi negativa (-036%).

A planta do milho, cultivada no solo coeso de Itapirema em casa de vegetação e manejado com polímero, teve a disponibilidade dos macronutrientes N, P e K ampliada no momento que ela mais exige, esta disponibilidade também foi observada por El-Hady et al., (1990) e Lentz e Sojka (2009) quando estes autores trabalharam com poliacrilamida. No entanto, estes ganhos ainda não haviam sido observados em solos coesos. Os resultados podem ser observados na figura 18 A a F, a seguir.

Figura 18 A, B, C, D, E e F - Resultados para macronutrientes das plantas cultivada em casa de vegetação



Nitrogênio (A - solo de Estação Itapirema, B - Solo de Usina Trapiche); Fósforo (C - solo de Estação Itapirema, D - Solo de Trapiche); Potássio (E - solo de Estação Itapirema, F - Solo de Usina Trapiche)

4.2 COMPORTAMENTO FÍSICO-HÍDRICO DE SOLO COESO MANEJADO COM POLÍMERO EM CAMPO

Nessa seção serão apresentados os resultados para o comportamento físico-hídrico do solo coeso manejado com polímero em campo.

4.2.1 Curva Característica de Retenção de Água no Solo - CCRAS

No campo, a atividade antrópica que promove a retirada da vegetação natural para fins diversos inclusive agrícolas, eleva seu potencial de degradação quando o solo tem caráter coeso.

A degradação é resultado da perda de solo e nutrientes pela erosão que dificulta a revegetação e, ou, desenvolvimento de atividade agrícola sustentável e produtiva.

A poliacrilamida vem sendo usada entre diversas aplicações também para reduzir a perda da camada agricultável solo e elevar a infiltração da água. Conforme Prats et al., (2014), os resultados positivos da ação da PAM são influenciados pelo tipo, dose, método de aplicação, o solo e sua textura.

A poliacrilamida aplicada no campo surtiu efeito diverso na disponibilidade de água no solo coeso de Itapirema, a condição natural de referência foi inserida na CCRAS para evidenciar o comportamento do referido solo sem qualquer tratamento. Os tratamentos (T0 – Sem PAM; T1 - 40 kg.ha⁻¹; T2 – 75 kg.ha⁻¹ e T3 – 100 kg.ha⁻¹) foram aplicados três vezes no campo.

A CCRAS (Figura 19) mostra que para o solo de Itapirema em campo, entre as tensões 0 a 10 (0,0 a 1,0 log-cca) centímetro de coluna de água (cca), onde a disponibilidade hídrica é abundante e encontra-se em condição de saturação no solo, o tratamento com três aplicações de 40 kg.ha⁻¹ destacou-se por manter elevada a água disponível. Essa dose de 40 kg.ha⁻¹ também observada por Vacher et al. (2003) como a melhor dose facilitadora de infiltração de água no solo.

No entanto, a partir da faixa que compreende a umidade na capacidade de campo (θ_{cc}), respectivamente 100 a 333 cca (2 a 2,5 log), observou-se que o tratamento que melhor disponibilizou água ao solo foi constituído por três aplicações de 75 kg.ha⁻¹ de polímero. Essa dose manteve a maior disponibilidade hídrica até o ponto de murcha permanente (PMP), sugerindo que nas condições estabelecidas nesse estudo, a poliacrilamida manterá solo úmido

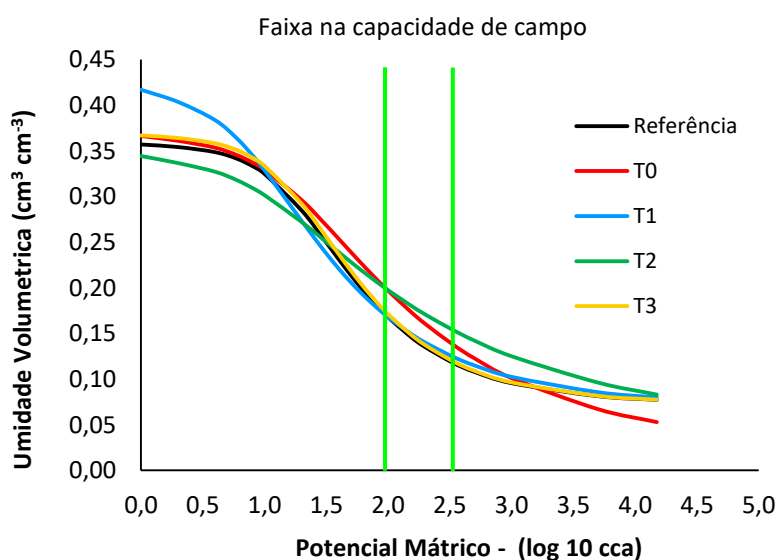
por maior tempo se submetido a déficit hídrico, contribuindo para o melhor equilíbrio da relação solo-água.

As variações das doses da PAM interferem em sua forma de ação assim como o tamanho dos agregados e a estrutura dos poros conforme Levy e Miller (1999).

Relatos de estudos com diferentes concentrações e tipos de PAM para redução da erosão e contenção da água em solo de florestas mostraram contradições nos resultados, dada a complexidade dos solos e diversidades ambientais aos quais foram submetidos os polímeros, como relata Prats et al. (2014). A maior disponibilidade hídrica observada no solo possibilita a redução da coesão, também verificadas por Rubio et al. (1984) e Vacher et al. (2003).

Os resultados para as curvas características de retenção de água no solo, relacionadas ao solo coeso no experimento em campo de Itapirema, estão apresentados na figura 19.

Figura 19- Curva característica de retenção de água no solo



Referência= solo em condição natural de campo; T0 = sem PAM; T1= 40 kg.ha⁻¹; T2= 75 kg.ha⁻¹; T3=100 kg.ha⁻¹

4.2.2 Resistência Mecânica À Penetração De Raízes (RP)

O comportamento do solo em campo condicionado com a PAM, em relação ao tratamento controle (apenas água adicionada) mostrou significado estatístico ($p < 0,05$) nas tensões 10, 60 e 15000 cca (Figura 20 A a F). O importante é que na tensão mais elevada a PAM promoveu redução da resistência mecânica à penetração da raiz.

Para confrontar este resultado, os valores observados para a RP no tratamento controle, T0 (apenas com a adição de água) foi substituído pelos valores observados da RP para o solo em condição natural de campo (a referência).

Os resultados mostraram que a redução da RP na tensão 15.000 cca (Figura 20 E e F), foram significativas em ambas as condições, pois o solo coeso mesmo em condição de ponto de murcha permanente, isto é, sem condições de oferecer água disponível para as plantas, teve sua resistência à penetração reduzida em 42,18 % pela adição das 3 aplicações com 100 kg.ha⁻¹ de PAM, quando comparado com o controle do experimento e 85,95% quando comparado com a condição natural de campo.

Nas tensões mais baixas (10 e 60 cca), ficou evidente, considerando as condições estabelecidas na pesquisa, que a PAM elevou a RP do solo, esses resultados são compatíveis com os estudos de Melo (2013), Andrade (2014) e Marcelo et al. (2016) com polímero e polímero e gesso em solos coesos.

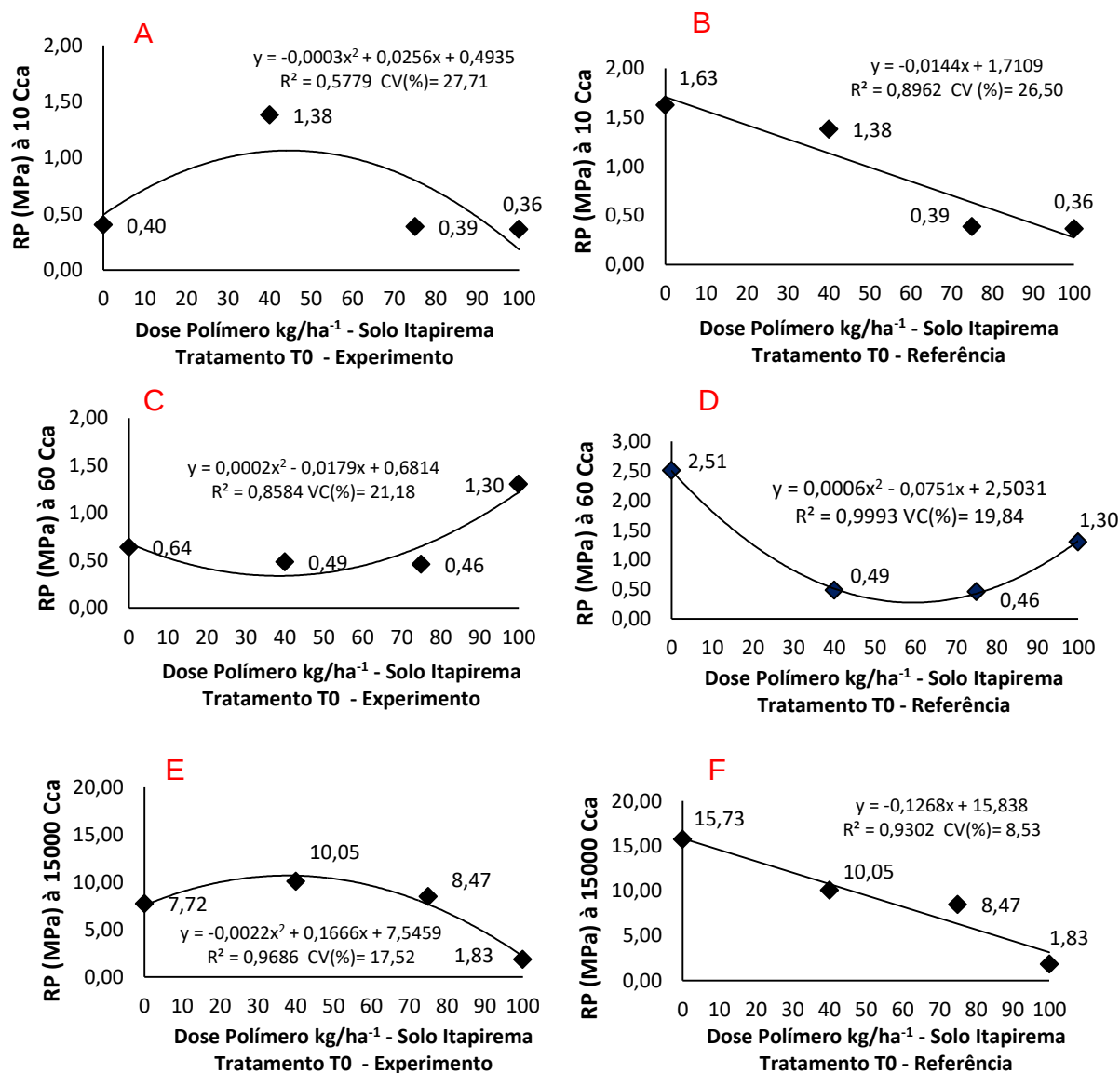
Assim, pode-se inferir que bastaria a adição de água para reduzir a RP do solo nas baixas tensões, no entanto, na tensão mais elevada com a PAM, teremos o solo menos coeso e com melhores condições de retenção e disponibilidade de água nas sequências dos ciclos de umedecimento e secagem.

Estas condições devem favorecer o desenvolvimento radicular pois, dependendo das características do solo, as raízes mudam as estratégias de crescimento e exploração das camadas do solo (WHITELEY; DEXTER, 1982, 1984; HENDERSON 1989).

Lira et al., (2016) estudando a RP do mesmo solo em condições de cultivo e mata constatou que o parâmetro foi sensível para aferir as diferentes da RP entre as áreas ficando a área de cultivo com os valores mais elevados, em que os autores atribuem ao manejo da cultura.

Na figura 20 A a F estão apresentados os resultados para resistência a penetração nas tensões 10, 60 e 15000 cca.

Figura 20 A, B, C, D, E e F – Desempenho da resistência mecânica a penetração da raiz



RP=Resistência Mecânica à Penetração da Raiz – MPa =Megapascal - CCA=Centímetro de Coluna de Água

A = (T0 - Tratamento experimento), B = (T0 - Solo condição natural); C = (T0 - Tratamento experimento);

D = (T0 - Solo condição natural); E = (T0 - Tratamento experimento); F = (T0 - Solo condição natural).

4.2.3 Intervalo Hídrico Ótimo

Nas condições estabelecidas no estudo em campo na edificação do IHO para o ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico manejado com a PAM, constatou-se que a condição de degradação não foi alterada, pois observa-se no resultado da modelagem dos itens que compõem o IHO, conteúdo de umidade em relação a densidade do solo $\theta(Ds)$, em níveis críticos de umidade na capacidade de campo (θCC), no ponto de murcha permanente (θPMP), na porosidade de aeração (θPA) e na resistência mecânica à penetração da raízes (θRP) que o IHO independente do tratamento recebido pelo solo, apresentou como limites superiores a θPA e a θCC , ficando a θRP como limite inferior.

Os parâmetros estabelecidos para a o Intervalo Hídrico Ótimo estão na tabela 8, a seguir.

Tabela 8 Parâmetros de ajuste para RP e Ds das equações da regressão/ Itapirema Campo

		Parâmetros estimados modelo				Valor do IHO
		Umidade (θ)	RP	Umidade (θ)	RP	
TRATAMENTO	PAM 0 kg ha ⁻¹	<i>a</i> -0,39811	<i>b</i> ₀ 0,1325	<i>a</i> 0,61114	<i>b</i> ₀ 0,05653	0,03559751
		<i>b</i> -0,06050	<i>b</i> ₁ -1,5541	<i>b</i> -0,25330	<i>b</i> ₁ -1,61454	
		<i>C</i> -0,25310	<i>b</i> ₂ -1,5242			
				R ²		
		0,9574897	0,7790103	0,9574432	0,7743111	
		Umidade (θ)PA	Umidade (θ)RP	Umidade (θ)CC	Umidade (θ) PMP	
		0,23628319	0,15474488	0,19034239	0,05349692	
TRATAMENTO	PAM 40 kg ha ⁻¹	Parâmetros estimados modelo				Valor do IHO
		Umidade (θ)	RP	Umidade (θ)	RP	
		<i>a</i> -0,90655	<i>b</i> ₀ 0,007961	<i>a</i> 0,55597	<i>b</i> ₀ 0,03333	0,0620753
		<i>b</i> 0,21899	<i>b</i> ₁ -1,620222	<i>b</i> -0,24381	<i>b</i> ₁ -1,88559	
		<i>C</i> -0,24726	<i>b</i> ₂ -4,177812			
				R ²		
		0,9664137	0,8324952	0,9636669	0,6217132	
		Umidade (θ)PA	Umidade (θ)RP	Umidade (θ)CC	Umidade (θ) PMP	
		0,3230769	0,1188204	0,1808957	0,0533181	

PA=Porosidade de aeração; CC=Capacidade de campo; RP=Resistência mecânica à penetração de raízes; PMP=Ponto de murcha permanente; IHO=Intervalo hídrico ótimo; θ =Umidade volumétrica; Ds=Densidade do solo.

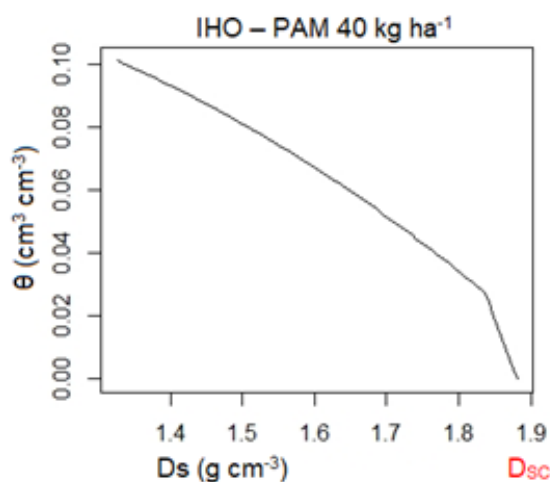
Essa condição é característica de solo em condição de degradação promovido pela elevada coesão e, ou, também por compactação, sendo esta última por atividade antrópica, comprometendo a qualidade física ambiental do solo, diferente da coesão que é uma condição natural.

Segundo Silva et al., (1994) o IHO como indicador da qualidade física e estrutural do solo tem sua importância por promover de forma integrada a avaliação dos efeitos do

potencial mátrico, aeração e resistência mecânica do solo a penetração das raízes, dessa forma estabelecendo a umidade limitante ao crescimento vegetal.

Na observação direta dos diagramas nas faixas hachuradas correspondentes aos IHO em campo, o melhor resultado, quando confrontado com o tratamento sem a adição da PAM em campo, foi estabelecido para 3 aplicações de 40 kg/ha^{-1} . Esse tratamento promoveu maior disponibilidade de água e ampliou a densidade crítica (onde o intervalo hídrico ótimo é nulo - D_{sc}) para 1.9 g cm^{-3} , expandindo a água disponível no solo às plantas (figura 21).

Figura 21 – Densidade crítica estabelecida para pera o intervalo hídrico ótimo tratamento 40 kg.ha^{-1} de poliacrilamida



IHO=Intervalo hídrico ótimo; θ =Umidade volumétrica; D_s = Densidade do Solo; D_{sc} = Densidade Crítica; PAM= Poliacrilamida.

A modelagem do IHO quando define sua D_{sc} recebe críticas em Van Lier e Gubiani (2015), Pilatti et al., (2012) e Gubiani et al., (2014) principalmente por estabelecer valores estáticos para os parâmetros que o compõe.

As três aplicações com 40 kg/ha^{-1} da PAM promoveram também menor interferência da porosidade de aeração (PA), indicando que a água disponível esteve em menor risco de promover anóxia. Para Silva e Kay (1997), o ponto no valor da densidade (D_{sc}) onde há intercessão da umidade na porosidade de aeração (θ PA) substituindo a capacidade de campo (θ CC) deve ser considerado, os autores também chamam atenção para a redução da faixa de IHO, podendo ser este um indicador da restrição de água às plantas e seu desenvolvimento.

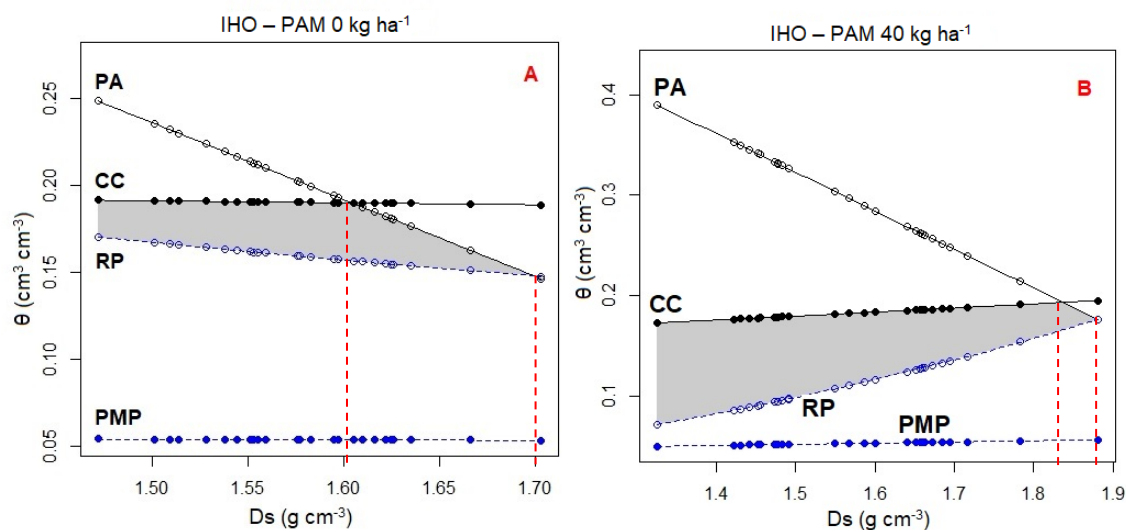
A dose e a frequência da aplicação são fatores importantes para o resultado da PAM em solo, no entanto deve-se considerar o que afirmam Green e Stott (1999), Lair (1997) e Orts et al., (2007). Para estes autores, a adsorção do polímero ao solo é a chave da sua efetiva

ação como condicionador do solo, a PAM aniônica carregada negativamente como as cargas das superfícies das argilas, não as repulsa devido os pontos com carga negativa ser ligados por uma ponte de cátions (cation bridging), as cargas positivas do cátion divalente liga-se a um dos pontos negativos na superfície da argila ou na PAM aniônica.

Com a aplicação da PAM, McNeal, (2017) reduziu o escoamento superficial em 6% e aumentou a infiltração da água no solo em 24%. O aumento da infiltração de água no solo amplia a faixa de água disponível, a poliacrilamida facilita a infiltração e retenção da água por maior tempo nos poros. Assim, no caso do solo coeso, reduz a coesão pela manutenção da umidade sem ocorrer o esboroamento do solo como ocorre naturalmente pela simples adição de água.

Os resultados para o IHO construído a partir do experimento de campo estão nas figuras 22 A e B.

Figura 22 A e B - Diagramas de desempenho do Intervalo Hídrico Ótimo para o ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico, experimento em campo



PA=Porosidade de aeração; CC=Capacidade de campo; RP=Resistência mecânica à penetração de raízes; PMP=Ponto de murcha permanente; IHO=Intervalo hídrico ótimo; θ =Umidade volumétrica; D_s =Densidade do solo. A=Tratamento sem polímero; B=Tratamento 40 kg ha^{-1}

4.2.4 Porosidade do Solo Coeso Cultivado em Campo

As doses de polímero não alteraram a distribuição dos poros no experimento em campo quando comparados com o controle, e nem quando os resultados observados no controle (T0) foram substituídos pelos resultados observados na condição natural de campo. Os resultados não foram significativos ($p < 0,05$). Esse comportamento pode estar sustentado no fato que a poliacrilamida tem seus resultados conforme o teor de argila no solo, o tipo do polímero, temperatura do ambiente edáfico entre outros fatores. Mas, também há de se considerar a natureza dos solos coesos em campo.

O solo coeso no estado seco, apresenta consistência dura a extremamente dura e, no estado úmido, torna-se friável (JACOMINE, 2001).

As possíveis condições de umidade proporcionadas ao solo quando posto em contato com os tratamentos não alterou a distribuição dos poros. Assim, os tratamentos mantiveram o solo úmido em graus diferenciados conforme a dose aplicada e a tensão em que a água esteve contida nos poros, alterando nitidamente a resistência a penetração mecânica da raiz sem alterar o percentual das classes de poros.

Com a PAM, a porosidade na superfície do solo é mantida, permitindo assim a infiltração aumentada da água, afirmam McNeal et al., (2017). Em Itapirema, a área coesa em que foi realizada as amostras de solo no horizonte Bt1 ficou exposta e receberam os tratamentos diretamente na camada coesa.

Mas, quando comparados apenas os dados observados do percentual de poros no campo em relação ao controle, o tratamento com três aplicações de 40 kg ha^{-1} altera significativamente a quantidade de macroporos elevando a porosidade total em 36,6%. É fato que essa mudança não seria suficiente para interferir na redução da coesão do solo. Mas, para Othmer et al., (1991) os macroporos são poros inter-agregados e sob esta ótica houve ampliação dos macroporos promovido pela PAM quando esta promoveu ampliação da disponibilidade de água no solo.

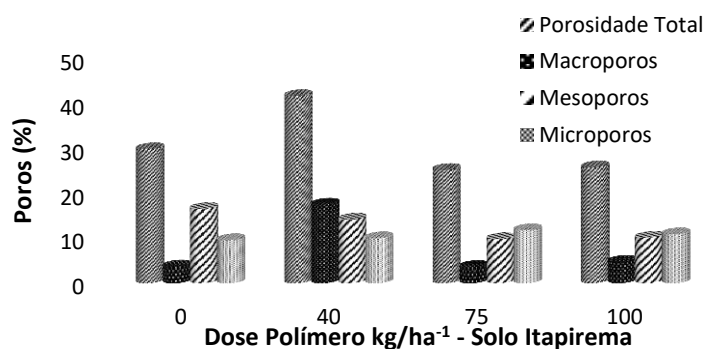
Os estudos de Corrêa et al (2008) sugerem a iluviação da argila causando o entupimento da porosidade como possível causa da coesão. Nesse sentido a contribuição da PAM é positiva, pois mantém essas partículas em suspensão por maior tempo no solo pela maior disponibilidade de umidade. O caráter coeso não se manifesta quando o solo está úmido (GIAROLA; SILVA, 2002). Para Gubiani et al., (2014), os valores de densidade do solo podem também influenciar na disponibilidade de água e resistência mecânica do solo à penetração, conforme a camada de solo.

O percentual de poros no ARGISSOLO AMARELO Distrocoesio abruptico manejado em campo estão expostos na tabela 9 e figura 23

Tabela 9. Distribuição percentual de classes de poros no solo manejado com PAM em campo

Polímero kg ha ⁻¹	ARGISSOLO AMARELO Distrocoesio abruptico (Itapirema)			
	%			
	Porosidade total	Macroporos	Mesoporos	Microporos
0	30	4	16	10
40	41	17	14	10
75	25	4	10	12
100	26	5	10	11

Figura 23 – Distribuição de poros solo de Itapirema, experimento em campo



4.3 RESPOSTA FISIOLÓGICA E BIOMÉTRICA DO VEGETAL CULTIVADO EM CAMPO SOB AÇÃO DA POLIACRILAMIDA

Nessa seção serão apresentados os resultados para as respostas fisiológicas e biológicas do vegetal cultivado em campo sob ação da poliacrilamida.

4.3.1 Parte Aérea da Planta em Campo

Em campo, a cultivar de milho foi plantada como biomarcadora das possíveis contribuições promovidas pela PAM na estrutura física na camada coesa (Bt1) do ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrupto, a partir da observação de seu desenvolvimento biométrico, do sistema radicular (fasciculado) e absorção dos macronutrientes (N, P, K).

Os resultados para a parte aérea da planta não foram significativos ao nível estatístico de $p < 0,05$, quando observados os parâmetros, número de plantas, biomassa, massa seca da parte aérea e a altura da planta.

Figura 24 – Imagem do experimento em campo na estação experimental de Itapirema – Goiana/PE



Foto: arquivo do autor

4.3.2 Desempenho do Sistema Radicular das Plantas Cultivadas com Polímero na Profundidade 0 – 48 cm sob Horizonte Coeso

No sistema radicular das plantas de milho cultivadas em solo manejados com a PAM no campo foram analisados os parâmetros: número de fibras, densidade radicular, diâmetro médio ponderado, área superficial da raiz e biomassa da raiz. Apenas o parâmetro número de fibras, foi significativo a $p < 0,05$.

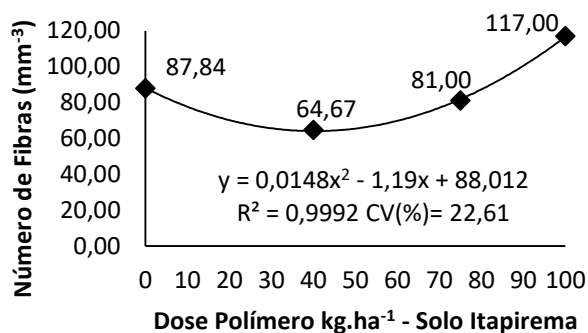
Quando observado o desenvolvimento radicular, cabe uma ressalva a metodologia, a coleta das amostras por meio de um cilindro, por si, promove limitação ao tamanho das fibras pelo diâmetro da ferramenta utilizada.

A complexidade do sistema radicular aliada às dificuldades metodológicas e toda a influência recebida pelas condições físicas, químicas e biológicas do solo estão entre os motivos pelos quais poucos estudos vêm sendo dirigidos ao tema, segundo Silva-Olaya et al., (2017). O melhor desempenho foi observado no tratamento com as três aplicações de 100 kg.ha⁻¹ da PAM, o parâmetro número de fibras, promoveu ganho de 33,2% em relação ao tratamento sem adição da PAM, a menor produção foi observada na dose 40,2 kg.ha⁻¹ (Figura 25).

Em campo, na profundidade 0-48 cm (Corresponde aos horizontes **Ap1**. 0-14 cm, **Ap2**. 14-28 cm e **E**. 28-48 cm), a textura do solo é arenosa, e a maior concentração da PAM promoveu retenção de água nesta profundidade por maior tempo, devido à elevada viscosidade provocada pela concentração aplicada (100 kg.ha⁻¹).

Para Sojka et al., (2007) e Li et al., (2010), a elevação da viscosidade da água promovida pela PAM evita o fechamento dos poros da superfície (macro e mesoporos) interferindo no escoamento da água na superfície do solo. Assim, contribuindo para maior disponibilidade de água. Segundo Winter (1976), as raízes expandem-se onde há maior disponibilidade de água e nutrientes.

O solo como maior disponibilidade de água tem sua resistência à penetração reduzida facilitando o desenvolvimento radicular da planta. Os estudos de Bergamin et al. (2010) mostraram que o grau de compactação afeta a anatomia radicular do milho. Quando o sistema radicular se desenvolve em ambiente favorável ao seu crescimento pode resultar em maior número de fibras (Figura 25).

Figura 25 – Número de fibras nas plantas cultivadas em campo

4.3.3 Quantificação dos Macronutrientes (Nitrogênio, Fósforo e Potássio) Presentes nas Plantas de Milho Cultivadas na Profundidade 0-48 Sob Horizonte Coeso

Os ganhos em campo relacionados com os macronutrientes na planta foram pouco significativos quando confrontados com o tratamento sem a PAM. Houve variação positiva apenas no tratamento 40 kg.ha⁻¹.

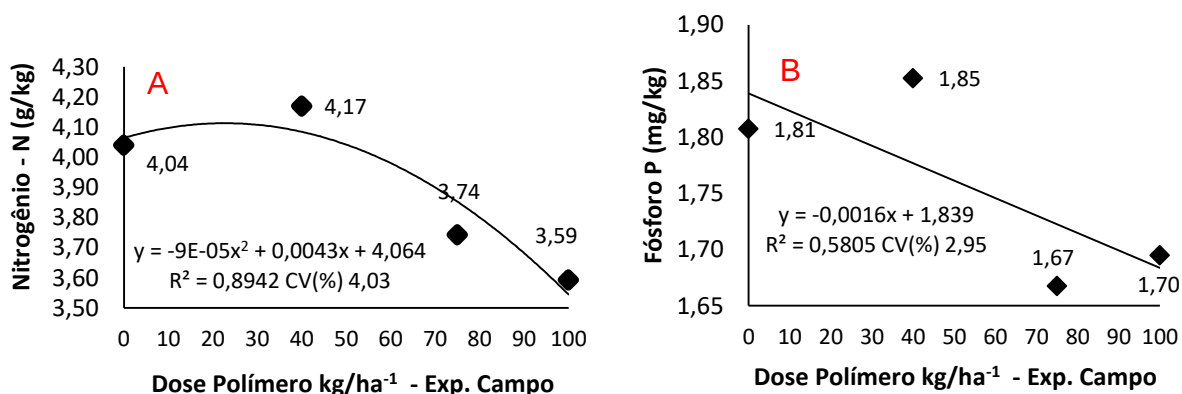
Os resultados (Figura 26 A e B) mostram que na profundidade 0-48 cm do solo, a adição da PAM pode ter promovido queda nos valores dos nutrientes N e P nas plantas de milho cultivadas a partir do tratamento 40 kg.ha⁻¹. Segundo Borin et al., (2010), a absorção de macronutrientes pelo milho convencional apresenta diferença nas quantidades, possivelmente pela diferença do cultivar e da técnica de cultivo.

O nitrogênio é importante na cultura do milho por ser este o macronutriente de maior exigência pela planta, e entre os vários fatores que influenciam sua boa absorção pela planta, está a disponibilidade de água, por ser um elemento bastante móvel e por isso, há perda por lixiviação, volatilização e denitrificação (Ação de bactérias) (SAGOI E ALMEIDA, 1994; CRUZ et al., 2011).

A atenção com a disponibilidade do N para a cultura do milho tem interesse ambiental, pois disponibiliza o N em doses adequadas garantindo boa produtividade e reduzindo o risco de contaminação do solo e do lençol freático.

A boa absorção do nitrogênio pelas plantas também tem importância ambiental e econômica, pois busca-se suprir a necessidade desse nutriente para a planta de milho mantendo elevada produtividade, reduzindo gasto com adubação, a contaminação ambiental no solo e no lençol freático com a redução da adição de nitratos (SOUZA et al., 2009; FRANÇA et al., 2011).

Os resultados da absorção para N e P estão apresentados na figura 26 A e B.

Figura 26 – Resultados para os macronutrientes N e P nas plantas cultivadas em campo

As perdas de N e P pelas águas superficiais podem promover eutrofização de corpos de água (SATURNINO e LANDERS, 1997; LI e WANG 2016; YUAN, et al., 2017). Os Trabalhos recentes dos autores Yuan et al. (2017), identificaram redução de perdas de N e P em solos da China, fazendo uso de diferentes doses da PAM em laboratório reduziu a perda de N e P por lixiviação superior a 50% quando elevadas as concentrações da PAM.

A caracterização química do solo nas profundidades para o desenvolvimento da planta, está exposta na tabela 10.

Tabela 10- Caracterização química do solo em campo

Profundidade	P	pH	-----cmolc / dm ³ -----							cmolc / dm ³		%	
	mg/dm ³	(H ₂ O)	Ca	Mg	Na	K	Al	H	Calagem t/ha	S	CTC	V	m
00-70	1	5,50	0,20	0,40	0,04	0,05	0,20	3,92	2,0	0,7	4,8	14	22
48-70*	1	5,50	0,15	0,40	0,04	0,04	0,25	5,19	---	0,6	6,1	10	28

Análises realizada no IPA, pelo Programa de análise de qualidade de laboratórios de fertilidade – selo sob número 000.030.120 / *Horizonte Bt1 (camada coesa)

5 CONCLUSÕES

- A poliacrilamida (PAM) é um agente de agregação do solo, desse modo, promoveu maior disponibilidade de água e assim maior umidade e menor resistência à penetração mecânica da raiz nos extremos das tensões observadas reduzindo a coesão.
- Para o ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrupto da localidade de Itapirema-PE, a dose de 40 Kg.ha⁻¹ da PAM promoveu maior disponibilidade de água e redução da coesão.
- O Intervalo Hídrico Ótimo é um atributo físico-hídrico para aferir as modificações promovidas pela PAM ao solo e seus resultados puderam ser integrados aos parâmetros biométricos da planta para avaliação do solo.
- O ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrupto da localidade de Itapirema-PE, com menor quantidade de argila, manejado com a PAM em ambiente controlado, alcança melhores resultados para a cultura.
- A planta de milho mostrou-se adequada biomarcadora das mudanças promovidas pela PAM no solo em casa de vegetação.
- Todos os tratamentos com poliacrilamida tiveram na planta maiores quantidades dos macronutrientes N P K, sugerindo ser a poliacrilamida um agente facilitador da aquisição dos nutrientes pesquisados na planta em casa de vegetação.
- Nas plantas cultivadas em casa de vegetação nos solos tratados com poliacrilamida foi observado, maior altura, maior diâmetro do caule, maior área foliar e biomassa em relação as plantas cultivadas em solos não tratados com a poliacrilamida.
- No experimento desenvolvido em campo não foi possível avaliar o milho como bioindicador nas mudanças promovidas pela PAM no solo coeso, devido ao não crescimento radicular da cultivar não atingir a camada coesa.

6 PERSPECTIVAS

Para os resultados relacionados à física do solo e uso da PAM, sugere-se estudos futuros com reologia, viscosidade e degradação da poliacrilamida em solo coeso, como também a influência nos teores de argila e o comportamento dos fitohormônios das plantas cultivadas em solos manejados com PAM.

REFERÊNCIAS

- AJWA, H. A.; TROUT, T. J. Polyacrylamide and water quality effects on infiltration in sandy loam soils. **Soil Science Society Amercian Journal**, v. 70, p. 643-650, 2006.
- ALMEIDA, B. G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo**, 105p, Tese Doutorado. ESALQ/USP. 2008.
- ALUCINAÇÃO. Intérprete: Belchior. Compositor: Antônio Carlos Belchior. In: Alucinação. Interprete: Belchior. [S.I]: Phonogram, Brasil, 1976.1
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do solo: conceitos e aplicações**. Fortaleza. Imprensa Universitária, 2008. 290 p.
- AMORIM, R. R; OLIVEIRA, R. C. de. **Uso e ocupação das mesoformas da Região Costa do Descobrimento (Bahia-Brasil)**. In: VI SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA E II SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, v. 1, p. 1-14, 2010.
- ANDRADE, K. R.; **Atributos Físico-hídricos de Solos Coesos da Zona da Mata de Pernambuco sob Ação de Condicionadores Químicos**. 2014. 115 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2014.
- ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1., Aracaju, 1999. **Anais[...]**. Aracaju: EMBRAPA, p. 57- 87, 1999
- ARAÚJO FILHO, J. C. DE. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil. In: CINTRA, F. L. D.; ANJOS, J. L. DOS; IVO, W. M. P. (org.) **WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS**, 2001, Aracaju. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 123-139, 2001
- ARAÚJO FILHO, J.C.; CARVALHO, A.; SILVA, F.B.R. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do nordeste do Brasil. In: workshop coesão em solos dos tabuleiros costeiros, 11.,2001. **Anais[...]** Aracajú: EMBRAPA, artigos, p.161 – 168.
- BALENA, S.P. **Efeito de Polímeros Hidroretentores nas Propriedades Físicas e Hidricas de dois Meios Porosos**.1998. 57p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias), Universidade Federal do Paraná-UFPR, Curitiba, PR, 1998.
- BARVENIK, F.W. Polycrylamide characteristics related to soil applications. **Soil Science**, New Brunswick, v. 158, n. 4, p. 235-243, Oct. 1994.
- BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; LEMPP, B.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Anatomia radicular de milho em solo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45(3), p. 299–305, 2010. doi:10.1590/s0100-204x2010000300010

BÖHM, W. **Methods of Studying root systems**. New York, Springer-Verlag, 1979.p.194. doi:10.1007/978-3-642-67282-8

BORIN, A. L. D. C.; LANA, R. M. Q.; PEREIRA, H. S. Absorção, acúmulo e exportação de macronutrientes no milho doce cultivado em condições de campo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, p. 1591-1597, 2010.

BRADY, N.C; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman,2013, 685p

BUSSCHER, W. J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to common water content. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 33, p. 519-524, 1990.

BUSSCHER, W. J. et al. Residual effects of slit tillage and subsoiling in a hardpan soil. **Soil and Tillage Research**, v. 35, n. 3, p. 115-123, 1995.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análises química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 77 p. (Boletim Técnico, 106). 2009.

CARVALHO, J. E. B. de. Manejo de solo de tabuleiros costeiros visando maior armazenamento de água. In: SIMPÓSIO DO PAPAYA BRASILEIRO, v.7., 2018, Vitória. Produção e sustentabilidade hídrica. [s.l.], 2018.

CINTRA, F.L.D. e LIBARDI, P.L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do Tabuleiro Costeiro. **Scientia Agricola**, v. 55, n. 3. P. 367-378, 1998.

CINTRA, F. L. D.; RESENDE, R. S; LEAL, M. L. S.; PORTELA, J. C. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 1041-1051, 2009.

COIMBRA, R. R.; FRITSCHÉ-NETO, R.; COIMBRA, D. B.; NAOE, L. K.; CARDOSO, E. A.; RAONI, D.; MIRANDA, G. V. Relação entre tolerância do milho a baixo teor de fosforo no solo e responsividade a adubação fosfatada. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, 7 Feb. 2014

CORE TEAM. (2016). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Fonte: <https://www.R-project.org/>

CORRÊA, M.M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T. C. P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de Solos Vermelhos e Amarelos do Ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 297-313, 2008.

CRUZ, José Carlos et al. (Ed.). **Milho: O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa, 2011. 338 p

DANE, J. H.; HOPMANS, J. W. **Water retention and storage**. In: DANE, J.H; TOPP, G.C. (Ed). **Methods of soil analysis: Part 4 – physical methods**. Madison: American Society of America, p.671-720, 2002

DANTAS, J. S.; MARQUES JUNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; RESENDE, J. M. do A.; CAMARGO, L. A.; BARBOSA, R. S. Gênese de solos coesos do leste maranhense: relação solo-paisagem. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 1039-1050. 2014

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

_____. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011, 225 p.

FAGERIA, N.K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.390-395, 2000.

FERNANDES, R. B.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F. Quantificação de óxidos de ferro de Latossolos brasileiros por espectroscopia de reflectância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 245-257, 2004

FERNANDES, C. de A. Farias. **Avaliação da qualidade do solo em áreas de cacau cabruca, mata e policultivo no Sul da Bahia**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC, Ilhéus, BA, 2008.

FERREIRA, D. F. **Programa Sisvar.exe: sistema de análise de variância**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007.

FESSEL, V. A. G.; **Qualidade, desempenho operacional e custo de plantios, manual e mecanizado, de *Eucalyptus grandis*, implantados com cultivo mínimo de solo**. Piracicaba, 2003. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queriroz”.

FRANÇA, S.; MIELNICZUK, J.; ROSA, L. M. G.; BERGAMASCH, I. H.; BERGONCIB, J. I. Nitrogênio disponível ao milho: crescimento, absorção e rendimento de grãos. **Revista Brasileira. Engenharia. Agrícola Ambiental**, v. 11, p. 1143–1151, 2011.

FRANCIS, C.A.; RUTGER, J.N; PALMER, A.F.E. A rapid method for plant leaf area GEE, G. W.; OR, D. Particle-size analysis. In **Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods** pp. 255-293, 2002.

GASCUE, B. R de et al. Los hidrogeles poliméricos como potenciales reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate em diferentes tipos de suelos. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, Madri, v. 7, N. 3, p.199-210, 2006.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. Conceitos sobre Solos Coesos e Hardsetting. **Scientia Agricola**, v.59, n.3, p. 613-620, .2002.

GREEN, V. S; STOTT, D. E. Sustaining the Global Farm. **Anais[...]** 10th Int. Soil Conservation Org. Meet. EUA, p. 384-389, 1999

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J. H. e TOPP, C., eds. **Methods of soil analysis: Physical methods**. Madison, Soil Science of Society of America, p. 201-228. 2002.

GRULA, M. M., HUANG, M.-L., SEWELL, G. Interaction of certain polycrylamides with soil bacteria. **Soil Science**, v. 158, n.4, p. 291–300, 1994.

GUBIANI, P. I.; GOULART, R.Z.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Crescimento e produção de milho associados com o intervalo hídrico ótimo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p.1502-11, 2013.

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Critical values of soil bulk density evaluated by boundary conditions. **Ciência Rural**, v. 44(6), p. 994-1000, 2014.

HENDERSON, C. W. L. **Compaction of sandy soils and its effects on crop yields**. In 'PROCEEDINGS OF THE FOURTH AUSTRALIAN SOIL CONSERVATION CONFERENCE, Maroochydore, Australia'. (Ed. I. F. Fergus.) p. 28-9, 1985

HENDERSON, C. W. L.; LEVETT, A.; LISLE, D. (1988) The effects of soil water content and bulk density on the compactibility and soil penetration resistance on some Western Australian sandy soils. **Australian Journal of Soil Research**, v. 26, n. 39, p. 1-400, 1988

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. Anuário estatístico do Brasil 1996. Rio de Janeiro: 1997. DISPONIVEL EM: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb_1996.pdf>

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRESOLOS COESOS DOS TABULEIROS, Cruz das Almas, 1996. **Anais[...]**, Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1996. p.13-24.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS, Cruz das Almas, 1996. **Anais[...]**, Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1996. p.13-24.

JATOBÁ, L.; SILVA, A. F.; GOMES, A. L. L. Relevô e solos no domínio morfoclimático dos “mares de morros” em Pernambuco. **Revista Equador**, v. 3, n. 2, p. 2-18, 2014.

JORGE, L. A. C.; Rodrigues, A. F. O; Safira: sistema de análise de fibras e raízes. boletim de pesquisa e desenvolvimento da EMBRAPA instrumentação Agropecuária, São Carlos, 24, 21p. 2008 **Journal of Environmental Quality Abstract** - Vadose Zone Processes and Chemical Transport

JUNG, J; JANG, J. Soil–water characteristic curve of sediments containing a polyacrylamide solution. **Geotech Lett**, v. 6(1), p. 89–94, 2016.

KÄMPF, A. N; TAKANE, R. J; SIQUEIRA, P. T. V. **Floricultura: técnicas de preparo de substratos**. 1.ed. Brasília: LK Editora e comunicações, 2006. 132p

KAY-SHOEMAKE, J. L., WATWOOD, M. E., LENTZ, R. D., SOJKA, R. E. Polyacrylamide as an organic nitrogen source for soil microorganisms with potential effects on inorganic soil nitrogen in agricultural soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.30, n.8-9, p.1045–1052, 1998.

KHODADADI, D. D. Effect of hydrophilic polymers on seed germination and plant survival for sloping area. **Journal of Soil and Water Conservation**. v.73. p.173-178. 2018

KLEIN, V.A.; VIEIRA, M.L.; DURIGON, F.F.; MASSING, J. P. e FAVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, v.38 p.365-371, 2008

KÖPKE, V. Methods for studying root growth. In: **SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM**, 1., Londrina, 1980. Proceedings. Londrina, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1981. p. 303-318.

LABAHN, S. K., FISHER, J. C., ROBLETO, E. A., YOUNG, M. H., MOSER, D. P. Microbially mediated aerobic and anaerobic degradation of acrylamide in a western United States irrigation canal. **J. Environ. Qual** 39, 5, 1563–1569 (2010).

LAIRD, D. A. Bonding between polyacrylamide and clay mineral surfaces. **Soil Science**. v. 162, p. 826-832, 1997

LANDE, S. S., BOSCH, S. J. HOWARD, P. H. Degradation and leaching of acrylamide in soil. **J. Environ. Qual**. 8, 133–137 (1979).

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:415-423, 2004.

LENTZ, R. D. Polyacrylamide and biopolymer effects on flocculation, aggregate stability, and water seepage in a silt loam. **Geoderma**, 241–242, 289–294, 2015.

LENTZ, R.D; SOJKA, R.E. Long-term polyacrylamide formulation affects on soil erosion, water infiltration yields of furrow-irrigated crops. **Agronomy Journal**. v 101, p. 305-314. 2009.

LEVY, G. J.; AGASSI, M. Polymer molecular weight and degree of drying effects on infiltration and erosion of three different soils. **Australian Journal of Soil Research**, v. 33, p. 1007–1018, 1995. doi:10.1071/sr9951007

LI, F. H.; WANG, A. P. Interaction effects of polyacrylamide application and slope gradient on potassium and nitrogen losses under simulated rainfall. **Catena**, v.136, p. 162–174, 2016. doi:10.1016/j.catena.2015.05.008

LIBARDI, I. de JONG VAN LIER, QUIRIJN. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1., Aracaju, 1999. **Anais[...]**. Aracaju: EMBRAPA, 1999. p.57- 87.

LIMA NETO, J.D.A; RIBEIRO, M.R; CORRÊA, M.M; SOUZA, JÚNIOR, V.S.D; LIMA, J.F.W; FERREIRA, R.F.D.A. (2009) Caracterização e gênese de horizontes coesos em

Latossolos e Argissolos dos tabuleiros costeiros do Estado de Alagoas, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 33 , 1001-1011.

LIRA, R. A.; ARAÚJO, M. S. B.; ALMEIDA, B. G., MARCELO, V. F. Uso agrícola e atributos físico-hídricos de solo coeso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.09, n. 07 p. 2277-2289. 2016

LIMA, R. P.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; SILVA, A. R.; PEDROSA, E. M.; FERREIRA, R. L. C. Load-bearing capacity and its relationships with the physical and mechanical attributes of cohesive soil **Journal of Terramechanics**, v. 58, p. 51–58. 2015.

LIMA, R. P.de; SILVA, A. R, SILVA, A. P; LEÃO, T. P; MOSADDEGHI, M. Rsoilphysics: An R package for calculating soil water availability to plants by different soil physical indices. **Computers and Electronics in Agriculture**, v120, p. 63-71. .2016.

LU, J.H.; WU, L.; LETEY, J. Effects of soil and water properties on anionic polyacrylamide sorption. **Soil Science Society of America Journal**. v. 66, p. 578–584. 2002.

LU, M.; WU, X; WEI, X. Chemical degradation of polyacrylamide by advanced oxidation processes. **Environ. Technol.** v 33, p.1021–1028. 2012.

LUCCHESI, A. A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. **Anais[...]** da escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, v. 41, n. 1, p. 181-201, 1984.

MACHADO, K. S.; MALTONI, K. L.; MONTIBELLER, C. S.; CASSIOLATO, A. M. R. Resíduos orgânicos e fósforo como condicionantes de solo degradado e efeitos sobre o crescimento inicial de *Dipteryx alata* Vog. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 541-552, 2014.

MARCELO, V.F; ALMEIDA, B.G; ARAÚJO FILHO, J.C; SOUZA, S.L.W. Disponibilidade hídrica de solo coeso sob a ação de poliacrilamida: qualidade física ambiental. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. Rio de Janeiro, n 42, p. 12-25, 2016.

MCNEAL, J. P.; KRUTZ, L. J.; LOCKE, M. A.; KENTY, M. M.; ATWILL, R. L.; PICKELMANN, D. M.; COX, M. S. Application of Polyacrylamide (PAM) through Lay-Flat Polyethylene Tubing: Effects on Infiltration, Erosion, N and P Transport, and Corn Yield. **Journal of Environment Quality**, v.46(4), p.855-86, 2017. doi:10.2134/jeq2016.08.0299

MCCOLLISTER, D.; HAKER, C.; SADEK, S.; ROWE, V. Toxicologic investigations of polyacrylamides. **Toxicol. Appl. Pharmacol.** v. 7, p. 639–651, 1965.

MELO, D. V. M; ALMEIDA, B.G.A; SOUZA, E. R.; SILVA, S. S; JACOMINE, P. K. T; Qualidade estrutural de solos coesos dos tabuleiros costeiros de Pernambuco tratados com Poliacrilamida. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.38, n.2, p.476-485. 2014

MELO, D. V. M. **Qualidade de Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros de Pernambuco em Função do Uso de Poliacrilamida**.2013. 75 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013.

MILLER, W.P.; WILLIS, R.L.; LEVY, G.J. Aggregate stabilization in kaolinitic soils by low rates of anionic polyacrylamide. **Soil Use and Management**, v. 14, n. 2, p. 101-105. 1998.

MIRANDA, M,F,A; FREIRE,M, B,S; ALMEIDA,B,G; Alcione Guimarães FREIRE, F,J,F; PESSOA,L,G,M. Improvement of degraded physical attributes of a saline-sodic soil as influenced by phytoremediation and soil conditioners, **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64:9,p. 1207-1221,2018.

MOHAMMADI, M.H; ASADZADEH, F.; VANCLOOSTER, M. Refining and unifying the upper limits of the least limiting water range using soil and plant properties. **Plant Soil**, v. 334 (1-2), p.221-234, 2010

MORAIS, O; BOTREL, T. A; DIAS, C. T. S. Efeito do uso de Polimeros Hidroretentores no Solo sobre o Intervalo de Irrigação na Cultura da Alface (*lactuca sativa L.*).**Engenharia Rural**. v 12, p 73-80, 2001.

MOREAU, A. M. S. S.; COSTA, L. M.; KER, J. C. e GOMES, F. H. Gênese de horizonte coeso, fragipã e duripã em solos do tabuleiro costeiro do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v .30, n. 6, p. 1021-1030, 2006

MOTA, D. M. da.; TAVARES, E. D.; FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S.; CARON, PATRICK. Zoneamento agrossocioeconômico dos tabuleiros costeiros e da baixada litorânea de Sergipe. **Agrotrópica (Brasil)**, v. 9, n.1, p. 1-2, 1997

NASCIMENTO, G.B. **Atributos Diferenciais de Latossolos e Argissolos Amarelos: uma contribuição para o SiBCS**. 2005. 143f. Tese (Instituto de Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, 2005

NICOLOSO, R. S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 4 p. 1723-1734, 2008.

NIERO, L. A. C; DECHEN, S. C. F; COELHO, R. M and MARIA, I. C. Avaliações Visuais como Índice de Qualidade do Solo e sua Validação por Análises físicas e químicas em um latossolo vermelho distroférrico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.4, p. 1271-1282, 2010.

OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela “mesa de tensão” em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v3, p 197-200, 1968

ORTS, W.J. A.R.; ESPINOSA, R.E.; SOJKA, G.M.; GLENN, S.H.; IMAM, K.; ERLACHER, and PEDERSEN, J.S. Use of synthetic polymers and biopolymers for soil stabilization in agricultural, construction, and military applications. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 19, p.58–66. 2007. doi:10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:1(58)

OTHMER, H., DIEKKRUGER, B., KUTILEK, M. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science**, v. 52, p.139-150, 1991

PEREIRA, V. H. C.; CESTARO, L. A. A Unidade Geoambiental Tabuleiro Costeiro e o planejamento municipal: o caso de Senador Georgino Avelino/RN. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.3, n.4, p. 390-401, 2012.

PRADO, R. de M.; VIDAL, A. de A. Efeito da omissão de macronutrientes em solução nutritiva sobre o crescimento e nutrição do milheto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 38, n. 3, p. 208-214. Goiânia, 2008

PRATS, S. A.; MARTINS, M. A. S; MALVAR, M. C.; BEN-HUR, M.; KEIZER, J. J. 2014. Polyacrylamide application versus forest residue mulching for reducing post-fire runoff and soil erosion. **Science of the Total Environment**. v. 468, p. 464–474, 2014.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba, Saeafs, 446p. 1996

PRIMAVESI, A. **Manual do solo vivo: solo sadio, planta sadia, ser humano sadio**. 2ª ed. São Paulo, Expressão Popular, 205p, 2016

PRIMAVESI, O.; MELLO, F. A. F. de; LIBARDI, P. L. Porosidade de aeração de solos para a máxima produção de grãos de feijoeiro, em casa de vegetação. **Anais[...]** da Escola Superior Agrícola Luiz de Queiroz, vol. 45, p. 381-396, 1988.

RAMOS, M. R.; CURCIO, G. R.; DEDECEK, R. A.; MELO, V. de F.; UHLMANN, A. Influência da posição na encosta na manifestação do caráter coeso em solos da formação macacu, no estado do rio de janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, p. 837-845. 2013.

RANBY, B. Basic reactions in the photodegradation of some important polymers. **Journal of Macromolecular Science**, Part A, v.30, p.9-10, 583–594. 1993

REICHERT, J. M. et al. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 310-319, 2009.

RESENDE, J. M.A. **Caracterização Pedométrica de Atributos de Argissolos Coesos do Leste Maranhense**. 83 f. Tese (Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal, 2013.

REZENDE, J. O. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI-SPA, 2000. 27,31p. (Série Estudos Agrícolas, 1).

REZENDE, J. O.; MAGALHÃES, A. F. J.; SHIBATA, R. T.; ROCHA, E. S.; FERNANDES, J. C.; BRANDÃO, F. J. C.; REZENDE, V. J. R. P. **Citricultura nos solos coesos dos tabuleiros costeiros: análise e sugestões**. Salvador: SEAGRI, SPA, 2002, 94p. (Série Estudos Agrícolas 3).

RIBEIRO, L.P. **Primeiras avaliações sobre a gênese dos solos coesos da região de Cruz das Almas-BA**. Salvador: UFBA, 1991. 22p.

RIBEIRO, M.R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos tabuleiros costeiros. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 11.,2001. **Anais[...]** Aracajú: EMBRAPA, artigos, p.161 – 168.

RUBIO, H. O.; WOOD, M. K.; CARDENAS, M.; BUCHANAN; B. A. Effect of Polyacrylamide on Seedling Emergence of Theree Grass Species. **Soil Science**, v. 148(5), p. 356–360. 1989. doi:10.1097/00010694-198911000-00006

SANGOI, L., ALMEIDA, M.L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n. 1, p.13-24, 1994.

SANTOS, A. C.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos; BERNINI, T. de A.; COOPER, M.; NUMMER, A. R.; FRANCELINO, M. R. Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de mar de morros do médio Vale do Paraíba do Sul, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 34:p 1297-1314, 2010.

SANTOS, F. L.; CASTANHEIRA, N. L.; MARTINS, O. C. e REIS, J. L. Control with anionic polyacrylamide of runoff and erosion induced by irrigation on Alentejo soils: surfasse and sprinkler irrigation (centerpivot). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 344-359, 2009.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª ed. Revista e ampliada. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

SATURNINO, H. M; LANDERS J.N. **O meio ambiente e o plantio direto**. Goiânia: EMBRAPA, 1997. 116 p.

SEKI, A.S.; SEKI, F.G.; JASPER, S.P.; SILVA, P.R.A.; BENEZ, S.H Efeitos de práticas de descompactação do solo em área sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 460-468, 2015.

SEYBOLD, C.A. Polyacrylamide review: soil conditioning and envi-ronmental fate. In: COMMUN SOIL SCI PLANT. **Anais**, Tylor e Francis. v. 25, p. 2171-218, 1994.

SHANKER, R.; RAMAKRISHNA, C.; SETH, P. K. Microbial degradation of acrylamide monomer. **Archives of Microbiology**, v.154, p.192–198, 1990

SHUKOR, M.Y.; GUSMANIZAR, N.; AZMIL, N. A.; HAMID, M.; RAMLI, J.; SHAMAAN, N. A.; SYED, M. A. Isolation and characterization of an acrylamide-degrading Bacillus cereus. **J. Environ. Biol.** 30, 57 –64 (2009).

SILVA, A. P; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal.**, v. 61, p. 877-883, 1997.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R.; MERMUT, A.R.; BENKE, M.B. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em Latossolos Amarelos coesos do Estado de Alagoas: Propriedades micromorfológicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:515-525, 1998.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R. Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: Propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22 p.291299, 1998.

SILVA JÚNIOR, J. F.; NETO, I. A. A. M. B; ESPÍNDOLA, M.C; CARVALHO, N. S. G. Recursos genéticos nos tabuleiros costeiros e baixada litorânea do Nordeste. In: SILVA JUNIOR, J. F.; LÉDO, A. S. (Eds.). **A cultura da mangaba**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 57-74, 2006.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.6, p.1775-1781, 1994.

SILVA JÚNIOR, J. F.; LEDO, A. S.; AMORIM, E. P.; RODRIGUES, R. F. de A.; FIGUEIROA, J. G. de. Avaliação participativa de variedades de bananeira em áreas de agricultura de base familiar na zona da mata de Pernambuco. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 185). Disponível em <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/109989/1/Doc-185.pdf> >Acessado em: 09 de nov. 2018.

SILVA JÚNIOR, J. F; NETO, I.A.A.M.B; ESPÍNDOLA, M.C; CARVALHO, N.S.G. Recursos genéticos nos tabuleiros costeiros e baixada litorânea do Nordeste. In: SILVA JUNIOR, J. F.; LÉDO, A. S. (Eds.). **A cultura da mangaba**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 57-74, 2006.

SILVA, M.L.N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.J.G.S.M.; CARVALHO, A.M. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**., 33:97-103, 1998.

SILVA-OLAYA, A.; PELLEGRINO, C.; CERRI, C. Comparação de métodos de amostragem para avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34(1), p. 7-16, 2017.

SMITH, E. A., PRUES, S. L. OEHME, F. W. Environmental degradation of polyacrylamides. **Ecotoxicol. Environ. Saf.** v.37, p.76 –91, 1997.

SOJKA, R. E; SURAPANENI, A. Polyacrylamides in irrigated agriculture, NPIRD project UNE39 final report, **LWRRDC**, Canberra. 2000.

SOJKA, R. E.; BJORNEBERG, D. L., ENTRY, J. A.; LENTZ, R. D.; ORTZ, W. J. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. **Advances in agronomy**. v. 92, p. 75 –162, 2007.

SOUZA, E. G.; ROCHA, T.; URIBE-OPAZO, M. A.; NÓBREGA, L. H. P. Índices de vegetação no milho em função da hora do dia e da taxa de nitrogênio aplicada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.865-872, 2009.

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; CALDAS, R.C. Identificação da coesão com base em atributos físicos convencionais em solos dos Tabuleiros Costeiros. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. Aracaju, 2001. **Anais[...]**: Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001, p. 169-190.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.17, n.12, p., 2013.

TANII, H.; HASHIMOTO, K. Studies on in vitro metabolism of acrylamide and related compounds. **Arch. Toxicol.** V. 48, p. 157–166. 1981.

THAKUR, V. K.; THAKUR, M. K.; RAGHAVAN, P.; KESSLER, M. R. Progress in green polymer composites from lignin for multifunctional applications: A review. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 2(5), p. 1072–1092, 2014.

THAKUR, V. K; THAKUR, M. K.; VOICU, S.I. **Gels Horizons: From Science to Smart Materials**. Editora Springer, 2018. p 405

TOLSTIKH, L. I., AKIMOV, N. I., GOLUBEVA, I. A., SHYETSOV, I. A. Degradation and Stabilization of Polyacrylamide in Polymer Flooding Conditions. **International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials**, v.17, p.177–193. 1992.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M.V. Intervalo ótimo de potencial da água no solo: um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v3, n3, p. 286-292, 1999

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, n.4, p.573- 581, 1998.

VACHER, C. A.; LOCH, R. J.; RAINE, S. R. Effect of polyacrylamide additions on infiltration and erosion of disturbed lands. **Australian Journal of Soil Research**, v. 41, p. 1509–1520, 2003.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, Sept./Oct. 1980.

VAN LIER, Q. de J.; GUBIANI, P.I. Beyond the “Least Limiting Water Range”: rethinking soil physics research in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.925-939, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbcs20140596

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**, Ed. McGraw Hill do Brasil Ltda., São Paulo, 1977. 509 p.

VIEGAS, P. R. A. **Elementos essenciais e benéficos às plantas cultivadas**. In: GOMES, J. B. V.; Filho, J.C. A.; S, O. J. W.; Filho, A. C.; Sobral, L. F.; principais classes de solo do estado de Sergipe. In: Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes no estado de Sergipe. 1.ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, P. 81–95, 2007

VIEIRA, J. M.; ROMERO, R. E.; FERREIRA, T. O.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 623-632, 2012.

VITTI, C. G.; LUIZ, P. H. C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba, SP. GAPE, p. 104, 2008.

VLEESCHAUWER, D.; LAL, R.; BOODT, M. Comparison of detachability indices in relation to soil erodibility for some important Nigerian soils. **Pedologie**, v 1. p 5-20, 1978.

WALLACE, A.; WALLACE, G.A; ABOUZAMZAM, A. M. Effects of excess of levels of a polymer as a soil conditioner on yields and mineral nutrition of plants. **Soil Sci**, 141:377-380, 1986^a

WHITELEY, G. M.; DEXTER, A. R. Root development and growth of oilseed, wheat and pea crops on tilled and non-tilled soil. **Soil and Tillage Research**, v. 2, p. 379-93, 1982

WHITELEY, G. M.; DEXTER, A. R. The behaviour of roots encountering cracks in soil. I. Experimental methods and results. **Plant and Soil**, v. 77, p.141-9, 1984.

WILKINSON, J. O futuro do sistema alimentar. São Paulo: **Editora Hucitec**; 1989.

WINTER, E.J. A. Água, o solo e a planta. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1976, 170 p

WU, L.; FENG, G.; LETEY, J.; FERGUSON, L.; MITCHELL, J.; Mc CULLOUGH-SANDEN, B. e MARKEGARD, G. Soil management effects on the non limiting water range. **Geoderma**, 114:401-414, 2003.

XIONG, B., LOSS, R. D., SHIELDS, D., PAWLIK, T., HOCHREITER, R., ZYDNEY, A. L., KUMAR, M. Polyacrylamide degradation and its implications in environmental systems. **Npj Clean Water**, v.1, 1. 2018.

YAKUPOGLU, T.; RODRIGO-COMINO, J.; CERDÀ, A. Potential benefits of polymers in soil erosion control for agronomical plans: A laboratory experimente. **Agronomy**, v.9(6), 276, p. 1-15, 2019

YUAN, X. F.; JIAN, J. S; WEI, X. D.; YING, Y. Application of polyacrylamide reducing nitrate-N and soluble P losses from a Lou soil in a soil column experiment. **International Agricultural Engineering Journal**, v. 26(1), p. 1–8, 2017.

YU, J.; LEI, T.: SHAINBERG, I.; MAMEDOV, A. I.; LEVY, G.J. Infiltration and erosion in soils treated with dry PAM and gypsum. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, p. 630–636, 2003.