



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

GUSTAVO HENRIQUE DA SILVA ALBUQUERQUE

**HIDROGEL DE ACRILAMIDA E ACRILATO PARA ESTRATÉGIAS DE
RECUPERAÇÃO DE UM ARGISSOLO EM PROCESSO DE DEGRADAÇÃO**

FORTALEZA

2019

GUSTAVO HENRIQUE DA SILVA ALBUQUERQUE

HIDROGEL DE ACRILAMIDA E ACRILATO PARA ESTRATÉGIAS DE
RECUPERAÇÃO DE UM ARGISSOLO EM PROCESSO DE DEGRADAÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo do Solo e da Água.

Orientadora: Prof(a). Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A31h Albuquerque, Gustavo Henrique da Silva.
Hidrogel de acrilamida e acrilato para estratégias de recuperação de um Argissolo em processo de degradação / Gustavo Henrique da Silva Albuquerque. – 2019.
124 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2019.
Orientação: Profª. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.
Coorientação: Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota .
1. Semiárido. 2. Polímeros. 3. Reflorestamento. 4. Handroanthus impetiginosus. I. Título.
- CDD 631.4
-

GUSTAVO HENRIQUE DA SILVA ALBUQUERQUE

HIDROGEL DE ACRILAMIDA E ACRILATO PARA ESTRATÉGIAS DE
RECUPERAÇÃO DE UM ARGISSOLO EM PROCESSO DE DEGRADAÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo do Solo e da Água.

Aprovada em: 31/10/2019.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Paulo Furtado Mendes Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof(a). Dra. Judith Pessoa de Andrade Feitosa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Roberto Albuquerque Pontes Filho
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida;

À minha família: Maria Deusa (mãe), João Batista (pai), João Gabriel (irmão) pelo incentivo, confiança, amor, ajuda e, em especial, por todo carinho ao longo desta caminhada longa;

À minha esposa Katiana Sousa Veras Albuquerque, pelo amor, compreensão, incentivo, atenção e por estar sempre ao meu lado em todos os momentos;

Ao meu sogro (José Edmar) e sogra (Maria Gorete), bem como às cunhadas e seus respectivos esposos Luciana (e Wagner) e Lidiana (e Fabiano), pelo incentivo de sempre;

À Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do mestrado e doutorado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudo e ao Projeto Pró-Integração (nº 55/2013) que viabilizou a realização desta pesquisa e a minha ida ao exterior;

À professora Dra. Mirian Cristina Gomes Costa, pela orientação, conselhos e presteza ao longo desses quatro anos;

Aos professores da Universidad Nacional de Quilmes (UNQ) Dr. Alejandro Ferrari e Dr. Luiz Wall, pela recepção, orientação e paciência durante minha estadia na Argentina;

Aos professores do Departamento de Ciências do Solo, pelos ensinamentos transmitidos em suas disciplinas e conversas informais;

Aos membros da banca de avaliação desse trabalho, em especial a professora Dra. Judith, e aos professores doutores Paulo Furtado, Jaedson Mota e Roberto Albuquerque, que participaram desde início da elaboração do projeto;

A todos os membros da equipe de trabalho do GEPE Solos e Solos na Escola, pelas trocas de conhecimentos e informações que foram e são fundamentais para minha formação profissional;

Aos membros da equipe do Laboratório de Manejo e Conservação do Solo: Isabel, Rafaela, Carla, Luan, Lucas, Ruan e Bruna, pela amizade e auxílio na realização das coletas e análises dos solos;

Aos amigos do Departamento de Ciências do Solo: Gleiciane, Edilaine, Ana Carla, Emanuella, Raquel, Ana Caroline, Vanessa, Erika, Angélica, Iúna, Cillas, Israel, Wilson, Carlos Eduardo, Ademir, Azevedo, Luís, Alcione, Kaio e Zé Filho;

Aos técnicos de laboratório Deyse Maia, Franzé, Fátima Rêgo, Crisanto, Tavares, Amilson, Antônio José pela ajuda na realização de algumas análises, em especial a Deyse e Franzé pela amizade;

Aos supervisores dos laboratórios de Física do Solo, Microbiologia do Solo, Manejo do Solo e Química do Solo, por terem colaborado com a disponibilização dos espaços e equipamentos para as realizações das análises;

Aos servidores técnico-administrativos do Departamento de Ciências do Solo/UFC, pelo companheirismo;

Aos companheiros de “cela” Lucas Oliveira, Marcos Pedroza, Joaquim, Tiago, Luiz Felipe e Eduardo;

Aos anjos da guarda Graça (Didi), Iolanda, Maria José (Dedé), Rosélia, Jessica, Edmar Filho, Almerinda (Memé) e Mario, pelo forte apoio e acolhimento em Fortaleza;

Aos que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho;

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.”.

RESUMO

O uso de hidrogéis como condicionadores de solo constitui técnica promissora. Neste estudo pretendeu-se comprovar as seguintes hipóteses: o hidrogel aumenta a macroporosidade do solo; a degradação do hidrogel incrementa teores de nitrogênio (N) e potássio (K) no solo e nas plantas; e a aplicação do hidrogel no solo aumenta a biomassa microbiana. Foram instalados quatro experimentos em casa de vegetação, com delineamento inteiramente aleatorizado. No experimento 1, o efeito do hidrogel nos atributos físicos do solo, pelo fatorial 6x4, sendo seis doses de hidrogel (0; 0,15; 0,30; 0,60; 1,20 e 2,40 g kg⁻¹) e quatro ciclos de umedecimento e secagem (0, 3, 6 e 9 ciclos), com três repetições. No experimento 2, a liberação de N e K do hidrogel e a absorção desses pelas mudas de Ipê roxo, em fatorial 5x4 com cinco doses de hidrogel (0; 0,30; 0,60; 1,20 e 2,40 g kg⁻¹) e quatro períodos de avaliação (30, 60, 90 e 120 dias) com quatro repetições. Nos experimentos 3 e 4 foi avaliado o efeito do hidrogel na microbiota do solo, em fatorial 5x3, com as mesmas doses de hidrogel do experimento 2 ao final de três tempos de incubação (30, 60 e 90 dias) com quatro repetições. Os dados dos experimentos foram submetidos à análise de variância, seguido do teste de Tukey ($p < 0,05$) e a análise de regressão. Já nos experimentos 3 e 4 foram realizadas análises de variância multivariada, de agrupamentos, discriminantes e componentes principais. O aumento nas doses do hidrogel e o maior número de ciclos de umedecimento e secagem diminuíram a densidade do solo, o grau de floculação, porosidade total e macroporosidade, e aumentaram a microporosidade e a água disponível. O solo com doses de hidrogel e submetido aos ciclos apresentou retenção de água menor que o solo original (sem dose e nenhum ciclo). O incremento aumentou os teores dos macronutrientes, sendo que teores mais altos de N e P no solo ocorreram aos 30 e 120 dias da aplicação do produto. As doses de hidrogel resultaram em maior acúmulo de N, P, K, Ca e Mg na matéria seca vegetal, em especial aos 90 e 120 dias após o transplante das mudas, refletindo em ganhos de crescimento e qualidade das mudas avaliadas. A baixa atividade microbiana, o crescimento da biomassa e a melhor eficiência da biomassa em utilizar o carbono foram encontrados nas doses 1,2 e 2,4 g kg⁻¹ de hidrogel aos 90 dias de incubação. Doses de hidrogel acima de 0,3 g kg⁻¹ favoreceram a biomassa microbiana atingindo o máximo com a dose de 1,9 g kg⁻¹ de solo aos 90 dias de incubação. Doses de 0 a 0,6 g kg⁻¹ aumentaram a atividade microbiana aos 30 e 60 dias de incubação, mas a estabilização do meio ocorreu com aplicação das doses maiores. O teor de lipídios totais foi crescente com as doses do hidrogel.

Palavras-chave: Semiárido. Polímeros. Reflorestamento. *Handroanthus impetiginosus*.

ABSTRACT

The use of hydrogels as soil conditioners is a promising technique. This study aimed to prove the following hypotheses: the hydrogel increases the macroporosity of the soil; hydrogel degradation increases nitrogen (N) and potassium (K) levels in soil and plants; and hydrogel application to the soil increases microbial biomass. Four greenhouse experiments were carried out with a completely randomized design. In experiment 1, the effect of hydrogel on soil physical attributes, by factorial 6x4, being six hydrogel doses (0, 0.15, 0.30, 0.60, 1.20 and 2.40 g kg⁻¹). and four wetting and drying cycles (0, 3, 6 and 9 cycles), with three repetitions. In experiment 2, the release of N and K from the hydrogel and their absorption by the Ipê purple seedlings, in a 5x4 factorial with five hydrogel doses (0, 0.30, 0.60, 1.20 and 2.40 g kg⁻¹) and four evaluation periods (30, 60, 90 and 120 days) with four repetitions. In experiments 3 and 4, the effect of the hydrogel on the soil microbiota in a 5x3 factorial was evaluated, with the same hydrogel doses of experiment 2 at the end of three incubation times (30, 60 and 90 days) with four replications. Experimental data were subjected to analysis of variance, followed by Tukey test ($p < 0.05$) and regression analysis. In experiments 3 and 4, multivariate analysis of variance, groupings, discriminants and main components were performed. Increasing hydrogel doses and longer wetting and drying cycles decreased soil density, flocculation degree, total porosity and macroporosity, and increased microporosity and available water. The soil with hydrogel doses and submitted to cycles presented lower water retention than the original soil (no dose and no cycle). The increase increased the macronutrient contents, and higher levels of N and P in the soil occurred at 30 and 120 days of application of the product. Hydrogel doses resulted in higher accumulation of N, P, K, Ca and Mg in plant dry matter, especially at 90 and 120 days after seedling transplantation, reflecting growth gains and quality of the evaluated seedlings. Low microbial activity, biomass growth and better biomass efficiency in carbon utilization were found at hydrogel doses 1.2 and 2.4 g kg⁻¹ at 90 days of incubation. Hydrogel doses above 0.3 g kg⁻¹ favored microbial biomass peaking at the 1.9 g kg⁻¹ soil level at 90 days of incubation. Doses from 0 to 0.6 g kg⁻¹ increased microbial activity at 30 and 60 days of incubation, but medium stabilization occurred with higher doses. Total lipid content increased with hydrogel doses.

Keywords: Semiarid. Polymers in agriculture. Reforestation. *Handroanthus impetiginosus*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Curva da cinética de intumescimento em água destilada ao longo do tempo	40
Figura 2	– Imagem ilustrativa do hidrogel comercial Forth Gel [®] usado nos experimentos	41
Figura 3	– Unidades experimentais com tubos de PVC contendo o Argissolo com as doses de Forth Gel [®] acondicionados em bandejas para submetê-los aos ciclos de umedecimento e secagem (A) e para o tratamento com a dose de 0,15 g kg ⁻¹ após nove ciclos U/S e destaque os tubos com as amostras indeformadas (B)	42
Figura 4	– Unidades experimentais correspondentes ao Experimento 2 – crescimento de mudas de ipê roxo com diferentes doses do hidrogel Forth Gel [®]	45
Figura 5	– Passos da análise de lipídios totais pelo sistema MIDI pré-tratamento (A); amostras de 1 g para análise (B); saponificação (C); metilação (D); agitação no oscilador orbital (E); recuperação dos FAMES produzidos (F); extração (G); aporte do standart 19:0 (H); lavagem (I); retirada da alíquota do FAME (J); secagem com gás argônio ou hidrogênio (H ₂) (K); leitura no cromatógrafo gasoso (L)	50

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 – Densidade do solo (Ds) (g cm^{-3}) do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel ($\text{g Forth Gel}^{\text{®}}$ kg^{-1} de solo) durante quatro ciclos de umedecimento e secagem (U/S) 53
- Gráfico 2 – Porosidade total (PT) (A), macroporosidade (B) e microporosidade (C), em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel ($\text{g Forth Gel}^{\text{®}}$ kg^{-1} de solo) dentro de quatro ciclos de umedecimento e secagem (U/S) 55
- Gráfico 3 – Grau de floculação (GF) (%) do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel ($\text{g Forth Gel}^{\text{®}}$ kg^{-1} de solo) dentro de quatro ciclos de umedecimento e secagem (U/S) 57
- Gráfico 4 – Comparativo dos teores de argila (%) entre solo original e os tratamentos sem Forth Gel[®] nos quatro ciclos de U/S (A) e médias teores de argila (%) do Argissolo Vermelho Amarelo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para os ciclos de umedecimento e secagem (U/S) (B) 58
- Gráfico 5 – Conteúdos de água ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) do Argissolo Vermelho Amarelo sem hidrogel (A); e submetido nas doses de 0,15 (B); 0,30 (C); 0,6 (D); 1,2 (E) e 2,4 (F) do Forth Gel[®] (g kg^{-1} de solo) dentro de quatro ciclos de umedecimento e secagem (U/S) 60
- Gráfico 6 – Conteúdos de água ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) do Argissolo Vermelho Amarelo nos quatros ciclos de umedecimento e secagem (U/S) – 1 U/S (A), 3 U/S (B), 6 U/S (C) e 9 U/S (D) dentro das doses de hidrogel (Forth Gel[®]) 62
- Gráfico 7 – Regressão da água disponível (AD) em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ em resposta às doses de hidrogel (Forth Gel[®]) 64
- Gráfico 8 – Médias de água disponível (AD) em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ para doses de Forth Gel[®] (g kg^{-1}) dentro dos quatro ciclos umedecimento e secagem (U/S) comparando com a média de AD do solo original ($0,045 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) 65

Gráfico 9 – Médias de pH do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel (g Forth Gel [®] kg ⁻¹ de solo) nas quatro épocas de avaliação	67
Gráfico 10 – Regressão das médias de condutividade elétrica (CE) de um Argissolo Vermelho Amarelo em degradação submetido a doses de hidrogel (Forth Gel [®])	68
Gráfico 11 – Regressão das médias de nitrogênio total (Nt) do Argissolo Vermelho Amarelo em degradação submetido a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) (A) e médias de nitrogênio total (Nt) pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ nas quatro épocas avaliadas (DAT) (B)	69
Gráfico 12 – Regressão das médias de fósforo disponível (P) do Argissolo Vermelho Amarelo em degradação submetido a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) (A) e médias de fósforo disponível (P) pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ nas quatro épocas avaliadas (DAT) (B)	70
Gráfico 13 – Regressão das médias de potássio (K) do Argissolo Vermelho Amarelo em degradação submetido a doses de hidrogel (Forth Gel [®])	70
Gráfico 14 – Regressão das médias de cálcio (Ca) do Argissolo Vermelho Amarelo em degradação submetido a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) nas quatro épocas de avaliação	71
Gráfico 15 – Regressão das médias de sódio (Na) do Argissolo Vermelho Amarelo em degradação submetido a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) (A) e médias de sódio (Na) pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ nas quatro épocas avaliadas (DAT) (B)	72
Gráfico 16 – Regressão das médias da capacidade de troca de cátions (CTC) do Argissolo Vermelho Amarelo em degradação submetido a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) nas quatro épocas de avaliação	73
Gráfico 17 – Regressão do acúmulo de nitrogênio (AN) na parte aérea do ipê roxo <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) para quatro épocas de avaliação	74

Gráfico 18 – Regressão do acúmulo de potássio (AK) nas mudas de ipê roxo <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) para quatro épocas de avaliação	75
Gráfico 19 – Regressão do acúmulo de fósforo (AP) nas mudas de ipê roxo <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) para quatro épocas de avaliação	76
Gráfico 20 – Regressão do acúmulo de cálcio (ACa) nas mudas de ipê roxo <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) para quatro épocas de avaliação	77
Gráfico 21 – Regressão do acúmulo de magnésio (AMg) nas mudas de ipê roxo <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) para quatro épocas de avaliação	77
Gráfico 22 – Regressão das médias da massa seca total (MST) em gramas, de mudas de ipê roxo <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) para quatro épocas de avaliação	79
Gráfico 23 – Regressão das médias da eficiência de utilização biológica de nitrogênio (EUBn) para as mudas de ipê roxo <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) para quatro épocas de avaliação	80
Gráfico 24 – Regressão dos incrementos médios de comprimento de raízes (IMCR) em cm dia ⁻¹ das mudas de ipê roxo <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel [®])	80
Gráfico 25 – Regressão dos incrementos médios de altura (IMA) em cm dia ⁻¹ das mudas de ipê roxo <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) para quatro épocas de avaliação	81
Gráfico 26 – Médias da relação de altura e diâmetro do colo (H/DC) pelo teste de Tukey a p < 0,05 nas quatro épocas avaliadas (DAT)	82
Gráfico 27 – Médias da relação de altura e massa seca parte aérea (H/MSPA) pelo teste de Tukey a p < 0,05 nas quatro épocas avaliadas (DAT)	83

Gráfico 28 – Regressão da relação entre massa seca da parte aérea e massa seca das raízes (MSPA/MSR) das mudas de ipê roxo <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) para quatro épocas de avaliação	83
Gráfico 29 – Regressão do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) para as mudas de ipê roxo <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) para quatro épocas de avaliação	84
Gráfico 30 – Dendrograma de análise de agrupamento por similaridade dos grupos de tratamentos, tendo como base as medidas de distâncias Euclidianas	87
Gráfico 31 – Análise de componentes principais (ACP - Biplot) mostrando os efeitos combinados das doses de hidrogel (Forth Gel [®]) (CP1) e tempo de incubação (CP2)	88
Gráfico 32 – Regressão do carbono orgânico total (COT) do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) em três tempos de incubação	89
Gráfico 33 – Respiração basal (RB _{acum}) do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) em três tempos de incubação	90
Gráfico 34 – Regressão do carbono da biomassa microbiana (CBM) do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) em três tempos de incubação	91
Gráfico 35 – Regressão do quociente metabólico (qCO_2) do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) em três tempos de incubação	91
Gráfico 36 – Regressão do quociente microbiano ($qMic$) do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel (Forth Gel [®]) em três tempos de incubação	92
Gráfico 37 – Regressão dos teores de lipídios totais do Argissolo Vermelho Amarelo submetido às doses de hidrogel (Forth Gel [®])	93

Gráfico 38 – Análise de componentes principais (ACP - Biplot) mostrando os efeitos combinados dos tempos de incubação (CP 1) e doses de hidrogel (Forth Gel®) (CP 2)	95
Gráfico 39 – Biplot da análise discriminante para os ácidos graxos de maiores cargas, considerando os tempos de incubação como repetições (A) e biplot da análise discriminante para os ácidos graxos de maiores cargas, considerando como variáveis as classes de lipídios (B)	98
Gráfico 40 – Análise de componentes principais (ACP - Biplot) mostrando os efeitos combinados dos tempos de incubação (CP 1) e doses de hidrogel (Forth Gel®) (CP 2) para os ácidos graxos com maiores cargas obtidas na análise discriminante	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Atributos morfológicos do perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (PVAe)	36
Tabela 2	– Atributos físicos do perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (PVAe)	36
Tabela 3	– Atributos químicos do perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (PVAe)	37
Tabela 4	– Caracterização física e química do horizonte superficial (0-10 cm) e subsuperficial (20-70 m) do Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico	38
Tabela 5	– Caracterização microbiológica (tempo zero) para o horizonte superficial (0-10 cm) do Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico	39
Tabela 6	– Composição química elementar do hidrogel comercial Forth Gel [®] , em %	39
Tabela 7	– Resumo da análise de variância (ANOVA) para os atributos físicos do Argissolo	53
Tabela 8	– Resumo da análise de variância (ANOVA) para os atributos químicos do Argissolo	67
Tabela 9	– Resumo da ANOVA com valores de F para os acúmulos totais de macronutrientes no ipê roxo <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	73
Tabela 10	– Resumo da ANOVA para os índices e relações de crescimento do Ipê roxo <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	78
Tabela 11	– Resumo a análise de variância (ANOVA) apenas com os valores do teste F para os atributos microbiológicos da Argissolo	86
Tabela 12	– Análise de variância multivariada (MANOVA) para todas as variáveis estudadas	86
Tabela 13	– Coeficientes de correlação de Pearson e suas respectivas probabilidades	88

Tabela 14 – Codificação, fórmulas dos ácidos graxos identificados nas amostras incubadas com diferentes doses de Forth Gel® e suas respectivas cargas da análise discriminante	94
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	Água Disponível
ADA	Argila Dispersa em Água
AMD	Acrilamida
ANOVA	Análise de Variância
C/N	Relação Carbono:Nitrogênio
C/P	Relação Carbono:Fósforo
CBM	Carbono da Biomassa Microbiana
CE	Condutividade Elétrica
COT	Carbono Orgânico Total
DC	Diâmetro do Colo
EUBn	Eficiência de Utilização Biológica
FAME	Fatty Acids Metyl Ester
GF	Grau de Floclulação
IMA	Incremento Médio de Altura
IMCR	Incremento Médio Crescimento de Raízes
IQD	Índice de Qualidade de Dickson
MACRO	Macroporosidade
MANOVA	Análise de Variância Multivariada
MICRO	Microporosidade
MIDI	Microbial Identification
MSPA	Massa Seca da Parte Aérea
MSR	Massa Seca das Raízes
MST	Massa Seca Total
PAM	Poliacrilamida
PLFA	Phospholipid Fatty Acids
PT	Porosidade Total
PVAe	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico
qCO_2	Quociente Metabólico
$qMic$	Quociente Microbiano
RB ou	Respiração Basal
RBacum	

SAP	Polímeros Superabsorvente
SB	Soma de Bases
T ou CTC	Capacidade de Troca de Cátions
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
TFSE	Terra Fina Seca em Estufa
U/S	Umedecimento/Secagem
UTM	Universal Transversa de Mercator
V	Saturação por Bases
WCFA	Whole Cell Fatty Acids

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
2	REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1	Caracterização das regiões semiáridas	22
2.2	Importância da revegetação para recuperar solos degradados	23
2.3	Polímeros superabsorventes (hidrogéis)	24
2.3.1	<i>Conceitos e características dos hidrogéis</i>	24
2.3.2	<i>Efeitos dos hidrogéis nos atributos físicos do solo</i>	26
2.3.3	<i>Efeitos dos hidrogéis nos atributos químicos do solo e no crescimento de mudas de <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos</i>	29
2.3.4	<i>Aspectos biológicos da aplicação de hidrogéis no solo e uso da técnica de identificação da biomassa microbiana por meio da quantificação de lipídios totais em culturas puras pelo sistema MIDI</i>	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1	Caracterização do solo dos experimentos	36
3.2	Caracterização do hidrogel comercial Forth Gel®	39
3.3	Estudo dos efeitos do hidrogel na estrutura do solo (Experimento 1)	40
3.3.1	<i>Local de instalação, delineamento experimental e tratamentos</i>	40
3.3.2	<i>Instalação e condução do experimento</i>	41
3.3.3	<i>Análises dos atributos físicos</i>	42
3.4	Estudo dos efeitos do hidrogel na liberação de nitrogênio e potássio no solo (Experimento 2)	44
3.4.1	<i>Local de instalação, delineamento experimental e tratamentos</i>	44
3.4.2	<i>Instalação e condução do experimento</i>	44
3.4.3	<i>Análises</i>	45
3.4.3.1	<i>Análises do material vegetal</i>	45
3.4.3.2	<i>Análises químicas de solo ao final do experimento</i>	46
3.4.3.3	<i>Análise do estado nutricional do material vegetal</i>	46
3.5	Estudo dos efeitos do hidrogel na microbiota do solo (Experimento 3)	47
3.5.1	<i>Local de instalação e solo utilizado no experimento, delineamento experimental e condução do experimento</i>	47
3.5.2	<i>Análises microbiológicas do solo</i>	47
3.6	Avaliação indireta da microbiota de um solo incubado com hidrogel por	

	meio da quantificação do FAME/MIDI (Experimento 4)	48
3.6.1	<i>Local de instalação e solo utilizado no experimento, delineamento experimental e condução do experimento.....</i>	48
3.6.2	<i>Análise de lipídios totais (FAME/MIDI).....</i>	48
3.7	Análises estatísticas.....	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1	Efeito do hidrogel nos atributos físicos do Argissolo em processo de degradação.....	53
4.2	Liberação de nitrogênio e potássio da constituição do hidrogel e sua relação com o crescimento inicial de mudas de Ipê roxo <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos.....	66
4.2.1	<i>Atributos químicos do solo ao final do experimento</i>	66
4.2.2	<i>Crescimento inicial e nutrição de mudas ipê roxo <i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos submetidas aos tratamentos com hidrogel.....</i>	73
4.3	Avaliação da microbiota do Argissolo incubado com doses de hidrogel...	85
5	CONCLUSÕES.....	101
	REFERÊNCIAS.....	102

1 INTRODUÇÃO

A degradação dos solos no semiárido brasileiro tem caráter natural, mas pode ser intensificada pela ação antrópica. O clima na região é caracterizado pela precipitação média anual abaixo dos 800 mm e de ocorrência irregular, além de elevadas temperaturas que resultam em altas taxas de evapotranspiração. A predominância de solos rasos a pouco profundos, mais susceptíveis à processos erosivos, e da cobertura vegetal constituída por plantas caducifólias que oferecem pouca proteção, favorecem a degradação dos solos. Outra característica que intensifica a degradação na região é a interferência humana na exploração dos recursos naturais, com substituição da vegetação nativa por pastagens associadas ao superpastoreio, queima dos restos vegetais antes do preparo do solo para a agricultura e contínua exploração madeireira.

Todas estas causas de degradação dos solos promovem consequências desastrosas ao ambiente. A principal delas é a perda de solo, acarretando diminuição na capacidade de armazenamento de água e nutrientes, o que leva à diminuição da cobertura vegetal. Outros prejuízos envolvem a perda de fertilidade, alteração da estrutura e redução da diversidade e da atividade de organismos edáficos benéficos.

Neste contexto, quem vive no semiárido brasileiro tem o desafio de aumentar a produtividade e promover a sustentabilidade dos recursos naturais. Logo, é imprescindível que haja meios de recuperar as áreas degradadas e/ou proteger as áreas susceptíveis à degradação. A revegetação é uma das ações para recuperação dos solos degradados, mas há dificuldades para a sobrevivência de plantas devido à baixa disponibilidade hídrica desta região. Assim, torna-se importante o desenvolvimento de tecnologias apropriadas ao semiárido, ser economicamente viáveis e que devem contribuir com a recuperação da qualidade física, química e biológica dos solos, a curto e médio prazos, possibilitando a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas. O uso de condicionadores de solo, como os polímeros hidrorretentores (hidrogéis), pode constituir uma tecnologia promissora na revegetação de solos degradados em regiões semiáridas.

Os fabricantes de hidrogéis comerciais apresentam como efeitos da aplicação dos polímeros no aumento na capacidade de retenção de água e na capacidade de troca de cátions dos solos, aumentando a retenção de água e nutrientes disponíveis para as plantas. Mesmo assim, as informações sobre o uso de hidrogéis e suas interferências direta e indireta na fertilidade, na microbiota e na estrutura dos solos são escassas, sobretudo nas condições edafoclimáticas do semiárido.

Supõe-se que os hidrogéis afetem os atributos físicos do solo, pois além de serem superabsorventes, apresentam capacidade de expansão (umedecimento – retenção de água) e contração (secagem – liberação de água), o que pode favorecer a agregação do solo. Supõe-se também que, quando aplicados ao solo, liberam elementos que contribuem com a nutrição mineral das plantas. Adicionalmente, se os hidrogéis melhoram a disponibilidade de água e nutrientes, também devem provocar mudanças na microbiota do solo.

Com base no que foi exposto, este projeto foi elaborado para investigar as três hipóteses seguintes: há um número de ciclos de umedecimento e secagem que, associado a uma dose do hidrogel acrilamida e acrilato de potássio, aumenta a macroporosidade do solo; a degradação desse hidrogel incrementa os teores de nitrogênio e potássio na solução do solo e nas plantas e a aplicação deste mesmo hidrogel aumenta a biomassa microbiana do solo a curto prazo.

O objetivo geral do projeto foi avaliar o potencial do hidrogel para uso como melhorador de atributos físicos, químicos e biológicos de um solo em processo de degradação. Os objetivos específicos foram: analisar atributos físicos de um solo tratado com doses do hidrogel acrilamida e acrilato de potássio e submetido a quatro ciclos de umedecimento e secagem; comprovar que em substratos contendo esse hidrogel ocorre liberação gradativa de nitrogênio e potássio, refletindo no desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em mudas de ipê roxo, *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, e quantificar as mudanças na microbiota por meio da mensuração do carbono da biomassa microbiana e pela quantificação dos lipídios totais por meio do sistema Microbial Identification (MIDI).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização das regiões semiáridas

As regiões áridas e semiáridas correspondem a mais de 1/3 da superfície terrestre do planeta, atingindo aproximadamente 2,6 bilhões de pessoas (ALAZARD *et al.*, 2015; YANG; WILLIAMS, 2015). Cerca de 54% dessas regiões são áreas agrícolas onde vive 1/3 da população rural (ROCHA; SOARES, 2015). De modo geral, as regiões semiáridas têm índices de aridez entre 0,21 e 0,5 e possuem características semelhantes, como escassez de água, estação chuvosa curta e altos níveis de irradiação solar, gerando um balanço hídrico negativo na maioria dos meses, baixo nível econômico da população e acesso limitado às tecnologias (CESANO *et al.*, 2012).

A região semiárida brasileira, com área de 982.566 km², é a maior do mundo e estende-se por nove estados da União, correspondendo a 18,2% do território nacional e 53% da região Nordeste, abrangendo 1.262 municípios (BRASIL, 2017), sendo uma das áreas semiáridas de maior densidade populacional do planeta com nove milhões habitantes, dos quais muitos vivem na zona rural (SANTOS *et al.*, 2007).

No semiárido brasileiro o clima predominante é o Bsh, segundo a classificação de Köppen, com temperaturas médias elevadas e poucos graus de diferença entre as médias dos meses mais frios e mais quentes. Nessa região, as precipitações são mal distribuídas, variando entre 250 a 800 mm ano⁻¹, e a evapotranspiração é alta (GARIGLIO *et al.*, 2010).

O relevo da região é variável, com altitude média de 400 m, podendo atingir 1.000 m e encostas com inclinações entre 4% e 40%, com presença marcante de processos erosivos principalmente nas áreas antropizadas (SILVA, 2000). A caatinga é a vegetação predominante, abrangendo 844.453 km² (BRASIL, 2004), tendo sido classificada como floresta seca tropical decídua, arbusto espinhoso e suculento ou caducifólia espinhosa, e que oferece pouca proteção ao solo.

O semiárido apresenta heterogeneidade de classes de solo que variam desde solos jovens a evoluídos, mineralmente ricos, pedregosos, rasos e reduzida capacidade de retenção de água e duas formações geológicas principais: a sedimentar (leste) e a cristalina (oeste) (JACOMINE, 2002). Cerca de 43% das classes de solo são Luvisolos, Planossolos e Neossolos Litólicos, que apresentam limitações quanto à pedregosidade, profundidade efetiva, drenagem e elevados teores de sódio trocável, indicando susceptibilidade aos processos erosivos (CUNHA *et al.*, 2010; SALCEDO; SAMPAIO, 2008; TRAORÉ *et al.*, 2015). Os Latossolos, Neossolos

Litólicos, Argissolos e Luvisolos são as classes de solos que ocupam 66% da área sob caatinga (SILVA *et al.*, 2010).

A combinação entre clima, vegetação e solo promove a degradação natural dos solos do semiárido, podendo ser intensificada pelas ações antrópicas como o desmatamento (BIRTHAL *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2015), queimadas e pecuária extensiva (FARIAS *et al.*, 2013; ALAZARD *et al.*, 2015; CORREIA *et al.*, 2015). Estas ações praticadas em anos consecutivos foram e ainda são as principais causas de perda de água e solo. As perdas diminuem a capacidade produtiva dos solos com a remoção da matéria orgânica (BERTOL *et al.*, 2010; SILVA; SILVA, 2015), provocam danos à estrutura (ZHANG *et al.*, 2014) e redução na disponibilidade de nutrientes (GUIMARÃES *et al.*, 2015).

2.2 Importância da revegetação para recuperar solos degradados

Sabendo-se que a região semiárida apresenta chuvas irregulares no tempo e no espaço e que a taxa de evapotranspiração é alta, destaca-se a importância da manutenção da cobertura vegetal sobre o solo. Segundo Araújo Filho (2013), a manutenção da cobertura vegetal proporciona maior controle no ciclo da água das chuvas principalmente por meio da interceptação das gotas de chuva pelas folhas e serrapilheira, da regulação de quantidade e do aumento na infiltração e armazenagem de água no solo; com isso, a vegetação contribui também para redução no escoamento superficial e melhoramento da estrutura do solo.

Portanto, a regeneração natural deveria ser a primeira estratégia de recuperação de uma área degradada devido ao custo reduzido e à simplicidade da prática, mas esse processo demanda tempo. A falta de informações científicas sobre o bioma Caatinga, principalmente sobre dinâmica da sucessão ecológica e estrutura fitossociológica das espécies nativas, foi um dos fatores que contribuiu para o insucesso da revegetação (RODAL; SALES, 2008). O uso de espécies arbóreas nativas e de mudas de boa qualidade é pressuposto chave para o sucesso de programa de recuperação de uma área degradada (CALDEIRA *et al.*, 2008).

A estratégia de usar condicionadores de solo para reflorestamento no semiárido surge como alternativa que viabiliza a nutrição, sobrevivência e estabelecimento das espécies nativas, como o ipê roxo, em solos degradados. Os condicionadores podem promover a restauração da qualidade do solo e facilitar o processo de revegetação de áreas degradadas (SOJKA *et al.*, 2007).

A espécie *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Tabebuia impetiginosa* ou *Tabebuia avellanedae* (DOMBROSKI *et al.*, 2014), chamada popularmente de

Ipê roxo ou Pau D'arco, é uma arbórea da família Bignoniaceae encontrada na caatinga e utilizada em áreas de reflorestamento (BENEVIDES; CARVALHO, 2009; LIRA *et al.*, 2007; SANTANA; SOUTO, 2011). Esta espécie é decídua e heliófita, e adicionalmente, a espécie é adaptada a solos arenosos e úmidos, porém com boa drenagem e fertilidade, e como a maioria das espécies nativas do semiárido, contribui para o aporte de matéria orgânica superficial e em profundidade, para a proteção do solo ao impacto das gotas de chuva (SCHNEIDER *et al.*, 2000).

As sementes do ipê germinam com facilidade e a emergência ocorre entre 6 e 12 dias (RIBEIRO *et al.*, 2012). As plântulas são exigentes em fósforo e nitrogênio, sendo que a sequência de exigência nutricional das mudas, considerando a produção de matéria seca e suas relações de crescimento, em ordem decrescente é: P>N>S>B>Zn>Mg>Ca>K (SOUZA; VENTURIN; MACEDO, 2006). O desenvolvimento das mudas é rápido, ficando prontas para transplante em local definitivo em menos de quatro meses.

Nos anos de 1950 surgiram os polímeros hidrorretentores¹ e, com isso, a possibilidade de usá-los em estratégias de revegetação de solos degradados, pois os mesmos melhoram a retenção de água no solo e aumentam o volume das raízes, favorecendo a absorção de água e nutrientes, especialmente em locais com secas prolongadas (BAI *et al.*, 2010; CAO *et al.*, 2017; KARIMI *et al.*, 2009; BEN-HUR; KEREN, 1997; LETEY *et al.*, 1992).

2.3 Polímeros superabsorventes (hidrogéis)

2.3.1 Conceitos e características dos hidrogéis

A palavra de origem grega “polímero” significa a presença de muitas (poli) partes (meros) constitutivas (ROSA; BORDADO; CASQUILHO, 2008). Os hidrogéis são definidos como cadeias monoméricas, de materiais naturais e/ou sintéticos, interligadas por ligações químicas covalentes irreversíveis ou interações físicas, formando redes hidrofílicas e tridimensionais (AOUADA *et al.*, 2008; HENNINK; VAN NOSTRUM, 2012; OVIEDO *et al.*, 2008; ULLAH *et al.*, 2015). A formação de redes evita a dissolução das cadeias poliméricas em meio aquoso (HENNINK; VAN NOSTRUM, 2012). Para Kaewpirom; Boonsang (2006) e Liang *et al.* (2007), os hidrogéis são redes poliméricas elásticas que se expandem quando absorvem água, intrinsecamente.

¹Registro da primeira patente de polimerização da acrilamida (AMD), pelos pesquisadores Minsk, Kenyon e Van Campen (1949).

Estas definições permitiram a Ahmed (2015) fazer classificações dos polímeros quanto a: origem – sintéticos e naturais; ao método de preparação (síntese e composição polimérica) – homopolímeros, hidrogéis e multipolímeros; a estrutura física e composição química – amorfos, cristalinos e semicristalinos; o tipo de *cross-linking* – ligações químicas covalentes permanentes e interações físicas transientes como, por exemplo, interações iônicas, hidrofóbicas (forças de van der Waals) e pontes de hidrogênio; a rede de cargas elétricas – não iônico (neutro), iônicos (aniônicos ou catiônicos), anfóteros e *zwitterionics* ou seja, para cada carga positiva tem outra negativa no mesmo grupo funcional.

O processo de absorção de água (intumescimento) de um hidrogel seco acontece quando moléculas de água são adsorvidas pelos grupos iônicos e hidrofílicos na cadeia polimérica, resultando na "água primária ligada". Depois que estes grupos estão hidratados, a rede expande e expõe grupos hidrofóbicos, que também interagem com moléculas, levando à "água hidrofobicamente ligada" (água secundária) (HOFFMAN, 2002, 2012).

O somatório das águas primária e secundária é a "água total ligada". Mesmo depois que ocorre a saturação dos grupos hidrofílicos e hidrofóbicos, a rede continua a interagir com as moléculas de água devido a força osmótica das cadeias da rede, formando enfim a "água livre". Assume-se que a "água livre" preenche os espaços entre as cadeias da rede, poros maiores ou vazios. Esta expansão adicional aplicada pela água, com força contrária (ou de retração) à das reticulações covalentes e físicas, deve ocorrer até que o hidrogel alcance o ponto de equilíbrio de intumescimento (GIBAS; JANIK, 2010; HOFFMAN, 2002, 2012).

Concomitante ao intumescimento, os hidrogéis sofrerão a solvatação e dissociação dos grupos amidas e dos cátions K^+ e Na^+ (acrilatos) das cadeias reticuladas, pois as cargas negativas aparentes promoverão o efeito de forças eletrostáticas e afrouxarão as redes que têm a possibilidade de absorver mais água até sua estabilização (BARAN *et al.*, 2015). Os autores Dorkoosh *et al.* (2000); Guilherme *et al.* (2015); Hennink; van Nostrum (2012); Teodorescu *et al.* (2009) e Ullah (2015) dissertaram sobre as características do material polimérico e relataram que a granulometria desse material e sua composição química contribuíram diretamente para capacidade de retenção de água. Isso ocorreu, pois, a elasticidade da rede está relacionada com a presença de grupos funcionais hidrofílicos (-OH, -COOH, -CONH₂, -SO₃H), o grau e tipo de reticulação, a porosidade do material, o efeito capilar e a pressão osmótica.

Os autores Bai *et al.* (2013), Bres; Weston (1993), Han; Yang; Xu (2005), Tang (2003), Yazdani *et al.* (2007), Zhao *et al.* (2006) e Zohuriaan-Mehr; Kabiri (2008) estudaram os efeitos de hidrogéis na germinação (umidade), crescimento, nutrição e produção de espécies agrônomicas e silviculturais, isso porque os hidrogéis são formados por moléculas de

constituições químicas diversas, que apresentam entre 30 e 50% de carbono (C), de 4 a 30% de hidrogênio (H) e até 19% de nitrogênio (N), uma relação C/N variando de 2,5 a 4,7 (SMAGIN; SADOVNIKOVA; SMAGINA, 2014; ZHANG *et al.*, 2014), podendo auxiliar na fertilidade do solo e na nutrição de plantas.

Mesmo sabendo que os hidrogéis são sintetizados com respostas controláveis para expandir ou contrair conforme mudanças nas condições ambientais, é comum que sofram variações consideráveis de volume em resposta a estímulos físicos, químicos, biológicos e bioquímicos (AHMED, 2015). No entanto, ainda são inconsistentes os potenciais benefícios de seu uso, pois a eficácia é influenciada por conjunto complexo de relações entre as propriedades e características dos polímeros (composição, concentração, peso molecular, tipos de carga e densidade de reticulação) (GIBAS; JANIK, 2010; GREEN *et al.*, 2004; HOFFMAN, 2002, 2012; MCLAUGHLIN; BARTHOLOMEW, 2007), modo de aplicação (seco, úmido ou emulsão) (MAMEDOV *et al.*, 2009; SHAINBERG *et al.*, 2011) e atributos do solo como mineralogia, textura, tamanho dos agregados, teor de matéria orgânica, pH, composição e concentração da solução do solo e atividade microbiana (BUSSCHER; NOVAK; CAESAR-TONTHAT, 2007; DOU *et al.*, 2012; GALEŞ *et al.*, 2016; LEVY; MILLER, 1999; MAMEDOV *et al.*, 2010, 2017; MILLER; WELLIS; LEVY, 1998; TEODORESCU *et al.*, 2009; WU *et al.*, 2010; YANG-REN *et al.*, 2007).

2.3.2 Efeitos dos hidrogéis nos atributos físicos do solo

O uso de hidrogéis como condicionadores de solo, atualmente vem aumentando devido sua capacidade de retenção de água e nutrientes, bem como devido às melhorias na infiltração de água e permeabilidade do solo, promovendo o uso eficiente de água e a recuperação de solos degradados (THENG, 2012). Os atributos físicos do solo podem ser alterados pelo comportamento de adsorção dos polímeros às partículas sólidas do solo, principalmente as argilas (LEVY; MILLER, 1999).

Para melhor entendimento sobre a interação entre hidrogéis e partículas do solo é importante interpretar as diferenças entre os termos “coagulação, floculação e agregação” e “estabilidade de agregação” usados no estudo dos polímeros em relação ao uso na física do solo. Na relação hidrogel/argila, a “coagulação” é a aproximação das partículas induzida pela adição de eletrólitos (argila/cátions/polímero) (SHAINBERG; WARRINGTON; RENGASAMY, 1990); a “floculação” (como se fosse o processo de cimentação) é o resultado da ligação ou de várias ligações das partículas à cadeia polimérica e “agregação” é a soma dos

dois processos (ADACHI, 1995).

A floculação por polímeros em dispersões coloidais pode ser induzida pelos mecanismos de pontes interpartículas e neutralização de carga ou coagulação (DICKINSON; ERIKSSON, 1991). Portanto, a agregação formada entre a cadeia polimérica e as argilas 2:1 ocorre mais a neutralização de cargas do que a formação de agregados em pontes (BREEN, 1999), pois a presença das bases², mesmo em baixa concentração, pode induzir a agregação por coagulação do complexo “argila/cátions/polímero”. Já para os agregados formados de argilas do tipo 1:1 e polímeros, a floculação em ponte é mais forte do que por coagulação (GLASGOW; HSU, 1982). Em solos com predomínio de (hidr)óxidos de alumínio e ferro, particularmente, os hidrogéis atuam como um revestimento sobre superfícies de partículas de argila/solo.

A “estabilidade de agregação” acontece entre o hidrogel e partículas de argila e não deve ser confundida com a “floculação” (ALY; LETEY, 1990; BEN-HUR, 2006; PETZOLD *et al.*, 2004), embora ambos os processos envolvam a adsorção e a ligação interpartículas pelas moléculas do polímero. Na primeira situação, os hidrogéis estabilizam e fortalecem uma estrutura existente onde as partículas já estão em estreita aproximação, por mais fraca e instável que esta disposição possa ser. Por outro lado, a floculação é um processo pelo qual as partículas, inicialmente separadas por distâncias relativamente grandes, ligaram-se sob influência do polímero, tendendo à agregação estável (BEN-HUR; KEREN, 1997; LEVY; AGASSI, 1995).

Os polímeros aniônicos (poliânions) são floculantes eficazes de dispersões diluídas, pois suas cadeias são estendidas em solução. Como tal, a estrutura de flocos resultante é fraca (NASSER; JAMES, 2006, 2007), a menos que o sistema contenha cátions polivalentes ou outras espécies positivamente carregadas que possam atuar como uma ponte entre o poliânion e a superfície da argila (CHAN; SIVAPALAN, 1996; ORTS *et al.*, 1999; SOJKA *et al.*, 2007; THENG, 2012; WALLACE; WALLACE, 1990).

A absorção de água pelos polímeros é um processo químico em que a absorção e retenção da água pelo produto ocorre devido à ação eletrostática (VARENNES *et al.*, 1997). A água retida no polímero pode ser retirada por pressão de sucção realizada pelas raízes de plantas ou por evaporação atmosférica, havendo, nesses casos, redução gradual do volume do gel no solo (JOHNSON, 1984). Na medida em que o solo vai secando, os hidrogéis sofrem dessorção, de modo que o polímero fica irreversivelmente ligado às partículas do solo (SMITH; PRUES; OEHME, 1997; ENTRY; SOJKA, 2000; CAULFIELD *et al.*, 2003).

Não apenas levando em consideração o aspecto de retenção e liberação de água

²Chamada de contra-íons polivalentes ou simplesmente cátions por Theng no livro intitulado “Formation and Properties of Clay-Polymer Complexes” 2ª Edição (2012).

pelos hidrogéis nos solos, mas também estudando as interações na interface polímero/solução do solo/superfícies sólidas carregadas, Theng (2012) relata que a água pode competir fortemente com o polímero por locais de adsorção nas superfícies. A adsorção de polímeros às partículas do solo foi definida pelas características de ambos, tais como: textura do solo, tipo de argila, teor de matéria orgânica e tipo de íons presentes na solução; e peso molecular, tipos de carga e densidade dos polímeros (DENG *et al.*, 2006; MELO *et al.*, 2014; LEVY; MILLER, 1999; SEYBOLD, 1994).

Em estudo em que foram ministradas diferentes proporções de polímeros superabsorventes (SAPs) ao solo sob várias condições de umidade, usando ciclos de umedecimento e secagem, Bai *et al.* (2010) observaram que a densidade do solo diminuiu com o aumento das concentrações dos SAPs. Os ciclos de umedecimento e secagem promoveram afrouxamento da estrutura do solo e aumento da aeração, pois durante a expansão do polímero ocorre o desprendimento da massa do solo e aumento de sua porosidade total (PALUSZEK, 2010; 2011).

Há relato de que o primeiro ciclo de umedecimento e secagem na mistura de solo com um hidrogel comercial a base de acrilamida (AMD) não modificou o solo, mas depois do terceiro ciclo foi observada a formação de crosta e fendas (HU *et al.*, 2012). Segundo os autores, a crosta foi formada por compactação de microagregados e redução de microporos. Em outros estudos foi constatado que o efeito da interação entre uma partícula do gel e os microagregados do solo foi resultado dos ciclos de umedecimento e secagem, o que pode ser explicado pela capacidade de adsorção e complexação dos polímeros por meio dos seus grupos hidrofílicos, como hidroxila, carboxila e amida (MARANDI *et al.*, 2008; YANG *et al.*, 2014).

Em experimentos de campo, estudando-se a influência do Aquasorb[®] (hidrogel acrilamida/acrilato de potássio) nos indicadores hidrofísicos, como densidade, porosidade total e umidade de um Chernossolo franco argiloso cultivado com milho e soja, foram verificadas diferenças nos tratamentos com hidrogel (15 e 30 kg ha⁻¹) em relação ao controle. Essas diferenças foram em relação ao aumento nas médias da densidade do solo e do conteúdo de água no solo e diminuição da porosidade total, em áreas cultivadas com milho e soja (GALEŞ *et al.*, 2016).

Estudando efeitos de doses do hidrogel Agroaquagel[®] (hidrogel acrilamida/acrilato de potássio) sob propriedades hidrofísicas de um solo, Baran *et al.* (2015) obtiveram incremento de até 69% na capacidade máxima de água absorvida na mistura hidrogel/solo com o aumento nas doses do produto. O inverso aconteceu para a perda de água na mistura de 1% em relação ao controle, ou seja, a dose máxima testada perdeu menos água em quinze dias de secagem.

Em regiões semiáridas, um hidrogel derivado de acrilamida e acrilato de potássio mostrou-se eficiente no aumento da capacidade de retenção de água no solo e capaz de funcionar em ciclos de absorção/dessorção de água e nutrientes (HAYAT; ALI, 2004). Montesanto *et al.* (2015) observaram que o conteúdo de água disponível em um solo arenoso com hidrogel aumenta independentemente da pressão de sucção aplicada, em comparação a um solo não tratado. Objetivando avaliar o efeito das doses de hidrogel 6 e 8 g kg⁻¹ de solo para a retenção de água, Abedi-Koupai; Sohrab; Swarbrick (2008) observaram que os conteúdos de água disponíveis em solo argiloso e franco arenoso aumentaram, respectivamente 2,4 e 4,8 vezes em relação ao controle.

Por fim, avaliando a influência do hidrogel na retenção de água em dois solos, Oliveira *et al.* (2004) observaram que a dose de hidrogel de 2 g kg⁻¹ de solo aumentou a umidade em 40% em um solo franco-argilo-arenoso e 35% em um solo argiloso, em relação ao tratamento sem hidrogel, e ainda aumentou a disponibilidade total de água em 125% e 135% nos referidos solos, respectivamente. A mistura de celulose e poliacrilamida (PAM) utilizada por Maghchiche; Haouam; Immirzi, (2010) aumentou significativamente os conteúdos de água na capacidade de campo e no ponto murcha permanente e a quantidade de água disponível para a planta em regiões áridas e semiáridas.

Os efeitos dos hidrogéis sobre os atributos físicos como agregação do solo e estabilidade dos agregados, porosidade e umidade, favorecem a germinação de sementes, emergência e crescimento de plântulas, com aumento do volume das raízes e eficiência de absorção de água e nutrientes (DE BOODT, 1993; EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011; SEYBOLD, 1994; SOJKA *et al.*, 2007; WALLACE; TERRY, 1998).

2.3.3 Efeitos dos hidrogéis nos atributos químicos do solo e no crescimento de mudas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos

Dentre os trabalhos sobre os efeitos dos hidrogéis como condicionadores da qualidade química do solo pode-se citar Cao *et al.* (2017), Chen *et al.* (2016), Flanagan; Canady (2006), Jiang *et al.* (2010), Lentz *et al.* (1998, 2001), Oliver; Kookana (2006), Wang; Li; Yang (2011). Os hidrogéis formam redes que retêm não somente as moléculas de água, como também parte do fertilizante ou dos sais que estão dissolvidos na solução do solo. No entorno dessas redes, as raízes das plantas crescem extraíndo, de forma gradativa, os elementos retidos, reduzindo as perdas por lixiviação, escoamento superficial e volatilização (KAZANSKII; DUBROVSKII, 1992; JHURRY, 1997; LIU *et al.*, 2007; ROSA; BORDADO; CASQUILHO,

2008; EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011).

Nesta linha de estudos foi mais comum encontrar resultados a respeito da influência da concentração de sais nas propriedades dos hidrogéis, do que trabalhos avaliando os efeitos do hidrogel na melhoria da fertilidade do solo. Adicionalmente, existem inúmeros estudos sobre liberação lenta de fertilizantes a partir de compósitos hidrorretentores enriquecidos com nutrientes essenciais para as plantas. Teodorescu *et al.* (2009) observaram que a maior absorção e menor dessorção de água destilada pelo hidrogel ocorreu na combinação de menor concentração do agente reticulante com o fertilizante líquido NPK na proporção de 2:3:1.

Johnson (1984) examinou o efeito das cargas elétricas na hidratação dos hidrogéis em soluções salinas contendo: CaCl_2 , NaCl , MgCl_2 , MgSO_4 , Na_2SO_4 e NaHCO_3 em concentrações variadas. O autor concluiu que esses sais inibiram a absorção de água para todos os hidrogéis. Investigando os efeitos dos sais: KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, MgSO_4 , NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, KH_2PO_4 e $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ sobre três polímeros, Bowman; Evans; Paul (1990) encontraram que a taxa de hidratação dos polímeros foi reduzida de 10 a 20% do máximo na presença dos cátions bivalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e monovalentes (K^+ e NH_4^+) respectivamente, sendo que a hidratação não foi afetada pelo ânion acompanhante e nem pela adição de ureia.

Em dois ensaios estudando a (re)hidratação da PAM em soluções de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ e KNO_3 , Bowman; Evans; Paul (1990) observaram incremento na hidratação com o aumento da concentração de KNO_3 . Isso foi explicado pela competição entre K^+ e Ca^{2+} pelos sítios de adsorção do hidrogel, de modo que o incremento observado foi resultado da troca do Ca^{2+} pelo K^+ na matriz do hidrogel. Os resultados apresentados evidenciam que alguns hidrogéis (polianionicos) podem potencializar a capacidade de troca de cátions do solo.

Com experimentos comparando a PAM e outros hidrogéis naturais, Henriquez *et al.* (2003) constataram que não houve alteração nos valores de Ca, Mg em extrato saturado do solo, nem da soma de bases e da condutividade elétrica do solo em relação ao controle (sem os condicionadores).

A funcionalidade do hidrogel como condicionador de solo em regiões semiáridas se dá nas situações em que a baixa umidade do solo afeta, de forma negativa, o crescimento e desenvolvimento das plantas (AZEVEDO; BERTONHA; GONÇALVES, 2002). Presume-se que os hidrogéis, quando incorporados ao solo, retêm grandes quantidades de água e nutrientes que são liberados conforme a necessidade das plantas (LI *et al.*, 2013).

Avaliando o crescimento de mudas de ipê amarelo (*Handroanthus ochraceus*) em casa de vegetação submetidas a doses de hidrogel comercial (Forth Gel[®]) incorporadas ao substrato com adubo nitrogenado, Mews *et al.* (2015) observaram efeito positivo nos

parâmetros de crescimento, principalmente para a altura e diâmetro do colo nos primeiros 80 dias de experimento e que as dosagens que mais se destacaram em valores de incremento se concentraram entre 2 a 4 g, tanto para ureia quanto para hidrogel.

Quanto à nutrição, Souza; Venturin; Macedo (2006) observaram que mudas de ipês são altamente exigentes de nitrogênio e fósforo. Leite *et al.* (2017) avaliaram dados de crescimento e morfologia usando somente a fertilização nitrogenada, e constataram que 240 mg N dm⁻³ de solo foi considerado o nível mais efetivo na produção das mudas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. Ex DC.) Mattos.

O fato de que os hidrogéis sofrem degradação física (mecânica), química, bioquímica e/ou biológica após sua aplicação no solo, remete à suposta contribuição destes no aumento da fertilidade. A quebra de ligações da cadeia polimérica produz desintegração das moléculas polimerizadas em moléculas pequenas derivadas de acrilamida e acrilato que, conseqüentemente, poderiam ser rapidamente degradados em elementos essenciais aos microrganismos e/ou plantas. É importante levar em consideração que o processo de polimerização dos hidrogéis pode resultar em porções residuais, mesmo que baixas, de alguma pequena molécula que, posteriormente, seria degradado no solo.

2.3.4 Aspectos biológicos da aplicação de hidrogéis no solo e uso da técnica de identificação da biomassa microbiana por meio da quantificação de lipídios totais em culturas puras pelo sistema MIDI

A possível liberação de elementos químicos considerados nutrientes para as plantas, bem como a liberação de acrilato e acrilamida ao solo, trazem questionamentos a respeito dos efeitos dos polímeros em aspectos biológicos do solo. Estudos a respeito da relação entre hidrogéis e microbiota do solo consideram, principalmente, a biodegradação do polímero à base de poliacrilamida (PAM) por meio da atividade enzimática da amidase (SMITH; PRUES; OEHME, 1997). No estudo realizado por Smith; Prues; Oehme (1997) foi sugerido que a PAM, primeiramente, é transformada em monômeros de acrilamida (AMD) a partir da quebra das ligações C-C por meio da energia fotolítica e em elevadas temperaturas. O segundo estágio foi o da hidrólise enzimática, que libera as amidas como fonte de N para bactérias e fungos do solo.

Pesquisadores identificaram as bactérias do gênero *Pseudomonas* spp. como sendo capazes de degradar a AMD para ácido acrílico e amônio por meio da ação da enzima amidase (KUMAR; KUMAR, 1998; YU *et al.*, 2015), ou ainda que o ácido acrílico pode ser metabolizado pelos microrganismos (HAYASHI *et al.*, 1994). Sendo assim, tanto a PAM quanto a AMD têm como produto de suas degradações o amônio, que ajudaria no aumento da

fertilidade do solo e serviria para a nutrição de plantas.

Autores mostraram que a AMD foi rapidamente metabolizada pelas bactérias do solo (*Nocardia rhodochrous*, *Bacillus sphaericus*, *Rhodococcus* sp., *Arthrobacter* sp. e *Pseudomonas putrefaciens*) como fonte de N (CROLL *et al.*, 1974; LANDE; BOSCH; HOWARD, 1979; BROWN *et al.*, 1982; ARAI; KURODA; WATANABE, 1981; ABDELMAGID; TABATABAI, 1982; USEPA, 1985; SHANKER; RAMAKRISHNA; SETH, 1990). As poliacrilamidas podem ser utilizadas como fonte de N para várias espécies de *Pseudomonas* isoladas do solo (GRULA; HUANG; SEWELL, 1994). A bactéria *Pseudomonas aeruginosa* foi isolada e identificada como agente de degradação de AMD no solo; essa bactéria utiliza a amida como fonte de C e N (PRABU; THATHEYUS, 2007).

Outros autores observaram que o produto da decomposição PAM não seria AMD, pois a mesma é rapidamente decomposta em propionamida e ácido propanoico (MAHLER; CORDES, 1971; WALLACE; WALLACE; ABOULAMZAM, 1986). Este último foi um ácido graxo metabolizado pelas plantas; já a propionamida se degrada em CO₂, NH₄⁺ e H₂O (LANDE; BOSCH; HOWARD, 1979; SHANKER; RAMAKRISHNA; SETH, 1990; SMITH; PRUES; OEHME, 1996, 1997; HOLLIMAN *et al.*, 2005).

Foi constatado que os grupos amida da AMD foram degradados por mecanismos físicos e biológicos e convertidos em íon amônio (NH₄⁺) e ácido acrílico, que posteriormente podem ser absorvidos pelas plantas e/ou adsorvidos à matéria orgânica ou partículas de solo (KAY-SHOEMAKE *et al.*, 1998 a,b; HAVEROENA; MACKINNON; FEDORAK, 2005).

Nos trabalhos de Kay-Shoemake *et al.* (1998 a,b), bactérias e fungos utilizaram a PAM como única fonte de nitrogênio (N) quando houve fonte suplementar de carbono (C) sem que ocorresse a transformação da cadeia carbônica do polímero em monômeros de AMD. Assim, mesmo que existisse pequena probabilidade para a produção de AMD pela cisão da cadeia polimérica, não haveria problema de acumulação ao longo do tempo. Com isso, os autores concluíram que as bactérias e fungos podem hidrolisar o grupo amida, mas são incapazes de quebrar a cadeia carbônica.

A atividade da amidase em solos expostos à PAM variou de 29 a 149 µg NH₄⁺-N g⁻¹, sendo maior do que nos solos não expostos à PAM (6 a 37 µg NH₄⁺-N g⁻¹), conforme apresentado por Kay-Shoemake *et al.* (1998 a,b). Estes intervalos nas atividades da amidase foram semelhantes aos de Holliman *et al.* (2005) a partir da biodegradação da PAM reticulada.

Sojka, Entry e Fuhmann (2006) e Kay-Shoemake *et al.* (1998 a,b; 2000 a,b) observaram que a aplicação em longo prazo de doses elevadas de PAM em solos irrigados não influenciou a biomassa microbiana (fúngica e bacteriana) e os potenciais metabólicos. Em outro

estudo foi relatado que a aplicação de 16 kg ha⁻¹ PAM não influenciou a sobrevivência de bactérias totais do solo (SPACKMAN *et al.*, 2003).

Estudos sobre a degradação da PAM têm demonstrado que duas bactérias encontradas no solo, *Enterobacter agglomerans* e *Azomonas macrocytogenes*, degradam a PAM após 27 horas de incubação e consomem, aproximadamente, 20% do carbono orgânico total (COT) do meio inicial (NAKAMIYA; KINOSHITA, 1995). Trabalhando com degradação do hidrogel de acrilamida e ácido acrílico em solo agrícola na presença de fungos inoculados, assim como em condições naturais, Wolter *et al.* (2002) encontraram até 31% de mineralização do hidrogel a CO₂ na presença do fungo puro em 28 semanas. Em condições naturais, até 2,2% do hidrogel foi mineralizado com 22 semanas.

Para avaliar os efeitos nos microrganismos da aplicação de polímeros no solo foi preciso utilizar técnicas específicas. Os métodos de quantificação dos lipídios totais (WCFA) e fosfolipídios (PLFA) foram utilizados em estudos de solos agrícolas em vários países. Pesquisadores supõem que cerca de 1% da biomassa microbiana no solo possa ser cultivada no laboratório (KIRK *et al.*, 2004), por isso a análise de lipídios em amostras de solo é fundamental para estudos de comunidades microbianas, por não depender de cultivos em laboratório.

A soma dos lipídios totais de uma amostra de solo possibilita estimar a biomassa (BALOTA, 2017), permitindo o uso da técnica para monitorar o crescimento de populações microbianas submetidas a algum manejo; também permite aferir sobre mudanças, a nível de grupos taxonômicos, na diversidade microbiana dos solos por meio da diferenciação dos biomarcadores microbianos encontrados. Com isso, a adoção de diferentes manejos do solo, como a introdução de um condicionador de solo, deve produzir modificações na estrutura da comunidade microbiana e, por consequência, no perfil dos lipídios presentes nas amostras. Desta forma, esses perfis permitem verificar a presença de ácidos graxos específicos, de forma sensível, e se correlacionam com as mudanças no manejo (FERRARI *et al.*, 2015, 2017).

Existem vários trabalhos internacionalmente conhecidos por identificar os grupos taxonômicos existentes numa amostras de solo e correlacioná-los com biomarcadores (ou ácido graxo - lipídio) específicos em cada microrganismo (BACH; FROSTEGÅRD; OHLSON, 2008; FEDERLE, 1986; FROSTEGÅRD; BÅÅTH, 1996; FROSTEGÅRD; BÅÅTH; TUNLID, 1993 a,b; FROSTEGÅRD; TUNLID; BÅÅTH, 1996; FROSTEGÅRD; TUNLID; BÅÅTH, 2011; HEDRICK; PEACOCK; WHITE, 2010; MBUTHIA *et al.*, 2015; O'LEARY; WILKINSON, 1988; OLSSON, 1999; OLSSON *et al.*, 1995; PANKHURST; HAWKE; HARCH, 2001; RATLEDGE; WILKINSON, 1988).

A necessidade de uma notação compacta levou ao desenvolvimento do sistema ômega para nomear ácidos graxos. Os ácidos graxos são nomeados de acordo com o padrão de A: B ω Cc (por exemplo, 16:1 ω 5c). O A representa o número de átomos de carbono no esqueleto de ácidos graxos, B é o número de ligações duplas e C é a distância da insaturação mais próxima da extremidade alifática (ω) da molécula. Isso pode ser seguido por um "c" para cis ou um "t" para configuração trans da insaturação. Os prefixos "i", "a" (exemplo 15:0i e 15:0a) e "br" representam posição de ramificação iso, anti-iso e desconhecida da cadeia de carbono, respectivamente. A ramificação da cadeia intermediária é notada por um prefixo "10Me" para um ácido graxo 10-metil (exemplo 10-Me 16:0) e ácidos graxos ciclopropil pelo prefixo "Cy" (exemplo 17:0cy).

O método compara o perfil lipídico com uma biblioteca e com estirpes de referência de microrganismos cultiváveis. Já existe nessa biblioteca alguns ácidos graxos que servem de identificação para grupos taxonômicos específicos. Os ácidos graxos ramificados, especialmente 14:0iso, 15:0iso, 15:0anteiso, 16:0iso, 17:0iso e 17:0anteiso foram considerados marcadores de bactérias Gram-positivas (BACH; FROSTEGÅRD; OHLSON, 2008; FROSTEGÅRD *et al.*, 1993 a,b; HEDRICK; PEACOCK; WHITE, 2010; O'LEARY; WILKINSON, 1988; PANKHURST; HAWKE; HARCH, 2001). As bactérias Gram-negativas foram caracterizadas por lipídios hidroxilados, cíclicos e alguns monoinsaturados (MUFAs), mas existem fortes diferenças na seleção deles (VERDENELLI; LAMARQUE; MERILES, 2012; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN; MICHEL; PFEFFER, 2011). Alguns escolheram os marcadores 17:0 Cyclo e 19:0 Cyclo (PANKHURST; HAWKE; HARCH, 2001), como também o marcador 18:1 ω 7c (WILKINSON, 1988).

Os ácidos graxos 18:2 ω 6,9c, 18:1 ω 9c e 18:3 ω 6,9,12c foram utilizados como marcadores de fungos (BACH; FROSTEGÅRD; OHLSON, 2008; FEDERLE, 1986; FENG *et al.*, 2003; FROSTEGÅRD; BÅÅTH, 1996; GRIGERA *et al.*, 2007; LARSEN; OLSSON; JAKOBSEN, 1998; MBUTHIA *et al.*, 2015; MONTECCHIA *et al.*, 2011; OLSSON, 1999; PANKHURST; HAWKE; HARCH, 2001; RAVNSKOV *et al.*, 2006; SIMMONS; COLEMAN, 2008; VERDENELLI; LAMARQUE; MERILES, 2012; WHITE *et al.*, 1980). No entanto, estes resultados devem ser interpretados com cautela: os ácidos graxos 16:1 ω 5c, 20:4 ω 6c e 20:5 ω 3c, embora usados como assinaturas para fungos micorrízicos arbusculares (FMA), podem ser modificados em função do local e do manejo adotado (GRAHAM; HODGE; MORTON, 1995; LARSEN; OLSSON; JAKOBSEN, 1998; JOHANSEN; FINLAY; OLSSON, 1997). Essa observação vem do fato de que esses marcadores também foram encontrados em bactérias, protozoários, alguns oomicetos e quitridiomietos (KAŠTOVSKÁ *et al.*, 2007;

LECHEVALIER; LECHEVALIER, 1988; OLSSON *et al.*, 1995).

Para actinobactérias, os ácidos graxos metilados no carbono 10 foram considerados biomarcadores de assinatura, especialmente 16:0 10-Me, 17:0 10-Me e 18:0 10-Me (BACH; FROSTEGÅRD; OHLSON, 2008; KROPPESTEDT, 1985; LECHEVALIER; LECHEVALIER, 1988; MBUTHIA *et al.*, 2015; ZELLES, 1999). Há ácidos graxos que não são biomarcadores específicos de um grupo taxonômico, por exemplo 12:0; 14:0; 16:0 e 17:0, pois estes ácidos de cadeia linear são considerados comuns a todos organismos procarióticos e eucarióticos, mas podem ser particularmente relevantes para o manejo e uso do solo, em especial os lipídios 18:0 e 20:0. Romaniuk *et al.* (2011) encontraram os ácidos graxos 14:0, 15:0 e 20:0 como marcadores de uso do solo e qualidade do solo.

Diante da explicação sobre tipos de biomarcadores (ou ácidos graxos pela técnica de quantificação de lipídios totais em culturas puras pelo sistema MIDI) pode-se afirmar indiretamente sobre alguns grupos taxonômicos existentes em um determinado solo, mas não se pode inferir sobre seus efeitos nos ciclos do carbono (C) e nitrogênio (N) do solo.

O aporte de N advindo da suposta mineralização da acrilamida (usada neste trabalho) pode ter efeitos diretos e indiretos nas comunidades microbianas do solo (TRESEDER, 2008; RAMIREZ; CRAINE; FIERER, 2012; KOPACEK *et al.*, 2013). Dentre os efeitos destacaram-se: redução na biomassa microbiana e na respiração do solo (JANSSENS *et al.*, 2010); mudanças na competição microbiana, favorecendo táxons com altas demandas de N (FONTAINE; MARIOTTI; ABBADIE, 2003); reduções nas taxas de decomposição da matéria orgânica recalcitrante (MOORHEAD; SINSABAUGH, 2006); menor disponibilidade de C orgânico dissolvido (KOPACEK *et al.*, 2013); alocação reduzida de C da fotossíntese do solo em resposta à disponibilidade elevada de N (HOGBERG *et al.*, 2010); diminuição na disponibilidade de C para microrganismos e mudança da comunidade microbiana em direção à perda de fungos ectomicorrízicos (WALLEUDA; KOTTKE, 1997; LILLESKOV *et al.*, 2002; NILSSON; WALLANDER, 2003) e reduções na imobilização de N (HOGBERG *et al.*, 2014).

A adição e/ou deposição ambiental de N, a longo prazo, causaram a diminuição da biomassa microbiana e da respiração basal em amostras do horizonte O de florestas, como também limitou o aproveitamento do C facilmente disponível pelos microrganismos. Já os perfis de PLFA indicaram que o aporte de N induziu a maior abundância relativa de bactérias Gram + e menor de Gram -, sem alterações na de fungos (RAPPE-GEORGE *et al.*, 2017). Segundo Hogberg *et al.* (2011, 2014) e Bahr *et al.* (2013), há redução na abundância do biomarcador para fungos (18:2 ω6,9c) no horizonte superficial de florestas em resposta à adição experimental ou deposição de N em associação com a diminuição do uso do C fotossintato.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do solo dos experimentos

O solo usado nos experimentos foi de uma área da Fazenda Lavoura Seca, localizada em Quixadá (CE), nas coordenadas geográficas -4.983 UTM (latitude sul) e -39.016 UTM (longitude oeste), pertencente à Universidade Federal do Ceará (UFC). Mota; Oliveira; Gebhardt (2002) classificaram o solo como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO eutrófico (PVAe), cujos atributos morfológicos, físicos e químicos estão apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3. O solo dessa fazenda praticamente não apresenta a vegetação de cobertura e está em processo de degradação devido pouco aporte de matéria orgânica, e ainda, em alguma parte da área, o horizonte A está decapitado por erosão (em sulcos e laminar).

Tabela 1 - Atributos morfológicos do perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (PVAe)

Solo	Horizonte	Prof. (cm)	Cor	Textura ¹	Estrutura ²	Consistência		
						seca	úmida	molhada
PVAe	A	0-12	5YR4/3	af	bs	-	friável	np e npe
	AB	12-43	5YR4/4	fa	bs	-	friável	lp e lpe
	BA	43-74	5YR4/4	fa	bs	-	friável	lp e lpe
	Bt1	74-119	5YR4/6	faa	bsa	m.duro	friável	p e pe
	2Bt2	119-185	2.5YR4/8	aa	bsa	m.duro	firme	p e pe
	2BC	185-205	2.5YR4/8	faa	bsa	m.duro	firme	p e pe

¹af - areia franca, fa - franco-arenoso, faa - franco-argilo-arenoso, aa - argila arenosa. ²bs - blocos subangulares, bsa - blocos subangulares e angulares. ³np e npe = não-plástico e não-pegajoso, lp e lpe - ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, p e pe - plástico e pegajoso.

Fonte: Mota; Oliveira; Gebhardt (2002).

Tabela 2 - Atributos físicos do perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (PVAe)

Solo	Horizonte	Prof. Cm	Areia		Silte	Argila	Argila natural	GF ¹ %	Silte/Argila
			Grossa	Fina					
			-----g kg ⁻¹ -----						
PVAe	AB	12-43	450	290	80	180	100	47	0,4
	BA	43-74	520	210	80	190	90	53	0,4
	Bt1	74-119	470	230	80	220	110	52	0,4
	2Bt2	119-185	310	200	140	350	200	43	0,4
	2BC	185-205	410	200	140	250	80	68	0,6

¹Grau de flocculação

Fonte: Mota; Oliveira; Gebhardt (2002).

Tabela 3 - Atributos químicos do perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (PVAe)

Solo	Horizonte	Prof. Cm	pH (H ₂ O)	Ca	Mg	K	Na	CTC (pH 7)	V	PST	Ki
PVAe	AB	12-43	5,9	17	6	3	2	32	88	6,3	2,37
	BA	43-74	5,6	20	6	4	2	36	89	5,6	2,26
	Bt1	74-119	5,2	20	7	4	2	39	85	5,1	2,30
	2Bt2	119-185	5,8	23	9	3	2	43	86	4,7	2,29
	2BC	185-205	6,0	18	11	2	2	38	87	5,3	4,20

Fonte: Mota; Oliveira; Gebhardt (2002).

Tanto para o experimento com Argissolo submetido a diferentes doses de hidrogel e ciclos de umedecimento e secagem (experimento 1), quanto para o de crescimento de mudas de ipê roxo com doses crescentes de hidrogel no substrato (experimento 2), foi utilizada a mistura de solo das profundidades dos horizontes de transição (AB e BA ou seja, entre 12-74 cm).

A caracterização biológica do solo foi feita com amostra coletada na camada de 0-10 cm, para identificar melhor suas características no tempo zero, pois esta foi a camada de coleta do solo usado nos experimentos 3 e 4 de incubação para a avaliação da microbiota. A amostragem do solo para esta caracterização obedeceu a recomendações de Ghini; Freitas; Oliveira (2006).

Para caracterização física e química foi coletada amostra deformada de solo a partir de dez subamostras nas camadas de 0-10 e 20-70 cm. A amostra composta foi seca para obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), sendo posteriormente destorroada, homogeneizada e tamização em peneira com abertura de malha de 2 mm. Após estes procedimentos, a amostra composta foi analisada nos Laboratórios de Manejo e Física do Solo, atendendo aos critérios de preparo de amostra descritos em Teixeira *et al.* (2017).

Foi determinada a densidade das partículas pelo método cujo princípio baseia-se na quantificação do volume de álcool utilizado para completar um balão volumétrico de 50 mL que contenha 20 g de Terra Fina Seca em Estufa (TFSE) (BLAKE; HARTGE, 1986a). Foi determinada a areia pelo peneiramento, a argila pelo método da pipeta (GEE; BAUDER, 1986) e o silte por diferença entre o total TFSE – (argila + areia), utilizando hidróxido de sódio (NaOH) 1 mol L⁻¹ para a dispersão química das partículas. Silte e a argila foram separados por sedimentação, conforme a Lei de Stokes, e a areia foi separada por tamização úmida e, posteriormente, foi determinada a textura do solo.

Também foram coletadas amostras indeformadas em superfície e subsuperfície para determinar a densidade do solo, cujos resultados foram descritos na Tabela 4. Todos os outros procedimentos físicos foram detalhados no subitem 3.3.3 deste trabalho.

Tabela 4 - Caracterização física e química do horizonte superficial (0-10 cm) e subsuperficial (20-70 cm) do Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico

Atributos físicos	Profundidade (cm)		Atributos químicos	Profundidade (cm)	
	0-10	20-70		0-10	20-70
Areia (%)	79,4	44,7	pH (1:2,5)	6,2	7,1
Silte (%)	9,6	27,5	CEes (dS m ⁻¹)	1,6	2,3
Argila (%)	11,0	27,8	C _{org} (g kg ⁻¹)	14,7	11,2
ADA (%) ¹	4,4	10,3	N (g kg ⁻¹)	0,6	0,2
Relação Silte/Argila	0,87	0,98	Ca (cmol _c dm ⁻³)	2,5	1,5
Ds (g cm ⁻³) ²	1,12	1,18	Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,6	1,0
GF (%) ³	40	37	K (cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,4
Pt (cm cm ⁻³) ⁴	-	0,59	Na (cmol _c dm ⁻³)	0,04	0,07
Macroporosidade (cm cm ⁻³)	-	0,26	H (cmol _c dm ⁻³)	1,5	0,0
Microporosidade (cm cm ⁻³)	-	0,33	Al (cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,1
θ _{sat} (cm cm ⁻³)	-	0,59	SB (cmol _c dm ⁻³) ⁵	3,34	2,97
θ _{cc} (cm cm ⁻³)	-	0,18	T (cmol _c dm ⁻³) ⁶	5,04	3,07
θ _{pmp} (cm cm ⁻³)	-	0,13	V (%) ⁷	66,2	96,7
Água disponível (cm cm ⁻³)	-	0,05	P _{disp} (ppm)	67,2	6,7

¹Argila dispersa em água; ²Densidade do solo; ³Grau de flocculação; ⁴Porosidade total; ⁵Soma de bases; ⁶Capacidade de troca de cátions (CTC) e ⁷Saturação de bases.

Fonte: dados da pesquisa.

Na determinação dos atributos químicos conforme Teixeira *et al.* (2017), para o potássio (K) e sódio (Na) foi usada a metodologia de extração com solução diluída de acetato de amônio 1 mol L⁻¹ pH 7,0 e posterior determinação por espectrofotometria de chama. O cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram extraídos com solução acetato de amônio a pH 7 e a determinação foi feita por absorção atômica. Os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn foram extraídos com solução de Mehlich-1 e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. A análise de nitrogênio total (N_{total}) foi realizada com base na metodologia de Kjeldhal, por destilação a vapor. Para o fósforo (P) disponível foi usada solução extratora de Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹) e a leitura foi efetuada por fotocolorimetria. Para determinar a acidez trocável (H + Al) foi utilizada solução de HCl 1 mol L⁻¹ como extrator e titulação com NaOH 0,1 mol L⁻¹.

A CTC total (cmol_c dm⁻³) foi calculada pela fórmula [(Ca+Mg+K+Na)+(Al+H)]. A saturação por bases foi calculada pela seguinte fórmula: V(%) = (SB x100)/T. O carbono orgânico total (COT) foi determinado a partir da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio, em presença de H₂SO₄ e aquecimento externo, titulando-se o excesso de

dicromato com sulfato ferroso amoniacal (YEOMANS; BREMNER, 1988). Os dados dos atributos químicos da caracterização do solo estão na Tabela 4.

Todos os indicadores biológicos feitos na caracterização do solo (TABELA 5) foram repetidos para avaliar os tratamentos depois das incubações, como o COT, conforme foi supracitado. O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinado pelo método da fumigação-extração de Vance *et al.* (1987), adaptado por Silva *et al.* (2007). As amostras foram fumigadas com adição de clorofórmio, mantendo-as em local escuro por período de 24 horas como descrito por Brookes *et al.* (1982); Witt *et al.* (2000). A extração e quantificação do CBM do solo procederam conforme descrito por Walkley; Black (1934), adaptado por Tedesco (1995). A respiração basal (RB) do solo foi determinada pelo método descrito por Alef (1995), por meio da quantificação do CO₂ no processo de respiração microbiana, em oito dias de leitura. O $q\text{CO}_2$ foi determinado pela razão entre RB/CBM, conforme Anderson; Domsch (1978). Ainda, foi calculado o $q\text{Mic}$ pela fórmula $[(\text{CBM}/\text{COT}) \times 100]$. O N e P foram analisados conforme descrito anteriormente para análises dos atributos químicos do solo. Adicionalmente, também foram calculadas as relações C/N e C/P do solo incubado com o hidrogel.

Tabela 5 - Caracterização microbiológica (tempo zero) para o horizonte superficial (0-10 cm) do Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico

Prof. cm	CBM mg C _{mic} g ⁻¹	RB mg C-CO ₂ g ⁻¹	$q\text{Mic}$ %	$q\text{CO}_2$ mg C-CO ₂ mg ⁻¹ C _{mic}	C/N	C/P
0-10	0,17	0,81	1,16	4,76	23	200

Fonte: dados da pesquisa.

3.2 Caracterização do hidrogel comercial Forth Gel®

Em todos os experimentos foi utilizado um hidrogel comercial à base de hidrogel de acrilamida e acrilato de potássio chamado Forth Gel®. Para caracterizá-lo quimicamente fez-se a análise elementar de carbono, hidrogênio e nitrogênio com base em 100% da massa desse hidrogel de acrilamida e acrilato de potássio utilizando um microanalisador Carlo ERBA EA 1108, cujos os resultados estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 - Composição química elementar do hidrogel comercial Forth Gel®, em massa %

Forth Gel® ¹	C	H	N	C/N
	39,7	6,7	15,0	2,6

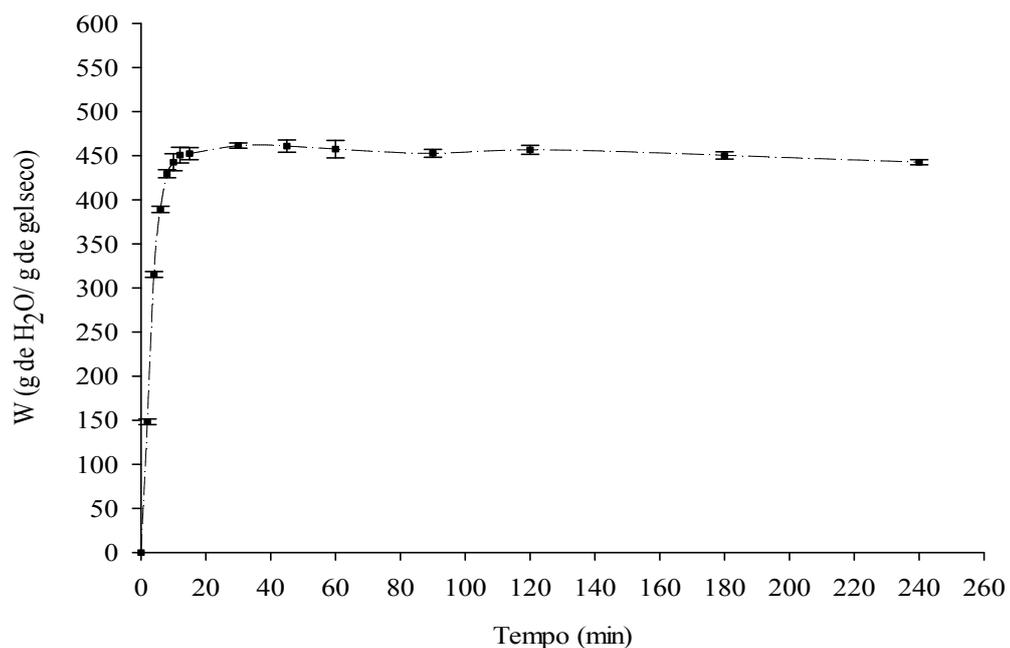
¹Fonte: dados cedidos por Nascimento (não publicados).

Para auxiliar no entendimento da absorção de água pelo hidrogel em questão, procedeu-se a análise da cinética de intumescimento (W) em água destilada (FIGURA 1). Para tanto foram pesados 30 mg do hidrogel em cadinho filtrante de 30 mL (porosidade nº 0) previamente umedecido. Este conjunto foi inserido em água destilada de modo que o gel foi totalmente submerso. O conjunto (cadinho + gel) foi retirado em intervalos de tempo (2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 e 240 minutos), a parede externa do cadinho foi seca e o sistema foi pesado. Foi utilizada a equação 1:

$$W = \frac{W_t - W_0}{W_0} \quad (1),$$

em que W_0 representa a massa (g) do hidrogel seco a 70 °C e W_t é a massa (g) de hidrogel dilatado no tempo t .

Figura 1 – Curva da cinética de intumescimento em água destilada ao longo do tempo



Fonte: dados cedidos por Nascimento (não publicados).

3.3 Estudo dos efeitos do hidrogel na estrutura do solo (Experimento 1)

3.3.1 Local de instalação, delineamento experimental e tratamentos

O estudo sobre os efeitos do hidrogel na estrutura do solo foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, no município de Fortaleza (CE).

O estudo foi realizado com delineamento inteiramente aleatorizado, em fatorial 6 x 4, constituindo os seguintes tratamentos: seis doses do hidrogel Forth Gel[®] (FIGURA 2) à base de hidrogel acrilamida e acrilato de potássio (0; 0,15; 0,30; 0,60; 1,20 e 2,40 g de CoAm + AcK kg⁻¹ de solo) e quatro número de ciclos de umedecimento e secagem (1, 3, 6 e 9 ciclos U/S) com três repetições. Cada unidade foi constituída por um tubo de PVC (150 mm) com dimensões de 15 x 15 cm (GRÁFICO 3 A). A dose 2,40 g hidrogel kg⁻¹ de solo corresponde à dose recomendada (por cova de plantio) pelo fabricante do hidrogel para plantas perenes; já as outras doses avaliadas correspondem às doses mais economicamente viáveis do que a recomendada.

Figura 2 – Imagem ilustrativa do hidrogel comercial Forth Gel[®] usado nos experimentos



3.3.2 Instalação e condução do experimento

Cada unidade experimental foi constituída pelo conjunto dos dois tubos preenchidos com solo contendo as doses de hidrogel. No centro dos tubos de PVC de 15 x 15 cm foram colocados tubos menores de aço inoxidável com dimensões de 7 x 5 cm, previamente forrados com pano na extremidade inferior (FIGURA 3 B). O hidrogel foi aplicado seco e incorporado ao solo de cada unidade experimental, com cuidado de deixar cinco centímetros na extremidade superior dos tubos maiores sem preenchimento com solo, para que não acontecesse perdas de solo e hidrogel por extravasamento mediante umedecimento (expansão) do polímero. Antecipadamente, os tubos foram colocados em bandejas onde as amostras foram submetidas aos ciclos de umedecimento e secagem (U/S).

O umedecimento foi feito com água destilada e por ascensão capilar. Após o umedecimento (até a porção superficial) (em 4 dias), o excesso de água da bandeja foi

descartado e os tratamentos foram postos para secagem ao ar até atingir peso constante, que foi de, aproximadamente, 15 dias³. Posteriormente, o conjunto retornou para um novo ciclo de umedecimento. Os tratamentos foram iniciados pelo maior número de ciclos (9 ciclos de U/S), adaptando método de Castro (1985) e Murphy (1986).

3.3.3 Análises dos atributos físicos

No solo contido em todos tubos de PVC de 15 x 15 cm foram feitas as seguintes análises físicas: granulometria, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total (macro e microporosidade), argila dispersa em água e curva de característica de água no solo. Todos os procedimentos analíticos foram feitos ao final de cada ciclo de umedecimento e secagem.

Figura 3 – Unidades experimentais com tubos de PVC contendo o Argissolo com as doses de Forth Gel[®] acondicionados em bandejas para submetê-los aos ciclos de umedecimento e secagem (A) e para o tratamento com a dose de 0,15 g kg⁻¹ após nove ciclos U/S e destaque os tubos com as amostras indeformadas (B)



. Fonte: arquivo próprio.

Amostras com estrutura não preservada foram utilizadas para a realização das análises granulométrica (GEE e BAUDER, 1986) e da densidade de partículas pelo método do balão volumétrico (BLAKE; HARTGE, 1986a). Após o término de cada ciclo, as amostras indeformadas foram secas a 105 °C até massa constante para determinação da densidade conforme método descrito em Blake e Hartge (1986b). A porosidade total foi obtida a partir da densidade do solo e de partículas (equação 2), conforme descrito por Teixeira *et al.* (2017):

$$\alpha = (1 - \rho_s / \rho_p) \quad (2)$$

sendo α a porosidade (m³ m⁻³) e ρ_p e ρ_s as densidades de partículas e do solo (kg m⁻³),

³ Temperatura média dentro da casa de vegetação foi de 45 °C.

respectivamente. A determinação da microporosidade (poros com diâmetro $< 50 \mu\text{m}$) foi realizada mediante a aplicação de tensão de 6 kPa nas amostras deformadas, utilizando o funil Haines, até que a água que estivesse ocupando os poros com diâmetro igual ou superior a 50 μm fosse drenada (DANIELSON; SUTHERLAND, 1986). A macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

A argila dispersa em água foi determinada pelo mesmo procedimento adotado na análise granulométrica, distinguindo-se daquele apenas por não utilizar o dispersante químico. Já o grau de floculação foi calculado a partir da argila total determinada na análise granulométrica e da argila dispersa em água, segundo a equação 3. A determinação foi realizada conforme descrito por Teixeira *et al.* (2017):

$$GF (\%) = \frac{\text{Argila total} - \text{Argila dispersa em água}}{\text{Argila total}} * 100 \quad (3)$$

A curva característica de água no solo foi determinada em amostras com estrutura, usando anéis de borracha. O procedimento de saturação das amostras foi feito na própria placa e/ou funil; para os pontos de baixa tensões (0, 2, 6 e 10 kPa) o funil de Haines foi utilizado para estabelecer o equilíbrio entre a tensão aplicada e o conteúdo de água no solo; para os demais pontos (33, 500 e 1500 kPa) o equilíbrio foi obtido em extrator de placa porosa de Richards (KLUTE, 1986). Obtidos os valores de umidade do solo em todos os pontos de tensão, foi feito o ajuste dos dados de acordo com o modelo matemático proposto por van Genuchten (1980), a partir da equação 4.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\phi_m|)^n]^m} \quad (4),$$

em que θ corresponde ao conteúdo de água ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), θ_r e θ_s são, respectivamente, os teores de água residual e de saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), ϕ_m o potencial mátrico da água no solo (kPa), α um escalonador do ϕ_m ; m e n são parâmetros de ajuste do modelo relacionados ao formato da curva.

Os dados foram ajustados com o auxílio do programa Table Curve 2D, versão 5.01 (Versão Trial, 2014), sendo as variáveis θ_s e θ_r fixadas com valores, respectivamente, de conteúdo de água no solo correspondente à saturação e tensão de 1500 kPa, ambos mensurados em laboratório. O ajuste dos parâmetros α , m e n baseou-se o método iterativo de Newton-Raphson, sem dependência do parâmetro m com o n (DOURADO NETO *et al.*, 2001). Para a obtenção da curva de frequência acumulada de poros, relacionou-se o logaritmo da tensão com o quociente entre a umidade base volume e porosidade total. A curva diferencial da curva característica de água no solo (θ em função de Ψ_m), cujo pico foi relacionado aos poros mais

frequentes, foi obtida a partir de $-1/\alpha (d\theta/d\Psi_m) (kPa^{-1})$.

As análises das curvas de retenção de água no solo foram feitas levando em consideração as faixas de tensão de 0 a 6 kPa (macroporosidade) e 6 a 1500 kPa (microporosidade). Também se fez a determinação da água disponível (AD) para as plantas que, para o solo deste estudo, é aquela que está entre 33 e 1500 kPa (ou seja, entre capacidade de campo e no ponto de murcha permanente), calculada pela diferença entre $\theta_{cc} - \theta_{pmp}$, já que a textura do solo foi caracterizada como média (TABELA 4).

3.4 Estudo dos efeitos do hidrogel na liberação de nitrogênio e potássio no solo (Experimento 2)

3.4.1 Local de instalação, delineamento experimental e tratamentos

O estudo sobre os efeitos do hidrogel na liberação de nitrogênio e potássio no solo foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza (CE).

O delineamento experimental foi inteiramente aleatorizado com fatorial 5 x 4, sendo cinco doses de hidrogel (0; 0,30; 0,60; 1,20 e 2,40 g Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo) e quatro períodos de avaliação (30, 60, 90 e 120 dias após transplântio – DAT) e quatro repetições, totalizando 80 vasos (unidades experimentais). Cada unidade foi composta por um vaso plástico com capacidade para dois litros (FIGURA 4). Cada vaso foi preenchido com 1,5 kg de solo. O solo coletado foi distribuído nos vasos com furos no fundo para a drenagem do excesso de água com uso de papéis filtros para evitar a passagem de solo.

3.4.2 Instalação e condução do experimento

O solo utilizado foi o mesmo do Experimento 1. A temperatura média dentro da casa de vegetação foi de 35 °C e as mudas não foram sombreadas. Os vasos foram preenchidos com solo contendo a dose de hidrogel seco correspondente a cada tratamento. Em cada vaso foi transplantada uma muda de Ipê roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos). A escolha desta espécie (não leguminosa) foi por não ser capaz de fixar biologicamente N₂ da atmosfera, aumentando as chances de resposta à possível liberação de N do polímero aplicado nos tratamentos, e também devido ao seu crescimento rápido e por ser resistente a condições extremas, ou seja, como as das áreas degradadas em regiões semiáridas (MAIA, 2004).

As mudas foram obtidas a partir da semeadura em bandejas contendo areia e

vermiculita (1:1), aos 21 dias após a semeadura foram transplantadas. Após o transplântio foi iniciada a irrigação para manter o substrato próximo a 60% da umidade na capacidade de campo (30 mL de água destilada vaso⁻¹ dia⁻¹), com turno de rega de dois dias e foi feito arranquio manual das daninhas uma vez por semana. Foi feita calagem (0,45 g calcário dolomítico vaso⁻¹, correspondente a 0,222 Mg ha⁻¹ de calcário) e fosfatagem (0,5 g superfosfato triplo vaso⁻¹, cerca de 1,025 Mg ha⁻¹ de P₂O₅), 45 dias antes do transplântio das mudas. O uso do calcário teve como objetivo aumentar a concentração dos cátions Ca²⁺ e Mg²⁺, com isso facilitar a troca desses íons pelo K⁺ presente na composição do acrilato. As mudas de ipê são altamente exigentes em P, por isso procedeu-se a adubação fosfatada.

Figura 4 – Unidades experimentais correspondentes ao Experimento 2 – crescimento de mudas de ipê roxo com diferentes doses do hidrogel Forth Gel[®]



Fonte: arquivo próprio.

3.4.3 Análises

3.4.3.1 Análises do material vegetal

Para melhor avaliação de cada variável, o experimento foi dividido em quatro períodos correspondentes a cada mês após transplântio das mudas. Ao final de cada mês passou-se a monitorar o crescimento das mudas em altura com o auxílio de uma régua graduada em cm; o mesmo se fez com as raízes depois de terem sido lavadas para retirar o excesso de solo. Para calcular o incremento médio em altura (IMA) e em comprimento de raízes (IMCR) foram

utilizadas as equações 5 e 6:

$$IMA (mm \text{ dia}^{-1}) = \frac{h_f - h_i}{\Delta t} \quad (5) \text{ e}$$

$$IMCR (mm \text{ dia}^{-1}) = \frac{c_f - c_i}{\Delta t} \quad (6),$$

em que h_f e c_f são as medidas da altura e comprimento finais (mm); h_i e c_i altura e comprimento iniciais (mm), respectivamente; e Δt é o intervalo de tempo entre duas medições seguidas, em dias.

O número de folhas foi contabilizado concomitantemente às medidas de altura. As medidas dos diâmetros de colo (DC) foram feitas a três centímetros do colo das mudas utilizando um paquímetro digital. Depois as mudas foram cortadas na altura do colo, assim a parte aérea foi separada das raízes. As raízes e a parte aérea (folhas e caule) foram colocadas em estufa a 65 °C até massa constante, sendo posteriormente pesadas em balança analítica para determinação da massa seca da parte aérea e das raízes (MSPA e MSR, respectivamente). Posteriormente calculou-se a massa seca total (MST) das mudas.

Antecipadamente ao cálculo do Índice de Qualidade de Dickson (IQD), conforme a equação 7 sugerida por Dickson; Leaf; Hosner, (1960), foram feitas algumas relações com objetivo de avaliar a qualidade das mudas, dentre elas: H/DC e MSPA/MSR.

$$IQD = \frac{\text{massa seca total (g)}}{\frac{H (cm)}{DC (mm)} + \frac{MSPA (g)}{MSR (g)}} \quad (7)$$

3.4.3.2 Análises químicas de solo ao final do experimento

A análise dos teores de elementos no solo (potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), nitrogênio (N) total e fósforo (P) disponível) após a aplicação dos tratamentos se deu ao final de cada período, utilizando nas determinações os métodos descritos em Teixeira *et al.* (2017), conforme já apresentado no item 3.1 desta tese. Posteriormente, foram feitos cálculos para CTC total, além das determinações de pH (em H₂O) e condutividade elétrica (CE) em pasta saturada.

3.4.3.3 Análise do estado nutricional do material vegetal

Antes da determinação dos teores de nutrientes no material vegetal das mudas de ipê, as amostras passaram por digestão nitro-perclórica, que visa a extração dos elementos químicos. O Ca e Mg foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica, o Na e

K pelo fotômetro de chama e o P por colorimetria, conforme metodologias descritas em Malavolta; Vitti; Oliveira (1997). Os teores de N total foram extraídos por digestão sulfúrica e determinados pelo método semimicro Kjeldahl, adaptado de Bremner; Mulvaney (1982) e Tedesco (1995), que se baseia na destilação e arraste de vapores.

Ao final de cada período de avaliação, e por meio dos valores das massas secas totais, bem como dos teores de cada nutriente, foram obtidos os acúmulos totais, somando-se os acúmulos encontrados na parte aérea e no sistema radicular das mudas. O acúmulo de macronutrientes, em mg planta⁻¹, foi determinado a partir da equação 8.

$$\text{Acúmulo} = \frac{\text{massa seca (mg)} \times \text{teor do nutriente (mg g}^{-1}\text{)}}{1000} \quad (8)$$

3.5 Estudo dos efeitos do hidrogel na microbiota do solo (Experimento 3)

3.5.1 Local de instalação e solo utilizado no experimento, delineamento experimental e condução do experimento

O estudo sobre os efeitos do hidrogel na microbiota do solo foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará. O solo utilizado neste experimento foi o mesmo utilizado nos experimentos 1 e 2; contudo, foi proveniente somente da camada 0-10 cm. Os atributos físicos, químicos e biológicos do solo utilizado são apresentados nas Tabelas 4 e 5.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com esquema fatorial 5 x 3, sendo cinco doses do hidrogel à base de acrilamida e acrilato de potássio (0; 0,30; 0,60; 1,20 e 2,40 g Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo) e três tempos de incubação (30, 60 e 90 dias). Foram utilizados recipientes contendo cada um 1 kg de solo da camada superficial descrito anteriormente, com quatro repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Durante o experimento a umidade do solo foi corrigida para 60% da capacidade de campo, promovendo a condição de mineralização do hidrogel igual para todas as unidades experimentais. Foram feitos arranquios diários para evitar a influência das plantas sobre a microbiota.

3.5.2. Análises microbiológicas do solo

Os indicadores microbiológicos medidos foram o carbono orgânico total (COT), o carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quocientes microbiano (pela razão CBM/COTx100) e metabólico (pela razão entre RBS/CBM), cujos os métodos já foram descritos no subitem 3.4.4.

3.6 Avaliação indireta da microbiota de um solo incubado com hidrogel por meio da quantificação do FAME/MIDI (Experimento 4)

3.6.1 Local de instalação e solo utilizado no experimento, delineamento experimental e condução do experimento

O experimento sobre os efeitos do hidrogel na microbiota do solo por meio da quantificação do FAME/MIDI foi realizado no laboratório de Manejo do Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, localizada em Fortaleza (CE) e foi usado o solo nas mesmas condições mencionadas para o experimento 3.

O delineamento experimental foi inteiramente aleatorizado com esquema fatorial 5 x 3 conforme o experimento anterior. Durante o experimento a umidade do solo foi corrigida para 60% da capacidade de campo, promovendo a condição de mineralização do hidrogel igual para todas as unidades experimentais.

3.6.2 Análise de lipídios totais (FAME/MIDI)

A análise de lipídios totais foi realizada no Laboratório Bioquímica, Microbiologia e Interacciones Biologicas del Suelo da Universidad de Nacional Quilmes (Argentina). Foi utilizado o Sistema de Identificação Microbiana Sherlock (MIDI Inc, Newark, DE, EUA) em processo constituído por quatro etapas: saponificação, metilação, recuperação dos Ácidos Graxos Metil Ésteres (ou Fatty Acid Metyl Ester - FAME) e lavagem da fase orgânica (SASSER, 1990; MIDI, 2005).

Na primeira etapa, 1 g solo liofilizado por 24 horas, seco e macerado em nitrogênio líquido (FIGURA 5 A, B) foi tratado com solução de NaOH preparada em mistura de água e metanol (1:1) e aquecida a 100 °C (FIGURA 5 C). Durante esta operação as células foram lisadas e os ácidos graxos foram separados dos lipídios celulares e convertidos em sais de sódio. A etapa de metilação teve a finalidade de aumentar a volatilidade dos compostos formados na saponificação, de modo a torná-los mais adequados à análise cromatográfica. Esta reação ocorre após a adição de uma mistura de ácido forte (HCl) e metanol ao conteúdo dos frascos contendo as amostras, seguida por incubação a 80 °C e 10 minutos de rotação no oscilador orbital (FIGURA 5 D, E).

Para a recuperação dos lipídios produzidos (FAME), hexano foi adicionado aos frascos de modo a resultar na partição em duas fases - uma orgânica, contendo os FAMES e outra aquosa-alcoólica, contendo compostos mais polares (FIGURA 5 F). A fase orgânica foi

então aspirada, transferida para novos tubos e tratada com solução alcalina fraca para lavagem de resíduos ácidos. Cada concentração de ácidos graxos na amostra foi estimada em relação ao padrão interno éster metílico 19:0 e expressa em nanomoles por grama de solo seco (FIGURA 5 G,H,I,J,K). Por fim, 2 μ L de extrato lipídico de cada fração lipídica foram injetados no cromatógrafo a gás Agilent 6890 Plus, com um detector de ionização de chama, usando H_2 como gás transportador e uma coluna capilar de Ultra 2 e 5% fenilmetil siloxano. A temperatura inicial do forno de 170 °C foi aumentada para 260 °C a 5 ° C/min, seguida por outro aumento para 310 °C a 40 °C min^{-1} (FIGURA 5 L).

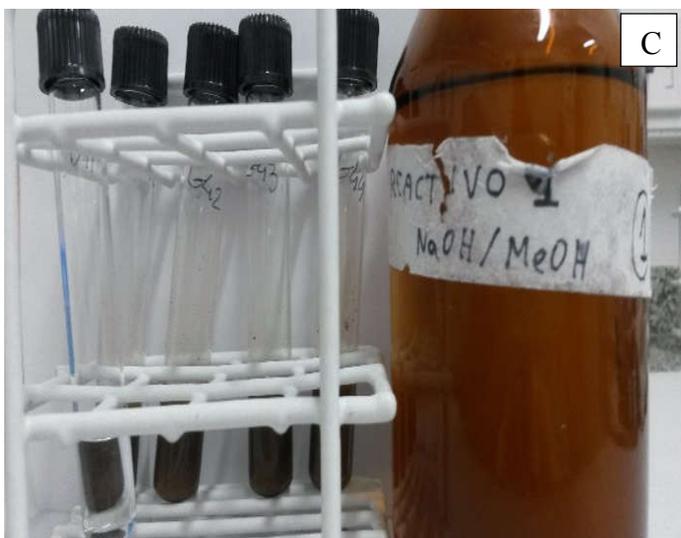
3.7 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e, mediante ausência de distribuição normal, procedeu-se a transformação destes pela raiz ($X+0,5$). Posteriormente, foi feita a análise da variância (ANOVA) e, mediante constatação de diferença significativa, foi aplicado o teste de Tukey ao nível de significância ($p < 0,05$) para comparação de médias do fator qualitativo e análise de regressão para fator quantitativo. Quando a interação foi significativa fez-se os desdobramentos, utilizando o programa SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2013).

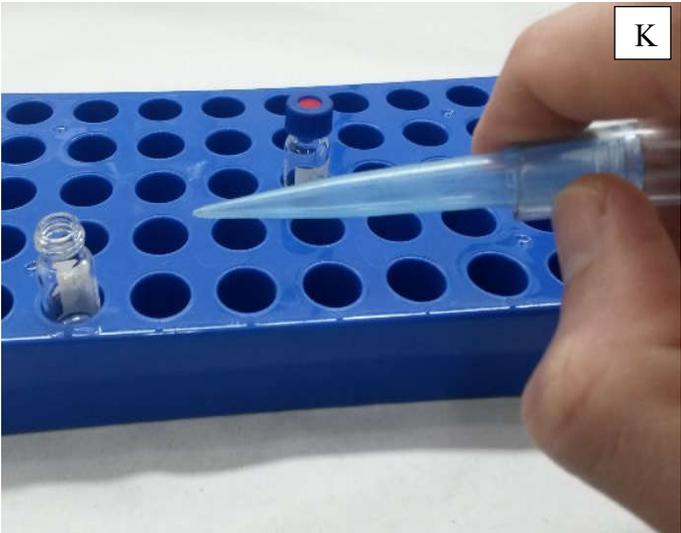
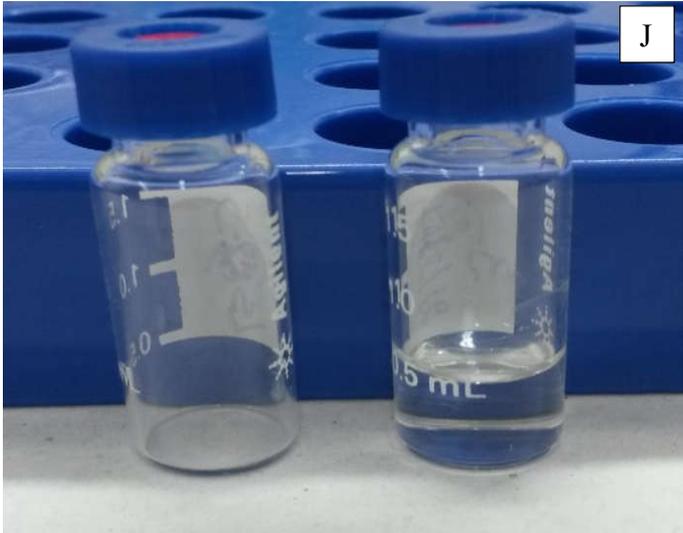
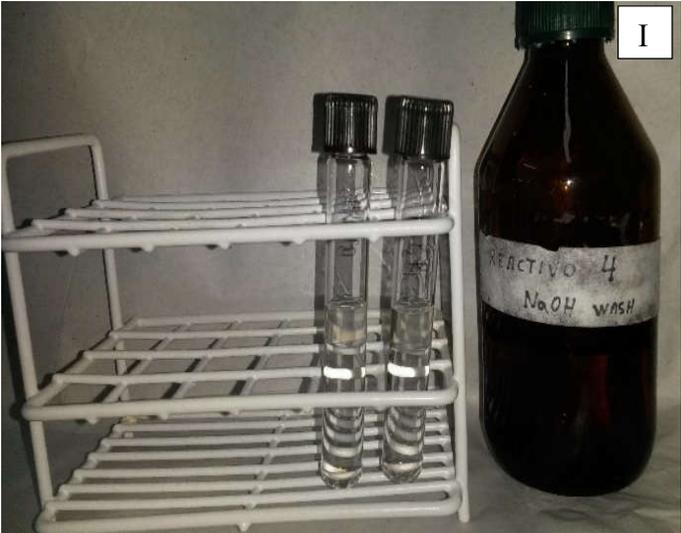
Com as médias dos tratamentos dos experimentos 3 e 4 foi feita análise de variância multivariada (MANOVA), obtendo-se efeitos significativos para as doses de hidrogel, tempo de incubação e sua interação. Em seguida, procedeu-se a aplicação de dois métodos de análises multivariadas: a) análise de agrupamentos, verificando-se as similaridades entre tratamentos pelas distâncias Euclidiana e teste de Ward, também foi construído um dendrograma, com destaque para os grupos tratamentos; b) análise de discriminantes (para observar as maiores distâncias entre tratamentos) e componentes principais, incluindo o gráfico Biplot com informações sobre: (i) efeito dos tratamentos sobre cada variável; (ii) contribuição das variâncias (tamanho dos vetores) em cada componente; e (iii) as correlações entre as variáveis conforme a suas distribuições nos quatro quadrantes.

As pressuposições de análise de variância como pontos discrepantes, homogeneidade de variância, normalidade dos resíduos, tamanho da amostra foram verificadas e utilizou-se o método de Box; Cox (1964) para transformação de dados, quando necessário. Todas as multivariadas, bem como os gráficos e tabelas, foram editadas no programa INFostat (DI RIENZO *et al.*, 2018).

Figura 5 – Passos da análise de lipídios totais pelo sistema MIDI pré-tratamento (A); amostras de 1 g para análise (B); saponificação (C); metilação (D); agitação no oscilador orbital (E); recuperação dos FAMES produzidos (F); extração (G); aporte do standart 19:0 (H); lavagem (I); retirada da alíquota do FAME (J); secagem com gás argônio ou hidrogênio (H₂) (K); leitura no cromatógrafo gasoso (L)







4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeito do hidrogel nos atributos físicos do Argissolo em processo de degradação

A análise de variância (ANOVA) para os atributos físicos do solo em resposta às doses de hidrogel (DH) e aos ciclos de umedecimento e secagem (U/S) revelou diferenças significativas ($p < 0,01$) na interação entre fatores de tratamento para a densidade do solo (Ds), grau de floculação (GF), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro). A diferença significativa para a água disponível (AD) no solo ocorreu em resposta ao fator isolado “doses de hidrogel” (TABELA 7).

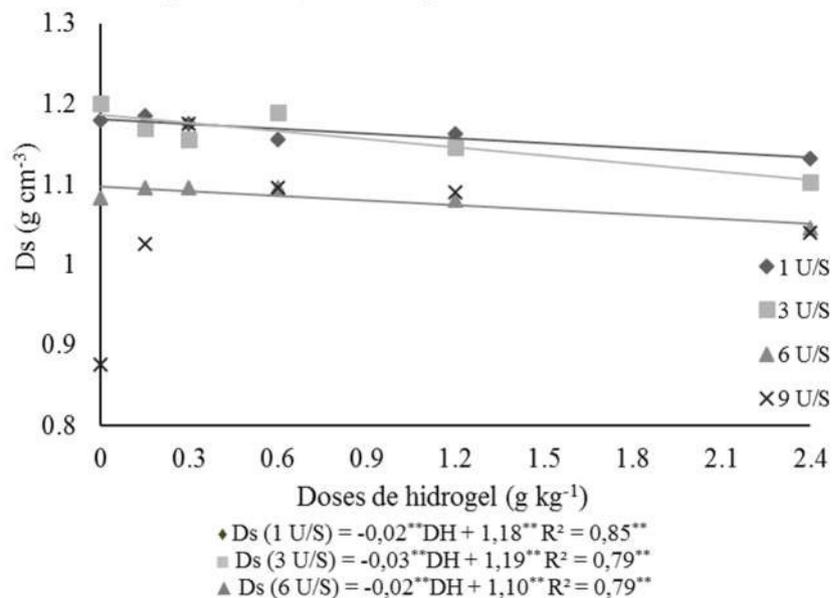
Tabela 7 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os atributos físicos do Argissolo

Fontes de variação	G.L.	Valor de F					
		Ds	GF	PT	Macro	Micro	AD [†]
Doses de hidrogel (DH)	5	10,9**	3,9**	7,7**	7,6**	21,5**	25,5**
Ciclos (U/S)	3	69,7**	31,9**	5,0**	11,7**	8,9**	1,87 ^{ns}
DH*U/S	15	10,6**	10,2**	12,6**	6,6**	8,0**	1,19 ^{ns}
Total	71	-	-	-	-	-	-
C.V (%)	-	2,61	7,29	3,24	5,51	8,43	1,15

** e ^{ns}: significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente; G.L.: Grau de liberdade; C.V.: Coeficiente de variação. [†]Variável transformada: $\sqrt{(x+0,5)}$.

Ao observar as médias de Ds na dose zero e na maior dose de Forth Gel[®] (2,4 g kg⁻¹), as reduções foram de 1,18 para 1,13 g cm⁻³ para um ciclo U/S; de 1,20 para 1,10 g cm⁻³ e de 1,10 para 1,05 g cm⁻³ para três e seis ciclos U/S, respectivamente (GRÁFICO 1).

Gráfico 1 – Densidade do solo (Ds) (g cm⁻³) do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel (g Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo) durante quatro ciclos de umedecimento e secagem (U/S)



Há estudos em que foi identificado aumento na Ds com a aplicação dos polímeros (WEST *et al.*, 2004; MALLORY *et al.*, 2011), para dados coletados em campo. Contudo, outros estudos mostraram que os polímeros reduzem a densidade do solo em experimentos montados em casa de vegetação (BAI *et al.*, 2010; BARAN *et al.*, 2015; YANG *et al.*, 2005; LIU *et al.*, 2006; BUSSCHER; NOVAK; CAESAR-TONTHAT, 2007), corroborando os resultados do presente trabalho.

Caso esse experimento tivesse sido montado em campo, com esse mesmo solo (Argissolo), penso que a densidade teria um aumento com incremento das doses de hidrogel e com os sucessivos ciclos de umedecimento e secagem, pois com o intumescimento do hidrogel pressionando as camadas de solo adjacentes, fazendo com que as partículas mais finas obstruíssem os poros, com o aumento da Ds em campo, encontraríamos uma menor porosidade total.

Como observado na Gráfico 1, com o incremento nas doses de Forth Gel[®] houve redução na Ds que foi condizente com o aumento na porosidade total (PT) para um, três e seis ciclos de U/S (Gráfico 2 A). As maiores médias de PT aconteceram com as doses de polímero 1,25 g kg⁻¹ (0,58 cm³ cm⁻³) e 1,48 g kg⁻¹ (0,60 cm³ cm⁻³) com um e três ciclos U/S, respectivamente (Gráfico 2 A). Em laboratório, a expansão do hidrogel no umedecimento promove o deslocamento (desprendimento) de massa de solo para fora do anel com tendência de aumento da porosidade total (PALUSZEK, 2010; 2011). No ciclo de 6 U/S houve crescimento de 30% na quantidade total de poros em comparação com a testemunha e a dose 1,78 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo resultou na PT_{máx} de aproximadamente 0,71 cm³ cm⁻³ (GRÁFICO 2 A). Helalia; El-Amir; Shawky (1992) mostraram que doses entre 2,5 e 15 g kg⁻¹ dos hidrogéis Acryhope[®] e Aquastore-B[®] aumentaram a porosidade total do solo.

A PT diminuiu com nove ciclos de U/S mediante aumento nas doses de hidrogel (GRÁFICO 2 A) condizente com aumento da Ds nos tratamentos com este número de ciclos (9 U/S), embora que estas médias não tenham sido significativas (GRÁFICO 1). A redução na PT no nono ciclo foi explicada pelo fato de que, após cada ciclo, aumenta a compressão do hidrogel intumescido sobre as partículas de argila e silte, de modo que essas partículas comprimidas do solo colapsam os espaços vazios e neutralizam os efeitos da expansão dos hidrogéis devido a reorientação das partículas sólidas mais finas e das partículas de polímero dentro dos poros (HUSSIEN *et al.*, 2012). Em campo, os sucessivos ciclos de U/S podem ser danosos para estrutura do solo, e o hidrogel intensifica esse processo.

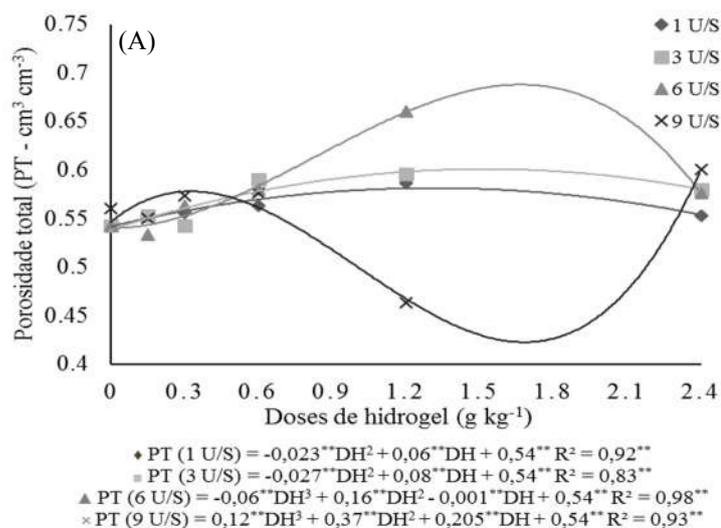
Em outro estudo foi observada redução na PT do solo após aplicação do Aquasorb[®] porque, por intumescimento, as partículas de hidrogel que já ocupavam alguns dos espaços dos

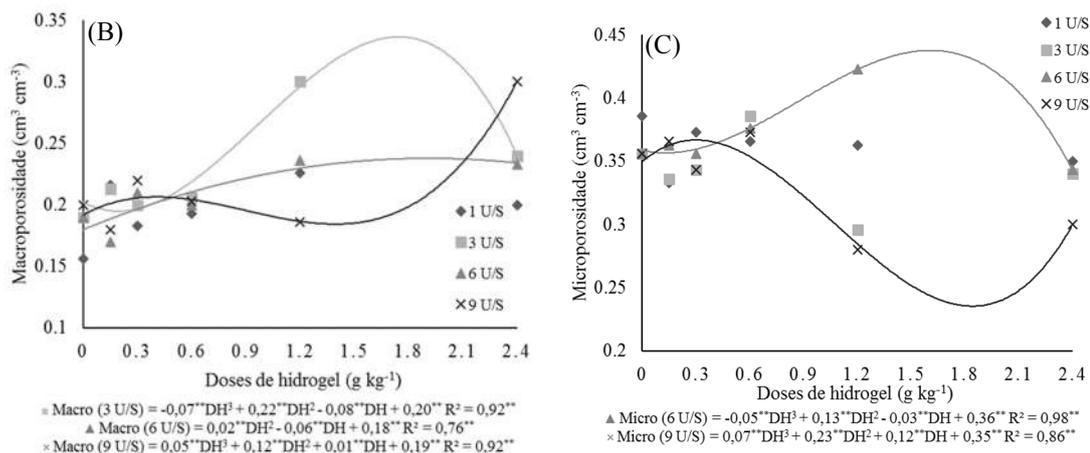
poros permaneceram como uma barreira após o aumento do seu volume (GALEŞ *et al.*, 2016). Em outro trabalho, El-Hady; Wanas (2006) obtiveram ligeira diminuição na porosidade total com aplicação de um hidrogel à base de acrilamida, como aconteceu nas amostras com nove ciclos de U/S.

O aumento na macroporosidade foi de 0,19 para 0,36 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ aos três ciclos de U/S; com seis ciclos cresceu até o máximo de 0,13 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ com a dose de 1,5 g Forth Gel[®] kg^{-1} de solo; e, por fim, aos nove ciclos, somente houve aumento de macroporos com doses acima de 1,56 g Forth Gel[®] kg^{-1} de solo (GRÁFICO 2 B). Com o aumento das doses de Forth Gel[®] ocorre incremento na densidade de carga e maior interferência das forças elétricas repulsivas dentro das moléculas do polímero expandindo seu tamanho o que, por sua vez, leva à ligação dos polímeros com as partículas do solo, mantendo abertos os maiores poros (KNUDSON; NOID; SUMPTER, 1992).

A quantidade de microporos aumentou com as doses de Forth Gel[®] submetidas a seis ciclos de U/S e decresceu com os nove ciclos de U/S (GRÁFICO 2 C). No entanto, a quantidade de microporos com seis ciclos U/S foi maior em 22% comparação entre a testemunha e a dose de 1,61 g de Forth Gel[®] kg^{-1} de solo (dose onde foi atingido ponto máximo de microporosidade na curva de ciclo 6 U/S).

Gráfico 2 – Porosidade total (PT) (A), macroporosidade (B) e microporosidade (C), em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel (g Forth Gel[®] kg^{-1} de solo) dentro de quatro ciclos de umedecimento e secagem (U/S)





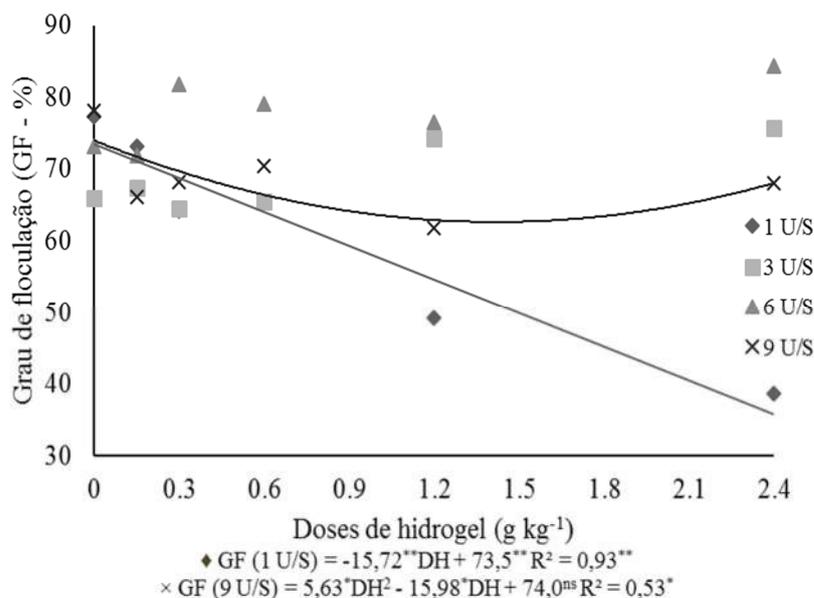
As doses de hidrogel e os ciclos de U/S contribuíram com a coagulação e floculação que foram mencionadas por Shainberg; Warrington; Rengasamy (1990) e por Adachi (1995) para entender a interação entre os polímeros e as partículas de solo, levando à agregação que resultou na tendência de redução da densidade do solo (GRÁFICO 1) e aumento da porosidade total (GRÁFICO 2 A). As variações ocorridas na porosidade que, por sua vez, impactaram na densidade, estão associadas aos efeitos das doses de hidrogel e dos ciclos de umedecimento e secagem na agregação do solo. Enquanto as interações do polímero com as partículas de solo por floculação e coagulação já foram bem exploradas, ainda se faz necessário explicar os efeitos dos ciclos de U/S.

A expansão de um hidrogel com o umedecimento e a contração com a secagem funciona de maneira análoga ao que ocorre em solos com argilas expansivas. Segundo Bronick; Lal (2005), ciclos de umedecimento e secagem têm efeito variável sobre a agregação de solos com argilas expansivas. Durante o umedecimento as partículas de argila expandem e se dispersam de outras partículas, diminuindo a estabilidade de agregados e promovendo a ruptura dos macroagregados. Por outro lado, no processo de secagem, o contato mais próximo entre as partículas de argila promove a formação de pontes de argila e ligações destas com a matéria orgânica particulada do solo, aumentando a agregação (DENEFF *et al.*, 2001). Para Attou; Bruand (1998), as pontes de argila ocorrem com o aumento dos ciclos de umedecimento e secagem. Com isso, sucessivos ciclos em solos com argilas expansivas promoveram maior floculação entre estas partículas.

Como já foi mencionado neste trabalho, a redução da D_s (GRÁFICO 1) e o aumento da PT (GRÁFICO 2 A) provocado pelos incrementos nas doses de Forth Gel[®] e nos números de ciclos de U/S poderiam ser correlacionados com aumento da agregação do solo. Logo, os resultados mais coerentes seriam aumento no grau de floculação (GF) e maior retenção de água

da mistura (solo + hidrogel) em relação ao solo original. Entretanto, as médias obtidas para o GF da mistura (solo + hidrogel) não foram conclusivas quanto à agregação deste solo, pois ocorreu uma diminuição na floculação (GRÁFICO 3).

Gráfico 3 – Grau de floculação (GF) (%) do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel (g Forth Gel® kg⁻¹ de solo) dentro de quatro ciclos de umedecimento e secagem (U/S)



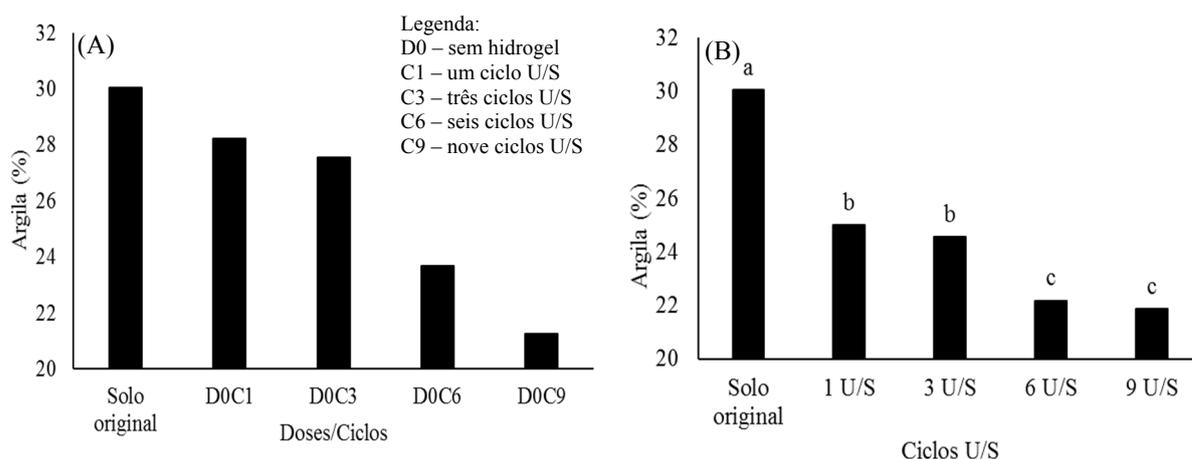
O GF reduziu de forma linear e quadrática nos ciclos 1 U/S e 9 U/S respectivamente, sendo que com um ciclo U/S a menor média de GF (38,6%) foi obtida na dose de 2,4 g Forth Gel® kg⁻¹, resultando em redução de quase 50% na floculação em relação o tratamento sem hidrogel (GRÁFICO 3). Neste caso, apenas um ciclo de U/S não foi suficiente para promover a floculação entre partículas de solo e polímero (NASSER; JAMES, 2006, 2007), pois deve ter ocorrido a formação de ligações fracas e instáveis que foram desfeitas por ocasião da ação de expansão (umedecimento) e contração (secagem) do hidrogel, bem como na agitação mecânica durante a execução do método analítico.

As médias do GF nos ciclos de 3 U/S, 6 U/S e 9 U/S foram maiores que com um ciclo de U/S (GRÁFICO 3), portanto quanto mais ciclos de umedecimento e secagem aplicado a mistura, maior a interação (ligação) entre as partículas de solo e Forth Gel® e consequentemente, maior a contribuição do hidrogel na agregação deste solo. O aumento no número de ciclos de U/S promoveram a maior aproximação entre partículas (solo e hidrogel) com a formação de pontes interpartículas e diminuição da argila dispersa, principalmente com as argilas 1:1 (caulinita), predominantes no Argissolo do presente estudo, resultando em interação mais estável na presença de água (BEN-HUR; KEREN, 1997; LEVY; AGASSI,

1995).

A redução no GF das amostras também pode estar relacionada à subestimativa do teor de argila da mistura (solo + hidrogel) pela resistência à dispersão ao NaOH ou pela perda de argila ocorrida durante aplicação dos ciclos de umedecimento e secagem (GRÁFICO 4 A,B). Essa subestimativa foi consequência da maior magnitude dos processos de “coagulação” e “floculação” entre argila e hidrogel (SHAINBERG; WARRINGTON; RENGASAMY, 1990; ADACHI, 1995), onde a ação do dispersante (NaOH) na mistura (solo + hidrogel) não foi eficaz em doses mais altas do hidrogel, pois a floculação pode ter continuado a ocorrer durante a sedimentação das partículas na execução da análise granulométrica.

Gráfico 4 – Comparativo dos teores de argila (%) entre solo original e os tratamentos sem Forth Gel® nos quatro ciclos de U/S (A) e médias teores de argila (%) do Argissolo Vermelho Amarelo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para os ciclos de umedecimento e secagem (U/S) (B)



Também pode-se dizer que, os tipos de ligação (iônicas com cátions, de hidrogênio e de van der Waals) entre os grupos hidrofílicos (-COOH, -CONH₂ e -NH₂) presentes de hidrogel à base de acrilamida e acrilato (por exemplo Forth Gel®) com as partículas de argilas podem ter interferido na quantificação dos teores de argila⁴ e nos valores médios do grau de floculação (ADACHI, 1995; LAIRD *et al.*, 1997; LIU *et al.*, 2009; MELO *et al.*, 2014; SHAINBERG; WARRINGTON; RENGASAMY, 1990).

A redução no teor de argila em resposta às doses de polímero e dos ciclos de U/S (GRÁFICO 4 A,B) explica a maior retenção de água no solo original (sem hidrogel e sem ciclos U/S), devido a interação das moléculas do hidrogel (carregadas negativamente) com as cargas negativas das argilas, com atuação iônica dos cátions polivalentes dissolvidos na solução do

⁴ Especificamente com os métodos empregados neste trabalho.

solo (ADACHI, 1995; BREEN, 1999; CHAN; SIVAPALAN, 1996; DICKINSON; ERIKSSON, 1991; ORTS *et al.*, 1999; SHAINBERG; WARRINGTON; RENGASAMY, 1990; SOJKA *et al.*, 2007; THENG, 2012; WALLACE; WALLACE, 1990).

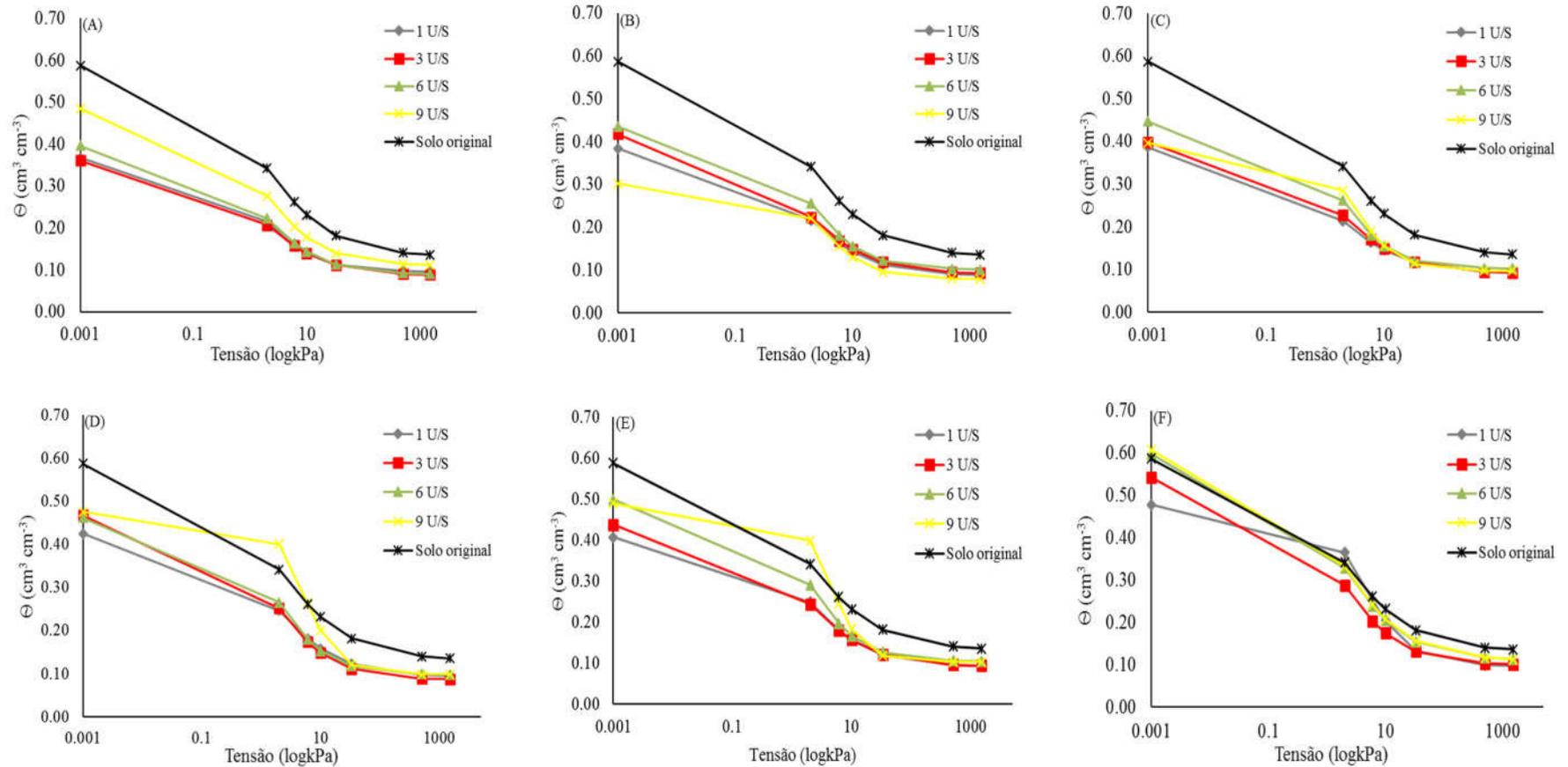
Outra explicação foi que após vários ciclos de U/S naturalmente ocorre perda de argila na coluna de solo. Nascimento *et al.* (2018) e Oliveira; Costa; Schaefer (2005) observaram perdas de argila total e dispersa em água após processos sucessivos de umedecimento e secagem de amostras de solo. Além disso, estes autores perceberam que houve dispersão do material agregado, fazendo com que a argila antes floculada ficasse livre em solução.

A menor retenção de água nos tratamentos que passaram pelos ciclos de U/S em comparação ao solo original - sem hidrogel e sem ciclos de U/S (GRÁFICOS 5 e 6) foi justificada pelo fato de que o umedecimento das amostras seguido pela secagem levou a uma translocação e remoção das partículas de argila dos cilindros nos quais estavam as amostras de solo. Assim, com menos argila do que o solo original, as amostras que receberam doses do hidrogel e que passaram pelos ciclos U/S apresentaram menor retenção de água. A redução no teor de argila das amostras submetidas às doses de hidrogel e aos ciclos U/S (GRÁFICO 4 A,B).

No presente estudo, apesar das variações ocorridas na porosidade em função das doses do polímero e número de ciclos U/S, não houve incremento na quantidade de água retida pela mistura solo + hidrogel quando comparada com o solo original. Em geral, o solo original apresentou maior retenção de água nas duas faixas de tensão analisadas, entre 0 a 6 kPa e 6 e 1500 kPa (GRÁFICO 5).

Comparando os ciclos de U/S dentro de cada dose de polímero na faixa de 0 a 6 kPa constatou-se que o conteúdo de água (θ em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) foi maior para nove ciclos U/S em comparação aos outros ciclos (GRÁFICO 5 A,C,D,E,F) e as umidades foram inferiores às do solo original. Os teores de umidade da mistura solo e Forth Gel[®] somente foram maiores ou iguais às do solo original para os tratamentos com nove ciclos U/S nas doses 0,6; 1,2 e 2,4 g kg^{-1} , especialmente nas tensões de 2 e 6 kPa (GRÁFICO 5 D,E,F), isso pode provocar problemas na respiração das plantas (ou seja, menor porosidade de aeração). A umidade de saturação foi maior na dose 2,40 g de Forth Gel[®] e seis e nove ciclos do que no solo original (GRÁFICO 5 F). Já na faixa de tensão entre 6 e 1500 kPa, para todos ciclos, a umidade foi menor que o do solo original para todos os ciclos e doses aplicados (GRÁFICO 5 A-F).

Gráfico 5 – Conteúdos de água ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) do Argissolo Vermelho Amarelo sem hidrogel (A); e submetido nas doses de 0,15 (B); 0,30 (C); 0,6 (D); 1,2 (E) e 2,4 (F) do Forth Gel[®] (g kg^{-1} de solo) dentro de quatro ciclos de umedecimento e secagem (U/S)



Também foram analisadas as doses do hidrogel dentro de cada ciclo de U/S nas mesmas faixas de tensões (GRÁFICO 6). Na faixa entre 0 e 6 kPa, os tratamentos contendo 2,40 g kg⁻¹ de hidrogel foram os que mais retiveram água, se aproximando da umidade do solo original (sem dose e nenhum ciclo). Mas, na medida em que aumentaram os ciclos de U/S os tratamentos com outras doses, em especial 0,60 e 1,20 g kg⁻¹, também apresentaram aumento na umidade (GRÁFICO 6 A-D). Usando doses baixas de PAM, Leciejewski (2009) constatou diminuição no teor de água no solo em comparação ao controle.

Com relação à faixa de tensão entre 6 e 1500 kPa, não houve diferenças no conteúdo de água com aumento das doses nos tratamentos com um e três ciclos de U/S (GRÁFICO 6 A-D); apesar de que com seis e nove ciclos de U/S, as maiores umidades foram observadas nas doses de 1,20 e 2,40 g Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo, respectivamente (GRÁFICO 6 C,D).

No trabalho com PAM, a capacidade de retenção de água de um solo arenoso aumentou em 23 e 95% dentro do potencial de 6 a 1500 kPa quando foi enriquecido com 0,3 e 0,7 g kg⁻¹, respectivamente (SIVAPALAN, 2006). Já Al-Darby (1996) verificou que as crescentes doses de hidrogel (2, 4 e 8 g kg⁻¹) em solo arenoso aumentaram a retenção de água na faixa de 0 a 1500 kPa.

Autores que estudaram a liberação de água de misturas de tipos de solos com hidrogel de poliacrilato indicaram que, na faixa correspondente à água liberada dos poros de drenagem (de 0 a -10 kPa), as amostras de solo sem hidrogel liberaram mais água em comparação às amostras tratadas, exceto em solo aluvial. A água liberada dos poros de retenção e disponível às plantas (entre 10 e 100 kPa) em amostras de solo sem hidrogel foi significativamente menor em comparação às amostras com hidrogel para todos os solos. Na faixa de 100 a 1500 kPa, a liberação de água foi geralmente menor que 0,05% por kPa nos solos que receberam o polímero (NARJARY *et al.*, 2012).

Contudo, foi visível que o aumento nas doses do Forth Gel[®] resultou em maior umidade no solo, tanto nas tensões baixas quanto nas altas (na faixa da água disponível para a planta: entre 33 e 1500 kPa) (GRÁFICOS 5 e 6). Ao contrário dos resultados encontrados na literatura indicaram que os polímeros usados como condicionadores em diferentes tipos de solo aumentam a umidade para todas tensões ou faixa de tensões testadas (ABEDI-KOUPAI; SOHRAB; SWARBRICK, 2008; AL-DARBY (1996); COELHO *et al.*, 2008; EL-HADY; ABD EL-KADER, 2009; HUSSIEN *et al.*, 2012; MONTESANTO *et al.*, 2015; NARJARY; AGGARWAL, 2014; NARJARY *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2004; SIVAPALAN, 2006).

Para além da perda de argila durante os procedimentos experimentais e laboratoriais (GRÁFICO 4 A,B), os resultados das curvas de água no solo encontrados nos tratamentos com mistura solo e Forth Gel[®] submetidos aos ciclos de U/S em relação ao solo original (sem dose e nenhum ciclo) têm importância, pois se demonstra com esses achados problemas consequentes do uso de hidrogéis no campo e ensejam outros experimentos (GRÁFICOS 5 e 6). Para tanto pode-se explicar esses resultados conforme os itens a seguir:

a) Forma de aplicação do hidrogel ao solo: nesse trabalho o polímero foi aplicado “seco” e, provavelmente, não exerceu sua total capacidade de reter água corroborando resultados de Shainberg *et al.* (2011). Os autores citados explicam que a menor capacidade de retenção de água de polímeros aplicados secos está relacionada ao aumento da fricção de partículas de solo nas próprias cadeias poliméricas ainda desidratadas;

b) Impedimento físico à hidratação do polímero: devido ao modo de aplicação pode ter ocorrido restrição física à expansão do Forth Gel[®] (FONTENO; BILDERBACK, 1993). Outros estudos mostram que a capacidade de absorção de água dos polímeros superabsorventes foi reduzida em comparação com as condições de expansão livre devido a restrições de confinamento no produto na matriz do solo (ABEDI-KOUPAI; SOHRAB; SWARBRICK, 2008; BHARDWAJ *et al.*, 2007; KAZANSKII; DUBROVSKII, 1992; YU *et al.*, 2011);

c) Influência da textura do solo: a eficiência dos polímeros pode estar relacionada com a textura do solo, em especial com o teor de argila. Neste estudo, a camada de solo usada tem aproximadamente 28% de argila; logo, este teor pode ter interferido na eficiência do Forth Gel[®], ocorrendo, supostamente, a interação irreversível entre o produto e argila. Resultados que comprovaram a ocorrência deste tipo de interação foram apresentados por Abedi-Koupai; Sohrab; Swarbrick (2008), Hüttermann; Zommodi; Reise (1999). A capacidade de retenção de água dos hidrogéis depende tanto do tipo de partículas quanto da textura do solo e salinidade do solo (OKSIŃSKA *et al.*, 2019).

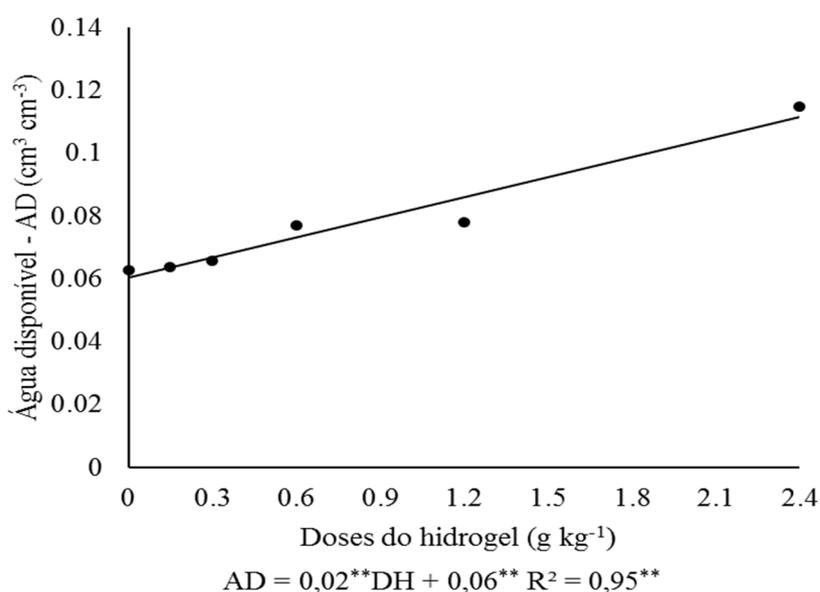
d) Baixa eficiência de retenção de água pelo hidrogel, fato observado no estudo de Rabat; Hashim; Majid (2016). Os autores explicaram que a perda de água dos hidrogéis foi menor que a perda da água livre do solo no controle devido ao impedimento da rede macromolecular e à interação entre a água e as moléculas poliméricas. Contudo, na medida em que o teor de água no solo circundante diminui, a água absorvida pelo hidrogel foi lentamente liberada por difusão. Com repetidos ciclos de secagem essa possibilidade deve ser cogitada no presente estudo, já que a temperatura interna na casa de vegetação foi maior que 45 °C; e

e) Explicação química: o Forth Gel[®] pode ter sofrido a influência dos sais mediante condutividade elétrica (CE) acima de 2 dS m⁻¹ (TABELA 4), sobretudo aqueles com íons

polivalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) presentes na solução do solo. Por isso houve perda de eficiência na absorção de água, conforme explicado por Bhardwaj *et al.* (2007); Coelho *et al.* (2008); Johnson (1984); Taylor; Halfacre (1986); Yu *et al.* (2011, 2012). Devido ao maior teor de sais na solução do solo houve diminuição da eficiência de intumescimento máximo do polímero e, com o incremento na densidade de carga resultante das doses do polímero, houve maior atuação das propriedades coesivas das cadeias poliméricas e partículas finas de solo (KNUDSON; NOID; SUMPTER, 1992). A troca de cátions entre solução do solo e moléculas poliméricas provoca o rearranjo do polímero no solo, com diminuição do efeito de retenção de água devido à presença dos sais em solução que contém os íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e NH_4^+ , com ênfase à presença de cátions divalentes e trivalentes (EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011; LEJCUŚ; ŚPITALNIAK; DĄBROWSKA, 2018; ORZESZYNA *et al.*, 2010; ZHANG *et al.*, 2014).

Com relação a água disponível (AD) para as plantas pode-se afirmar que somente houve efeito significativo para as doses do Forth Gel[®] (TABELA 7). Apesar das curvas de retenção mostrarem maior umidade para o solo original do que para o solo com aplicação dos tratamentos (doses e ciclos), a água total disponível para as plantas cresceu com o aumento das doses do Forth Gel[®] (GRÁFICO 7), sendo que a dose 2,4 g de Forth Gel[®] kg^{-1} de solo quase compensou a umidade menor em virtude da perda de argila durante os ciclos de umedecimento e secagem (GRÁFICO 5 A,B).

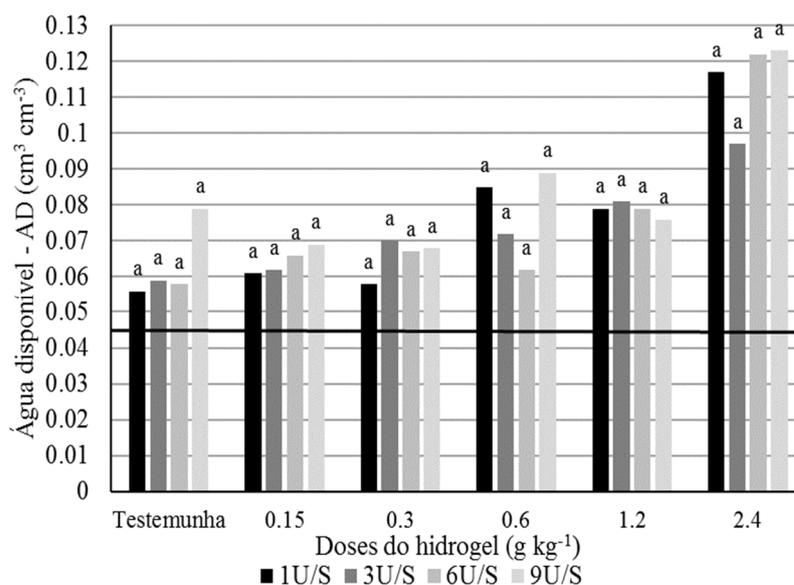
Gráfico 7 – Regressão da água disponível (AD) em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ em resposta às doses de hidrogel (Forth Gel[®])



Como já foi mencionado anteriormente, não houve diferença estatística ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey para a água disponível (AD) entre os ciclos de U/S dentro de uma mesma dose de polímero, mas foi possível visualizar o aumento na AD com o incremento das doses de Forth Gel[®] (GRÁFICO 8), ficando acima da AD do solo original (linha preta – $0,045 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

Penso que a manutenção da capacidade de campo desse Argissolo misturado as doses de hidrogel não deve ficar na tensão 33 kPa, a minha expectativa é de que a capacidade de campo ocorra em tensão bem mais baixa. Com isso, uma propriedade emergente pode ser acrescida neste caso, pois este solo pode apresentar riscos de causar déficit de oxigênio às plantas, e ao mesmo tempo aumentaria a quantidade de água disponível para as mesmas.

Gráfico 8 – Médias de água disponível (AD) em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ para doses de Forth Gel[®] (g kg^{-1}) dentro dos quatro ciclos umedecimento e secagem (U/S) comparando com a média de AD do solo original ($0,045 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)



Montesanto *et al.* (2015) e Abedi-Koupai; Sohrab; Swarbrick (2008) estudaram a capacidade de retenção de polímeros no solo e também verificaram aumento na AD. Leciejewski (2009) mostrou que o efeito do hidrogel na água disponível para as plantas foi maior na faixa de tensão entre 0 e 10 kPa do que na de 10 a 1500 kPa, principalmente nas doses de 2 e 4 g dm^{-3} , considerando esta faixa de água disponível. Essa mesma dose aumentou a retenção de água facilmente disponível, enquanto a retenção de água dificilmente disponível (-100 kPa a -1500 kPa) diminuiu ligeiramente (PALUSZEK; ŻEMBROWSKI, 2006b).

A água disponível às plantas (entre 10 e 100 kPa) para todos os tipos de solo não tratados com polímero foi menor em comparação às amostras tratadas (NARJARY *et al.*, 2012).

Pesquisadores constataram que a retenção de água no solo, entre 10 e 1500 kPa (correspondente a AD para as plantas), aumentou linearmente com os níveis de polímeros de poliácrlato de sódio incorporados (VARENNE *et al.*, 1997). Trabalhando com solo arenoso, Fonteno; Bilderback (1993) constataram que pelo menos 95% da água retida na PAM estava disponível para as plantas.

O aumento da AD em resposta às doses de polímero foi explicado pelo fato de que a quantidade de grupos funcionais hidrofílicos é diretamente proporcional à dose de hidrogel aplicada. Logo, a maior capacidade de reter água do Forth Gel[®] foi atribuída a sua estrutura química contendo os grupos funcionais -NH₂ (acrilamida), -COOK (acrilato) e -NH₂/COOK (acrilamida e acrilato), pois estes grupos produziram mais pontes de hidrogênio com água (ABEDI-KOUPAI; SOHRAB; SWARBRICK, 2008; MARANDI *et al.* 2008).

4.2 Liberação de nitrogênio e potássio da constituição do hidrogel e sua relação com o crescimento inicial de mudas de Ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos

4.2.1 Atributos químicos do solo ao final do experimento

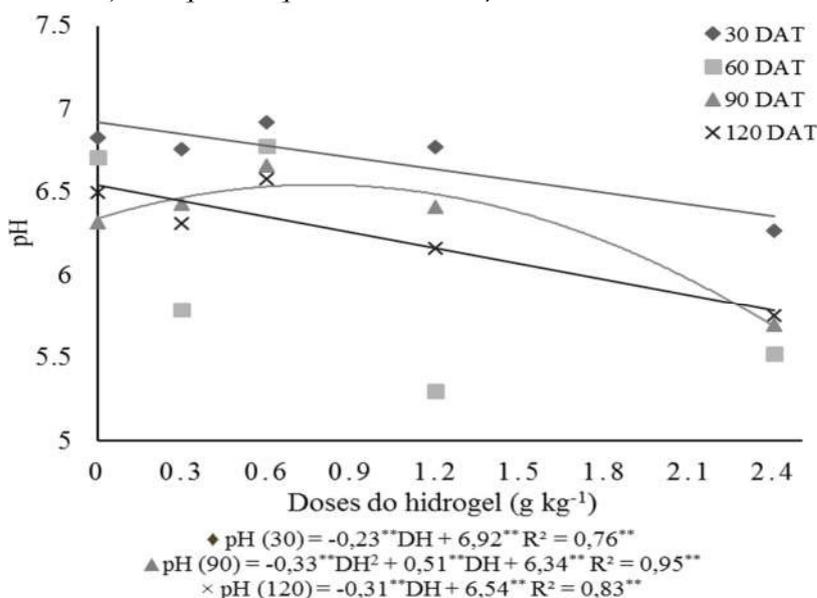
Esta parte do estudo foi desenvolvida para investigar se os hidrogéis favorecem o desenvolvimento vegetal por aumentarem a fertilidade do solo, seja pela liberação de nutrientes da própria constituição do hidrogel de acrilamida e acrilato de potássio ou pela sua contribuição no aumento da CTC do solo. O uso do hidrogel (Forth Gel[®]) foi avaliado quanto aos seus impactos na fertilidade do Argissolo. A avaliação foi feita principalmente quanto aos teores nitrogênio (N) e potássio (K), além de outros atributos indicativos da fertilidade do solo e, por consequência, sua contribuição no crescimento e nutrição de mudas de ipê roxo ao longo do tempo. No resumo da ANOVA se constada que somente o pH e os teores de cálcio (Ca) apresentaram efeitos significativos para a interação entre os fatores de tratamento (doses de hidrogel – DH e épocas de avaliação – E), o nitrogênio (N), fósforo (P) e sódio (Na) foram significativos para as doses e épocas. Já o potássio (K) foi significativo somente para as doses e o magnésio (Mg) não foi significativo (TABELA 8).

O pH diminuiu com as doses do Forth Gel[®] nas quatro épocas de avaliação, mas não houve efeito significativo aos 60 dias após transplântio (DAT), sendo que as médias mais baixas de pH foram observadas nesse tratamento. Aos 30 e 120 DAT a diminuição do pH foi linear com o incremento das doses, já para 90 DAT ocorreu diminuição do pH de 6,3 (controle) para 5,7 na maior dose do Forth Gel[®] (GRÁFICO 9).

Tabela 8 – Resumo da análise de variância (ANOVA) para os atributos químicos do Argissolo

Fontes de variação	G.L.	Valores de F								
		pH	CE ^t	N	P ^t	K	Ca ^{2+t}	Mg ^{2+t}	Na ⁺	CTC
Doses de hidrogel (DH)	4	39,2**	19,4**	5,5**	5,1**	15,4**	3,7**	2,0 ^{ns}	2,9*	4,6**
Épocas de avaliação (E)	3	30,1**	1,6 ^{ns}	3,9*	4,5**	1,6 ^{ns}	10,7**	0,9 ^{ns}	5,1**	0,7 ^{ns}
DH*E	12	5,9**	0,7 ^{ns}	1,7 ^{ns}	0,4 ^{ns}	1,6 ^{ns}	4,9**	1,8 ^{ns}	0,9 ^{ns}	0,6 ^{ns}
Total	79	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (%)	-	3,69	7,80	6,89	19,59	14,19	6,39	2,52	9,39	25,6

** , * e ns: Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente; C.V.: Coeficiente de variação. ^tVariável transformada: $\sqrt{(x+0,5)}$

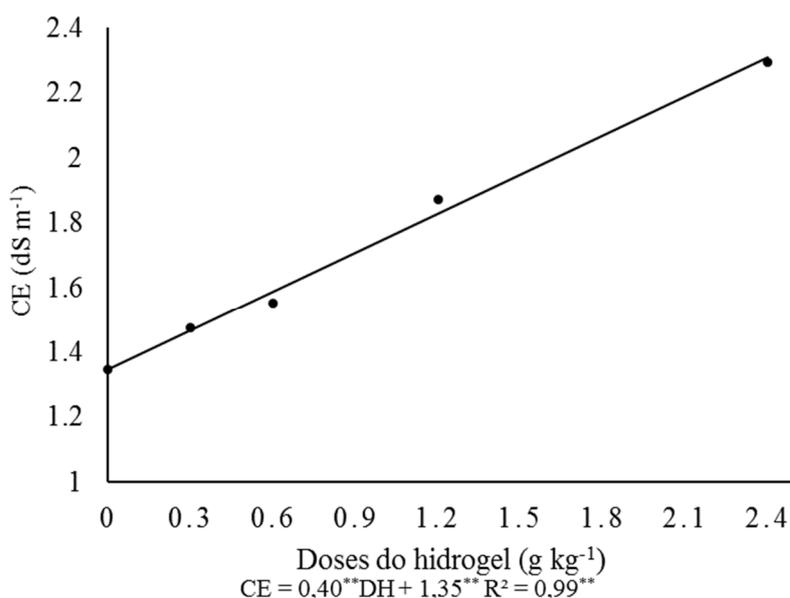
Gráfico 9 – Médias de pH do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel (g Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo) nas quatro épocas de avaliação

A acidificação do solo mediante aplicação de polímeros foi observada em outros estudos, como o de Smith; Prues; Oehme (1997). Segundo os autores citados, sob condições ambientais artificiais de temperatura e luz, a poliacrilamida (PAM) não se degradou em acrilamida (AMD), mas pode haver hidrólise da AMD dos radicais laterais da PAM pode ter a transformado em amônio e acrilato. Por sua vez, o aumento nas concentrações de amônio e diminuição nas de AMD promoveram reações de acidificação do meio (SMITH; PRUES; OEHME, 1997).

A condutividade elétrica (CE) do solo foi significativa para as doses de hidrogel. Com o incremento nas doses do Forth Gel[®] houve aumento linear na concentração de sais,

atingindo valor máximo de $2,29 \text{ dS m}^{-1}$ na dose de $2,4 \text{ g kg}^{-1}$ (GRÁFICO 10). Segundo Zhang *et al.* (2014) e Smith; Prues; Oehme (1996, 1997), a ocorrência do aumento foi devido a liberação para a solução do solo do íon K^+ presentes no hidrogel com a troca de cátions do solo.

Gráfico 10 – Regressão das médias de condutividade elétrica (CE) de um Argissolo Vermelho Amarelo em degradação submetido a doses de hidrogel (Forth Gel[®])



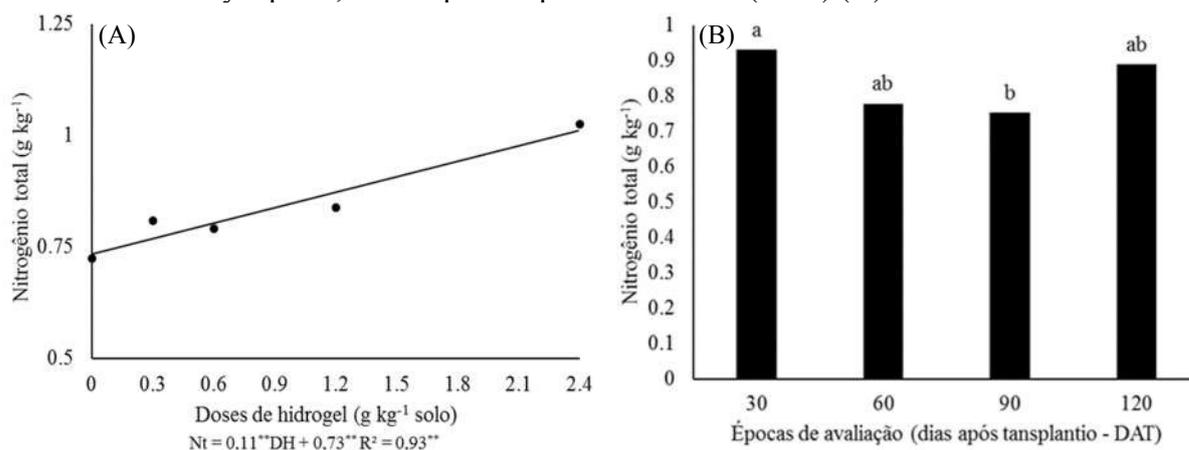
O nitrogênio total (Nt) do solo aumentou linearmente com as doses do Forth Gel[®], com média de $1,02 \text{ g N kg}^{-1}$ de solo obtida com a dose de $2,4 \text{ g kg}^{-1}$ que foi 30% maior em relação à média do controle (GRÁFICO 11 A). Com a degradação física e biológica do Forth Gel[®], o nitrogênio (N) presente no polímero seria convertido em íon amônio (NH_4^+) e acrilato, que depois poderiam ser absorvidos pelas plantas e/ou adsorvidos partículas de solo (HAVEROENA; MACKINNON; FEDORAK, 2005; HOLLIMAN *et al.*, 2005; KAY-SHOEMAKE *et al.*, 1998 a,b; LANDE; BOSCH; HOWARD, 1979; SHANKER; RAMAKRISHNA; SETH, 1990; SMITH; PRUES; OEHME, 1996, 1997).

Foi encontrada diferença significativa pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ para o nitrogênio total nas épocas avaliadas. A maior média de Nt ($0,93 \text{ g kg}^{-1}$) foi obtida após 30 dias do transplante e não diferiu estatisticamente das médias obtidas aos 60 e 120 dias de avaliação. A redução nas médias de Nt no solo aos 90 dias pode ter sido pela absorção pelas mudas de ipê roxo e/ou pela perda por volatilização (GRÁFICO 11 B).

As médias de Nt iguais estatisticamente aos 30 e 120 dias podem ser explicadas pelo N advindo da acrilamida (residual ou da cadeia polimérica, liberado somente após 90 dias, e posteriormente, quantificado aos 120 dias). Esta liberação é possível, já que a relação C/N do

Forth Gel[®] foi 2,6 (TABELA 6), podendo acontecer intensa mineralização e rápida disponibilidade do N para a solução do solo, em especial em condições áridas (SMAGIN; SADOVNIKOVA; SMAGINA, 2014; ZHANG *et al.*, 2014).

Gráfico 11 – Regressão das médias de nitrogênio total (Nt) do Argissolo Vermelho Amarelo em degradação submetido a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) (A) e médias de nitrogênio total (Nt) pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ nas quatro épocas avaliadas (DAT) (B)



Comportamento semelhante ao Nt foi obtido para o fósforo (P) disponível no solo, mas para as médias de P o modelo quadrático foi o mais adequado. O maior teor de P (20,83 mg P kg⁻¹) foi obtido com a dose 2,4 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ (GRÁFICO 12 A). O teor 19,47 mg de P kg⁻¹, obtido aos 30 DAT não diferiu estatisticamente da média observada aos 120 dias (19,01 mg de P kg⁻¹) (GRÁFICO 12 B). Isso ocorreu porque houve redução do pH ao longo dos tempos de avaliação e com o aumento das doses aplicadas de polímero, principalmente aos 120 DAT quando se obteve as menores médias de pH (GRÁFICO 9).

Como o polímero não contém P, certamente a condição estável de umidade acompanhada da redução do pH após aplicação do Forth Gel[®] promoveu a solubilização do superfosfato triplo aplicado por ocasião da adubação realizada 45 dias antes do transplante. Autores mostraram que o P₂O₅ disponível nos superfosfatos triplos foi solubilizado entre 37% a 63% na presença de água e com o pH do solo variando entre 5,4 e 6,4 (MULLINS; SIKORA, 1995), sendo esta faixa de pH semelhante a obtida neste trabalho (GRÁFICO 9).

Os teores de potássio (K) no solo apresentaram efeito quadrático na regressão, sendo que a maior média (4,69 cmol_c K kg⁻¹ de solo) foi observada na dose 2,4 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo. A aplicação dessa dose aumentou, aproximadamente, 40% do K no solo em relação aos tratamentos sem hidrogel (GRÁFICO 13).

Gráfico 12 – Regressão das médias de fósforo disponível (P) do Argissolo Vermelho Amarelo em degradação submetido a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) (A) e médias de fósforo disponível (P) pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ nas quatro épocas avaliadas (DAT) (B)

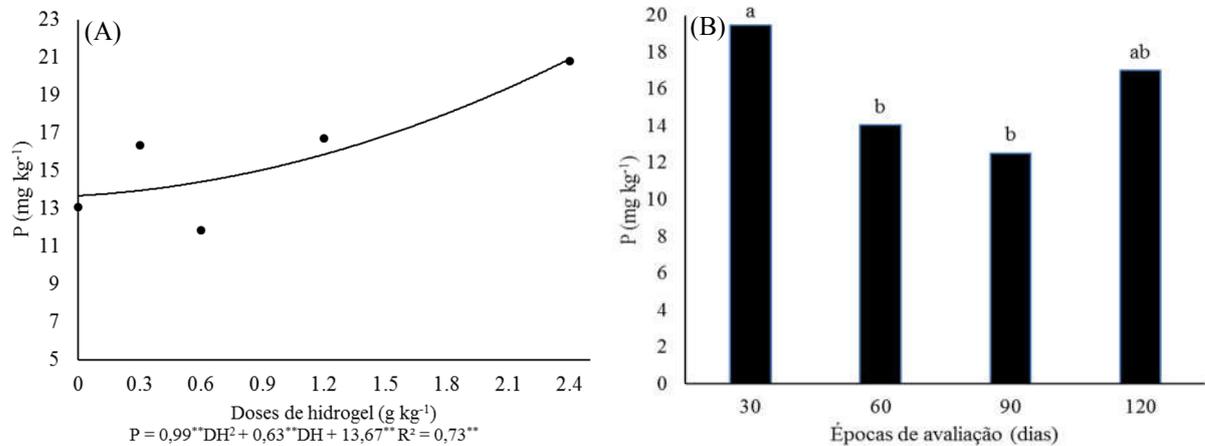
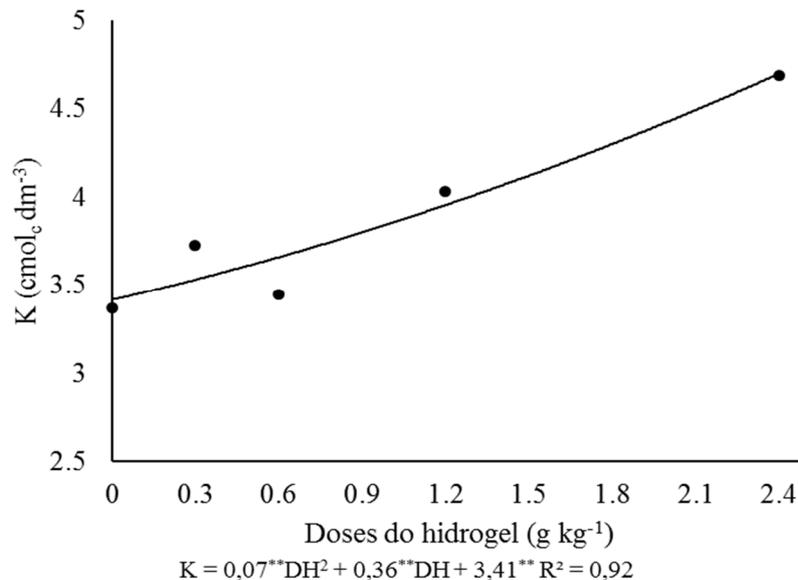
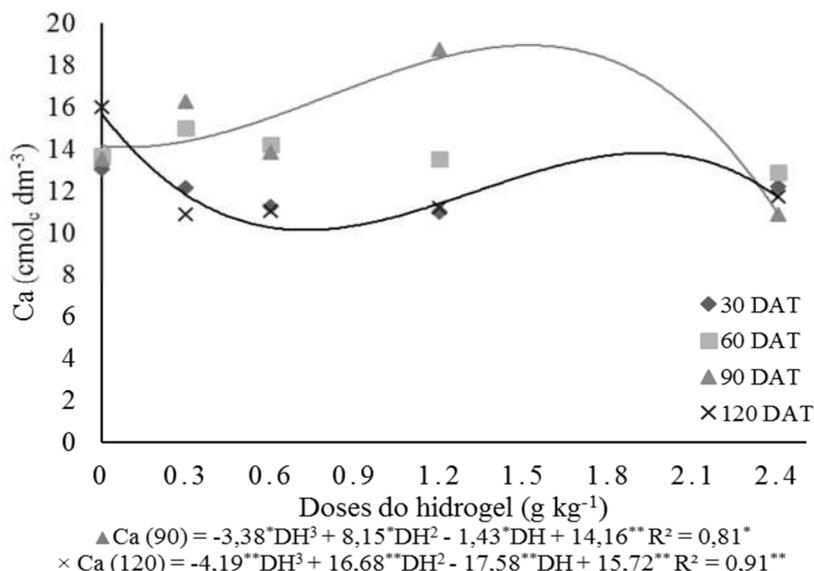


Gráfico 13 – Regressão das médias de potássio (K) do Argissolo Vermelho Amarelo em degradação submetido a doses de hidrogel (Forth Gel[®])



Já para o teor de cálcio (Ca) aos 90 e 120 DAT não houve diferença expressiva entre tratamentos ao analisar as maiores doses em relação ao controle (sem hidrogel) (GRÁFICO 14). Embora não tenha sido detectada mudança nos teores de Ca^{2+} no solo ao longo do tempo e com o incremento das doses de Forth Gel[®], estes continuaram altos por causa da calagem feita 45 dias antes da instalação do experimento. Bowman; Evans; Paul (1990) observaram que existe troca reversível entre os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} da solução do solo com o K presente no acrilato, bem como a troca entre o cátion monovalente K^+ com o Ca adsorvido pelas moléculas poliméricas, já que há competição entre K^+ e Ca^{2+} pelos sítios de adsorção do hidrogel.

Gráfico 14 – Regressão das médias de cálcio (Ca) do Argissolo Vermelho Amarelo em degradação submetido a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) nas quatro épocas de avaliação

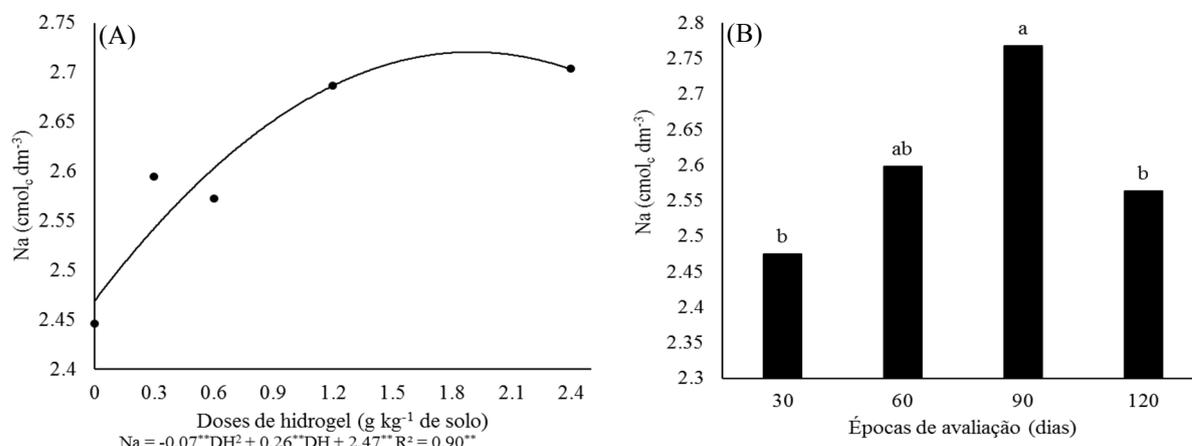


O fato dos teores de Ca serem mais altos aos 90 DAT do que aos 120 DAT pode ser explicado pelo fato de que, neste intervalo de 30 dias entre as épocas de avaliação, tenha havido trocas do K^+ ligado ao hidrogel pelo Ca^{2+} solubilizado do calcário ou já existente no próprio solo, pois quanto a maior dose de Forth Gel[®] aplicada haverá mais sítios de adsorção com cargas negativas (externas ao hidrogel ou mais internas – nos monômeros acrilato); portanto, maior foi o potencial do hidrogel reter este Ca^{2+} solto na solução do solo e liberar o K^+ (ZHANG *et al.*, 2014), como visto na Gráfico 13.

Para os teores de sódio (Na) o efeito quadrático apresentou melhor ajuste na regressão, com a maior média (2,71 cmol_c de K kg⁻¹ solo) foi observada na dose 1,85 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo; a aplicação dessa dose aumentou, aproximadamente, 10,8% de sódio em relação aos tratamentos sem hidrogel (GRÁFICO 15 A). No teste de Tukey ($p < 0,05$) o maior teor de Na^+ , aproximadamente 2,77 cmol_c de Na^+ dm⁻³ de solo, foi obtido aos 90 DAT e não diferiu estatisticamente da média observada aos 60 dias (2,59 cmol_c de Na^+ dm⁻³) que, por sua vez, não diferiu das outras épocas de avaliação (GRÁFICO 15 B).

Sabendo que o hidrogel usado no presente estudo não contém sódio em sua constituição, supõe-se que este elemento tenha sido proveniente dos minerais de Plagioclásio (Albita) presentes neste Argissolo segundo Mota; Oliveira; Gebhardt (2002). Nesse caso, a condição de umidade próxima a capacidade de campo permitiu maior intemperismo químico desse tipo de mineral a médio ou longo prazo, o que também pode justificar o alto teor de sódio aos 90 DAT (GRÁFICO 15 A,B).

Gráfico 15 – Regressão das médias de sódio (Na) do Argissolo Vermelho Amarelo em degradação submetido a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) (A) e médias de sódio (Na) pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ nas quatro épocas avaliadas (DAT) (B)

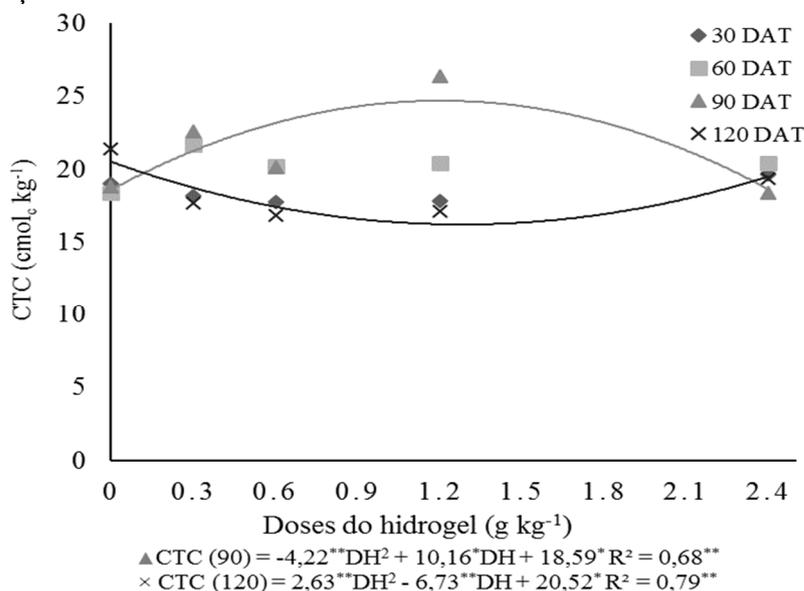


Os ajustes encontrados para a CTC foram quadráticos aos 90 e 120 DAT (GRÁFICO 16), sendo que estas médias estão relacionadas, principalmente, com o teor de Ca do solo (GRÁFICO 14), pois este elemento representou a maior parte da CTC calculada no Argissolo estudado. Não houve diferenças entre as médias observadas no tratamento controle e as encontradas com a dose 2,4 g de Forth Gel[®] kg⁻¹. A troca de K⁺ do acrilato pelo Ca²⁺ da solução pode ter equilibrado a CTC na presença e ausência do produto. Aos 120 DAT a perda do efeito de troca de cátions se deu por causa da ocupação dos sítios de adsorção pelo Ca²⁺ da solução, pois uma vez estes sítios sejam ocupados por cátions polivalentes, torna-se muito difícil, em condições naturais, que o processo de troca desses cátions seja revertido.

Estudando o efeito de hidrogéis naturais e da poliacrilamida sobre algumas propriedades química do solo, Henriquez *et al.* (2003) constataram que não houve alteração nos valores de CE e CTC e nem do Ca e Mg em relação ao controle. A não alteração do Ca e Mg foi atribuída a funcionalidade dos hidrogéis em reter esses elementos quando disponíveis na solução do solo. Mesmo assim, os hidrogéis polianionicos (como é o caso do Forth Gel[®]) podem potencializar a capacidade de troca de cátions do solo, devido as trocas do K⁺ e do Ca²⁺ ocorridas entre solução do solo e moléculas do polímero (BOWMAN; EVANS; PAUL, 1990).

Não houve possibilidade, durante a execução das análises em laboratório, de separar o hidrogel do solo analisado. Contudo, em pesquisas futuras, convém caracterizar o hidrogel, e assim medir CTC do produto e chegar a conclusões mais concretas e definitivas.

Gráfico 16 – Regressão das médias da capacidade de troca de cátions (CTC) do Argissolo Vermelho Amarelo em degradação submetido a doses de hidrogel (Forth Gel®) nas quatro épocas de avaliação



4.2.2 Crescimento inicial e nutrição de mudas ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos submetidas aos tratamentos com hidrogel

Como não há trabalhos retratando o uso de hidrogel com os acúmulos de nutrientes em mudas de qualquer espécie de ipê, neste trabalho os resultados foram discutidos com base nos trabalhos de adubação de substratos para a produção de mudas dessa espécie.

O resumo da ANOVA com os valores de F para o acúmulo de macronutrientes nas mudas de ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos foi apresentado na Tabela 9. Todos os acúmulos de nutrientes estudados (N, P, K, Ca e Mg) tiveram efeitos significativos para a interação a $p < 0,01$ (TABELA 9).

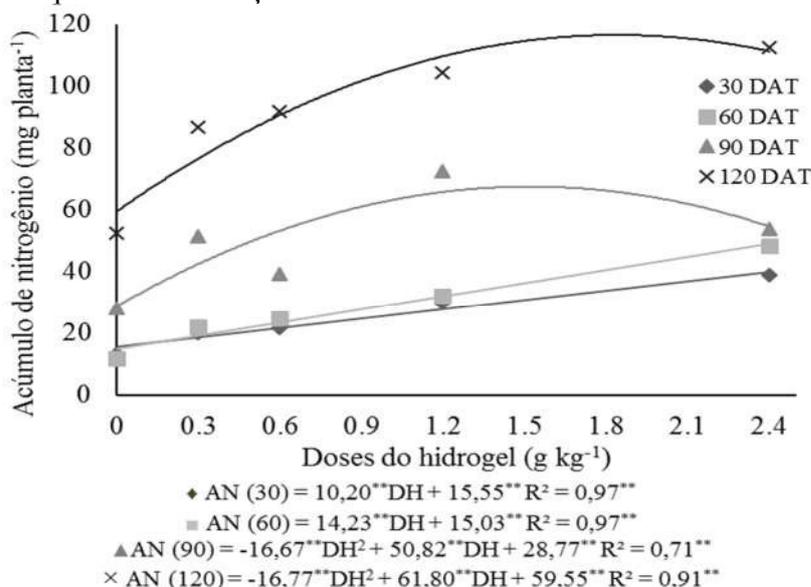
Tabela 9 – Resumo da ANOVA com valores de F para os acúmulos totais de macronutrientes no ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos

Fontes de variação	G.L.	Valor de F				
		AN	AP	AK	ACa	AMg
Doses de hidrogel (DH)	4	43,1**	64,6**	1,1**	17,9**	22,8**
Épocas de avaliação (E)	3	223,4**	226,0**	101,4**	141,3**	172,0**
DH*E	12	38,8**	17,6**	2,8**	5,9**	8,2**
Total	79	-	-	-	-	-
C.V (%)	-	18,69	17,21	25,20	29,9	24,9

** , * e ns: Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente; C.V.: Coeficiente de variação.

O acúmulo de nitrogênio (AN) nas mudas de ipê roxo cresceu ao longo do tempo e com o incremento das doses de Forth Gel[®] no substrato (GRÁFICO 17). Houve aumento linear aos 30 e 60 DAT e quadrático aos 90 e 120 DAT, sendo que os valores máximos de acúmulo aos 90 e 120 DAT foram 67,5 mg de N com a dose de 1,52 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo e 117,6 mg de N na dose de 1,84 g kg⁻¹, respectivamente (GRÁFICO 17). Portanto, as mudas de ipê roxo foram eficientes na absorção de nitrogênio do solo que, por sua vez, também cresceu com aumento das doses de Forth Gel[®] (GRÁFICO 11), com efeitos positivos posteriormente confirmados pelo aumento da massa seca total – MST (GRÁFICO 22) e da eficiência de utilização biológica de nitrogênio – EUBn (GRÁFICO 23).

Gráfico 17 – Regressão do acúmulo de nitrogênio (AN) na parte aérea do ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) para quatro épocas de avaliação

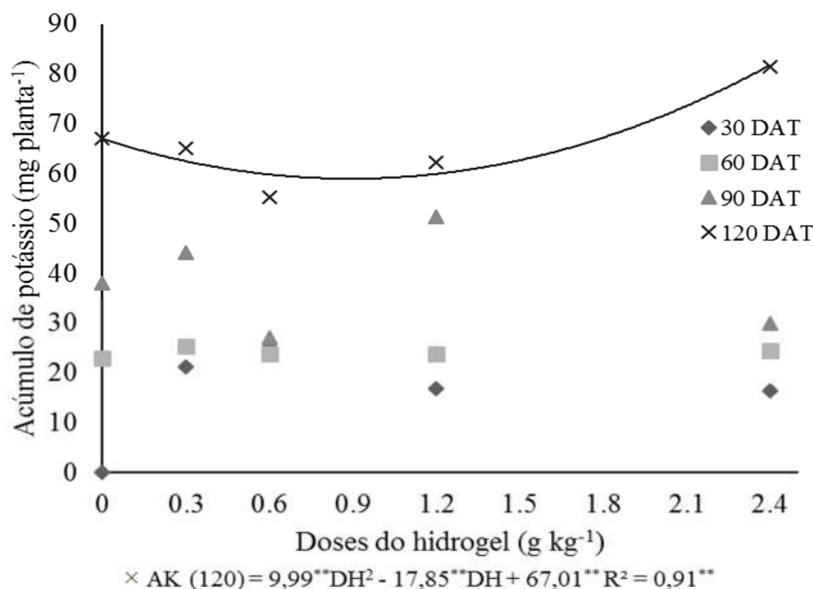


É importante explicar um dos papéis funcionais do nitrogênio na nutrição da planta, o acúmulo desse elemento na planta pode favorecer a assimilação do CO₂ atmosférico (CHAPMAN; BARRETO, 1997). Logo, a fertilização nitrogenada supostamente promovida pelo Forth Gel[®] também pode ter aumentado a eficiência fotossintética, que levou ao crescimento das mudas.

Embora tenha havido diferenças estatísticas entre as épocas avaliadas para acúmulo de potássio (AK) nas mudas de ipê, com as médias de acúmulos maiores aos 90 e 120 DAT do que aos 30 e 60 DAT, não houve constatação de aumento do AK nas mudas com o incremento das doses de Forth Gel[®], sendo que os maiores valores foram observados aos 120 DAT, sendo o AK_{máx} de 81,43 mg planta⁻¹ obtido com a dose 2,4 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ (GRÁFICO 18). Pode

ter havido uma inibição competitiva do K^+ com Ca^{2+} e Mg^{2+} , diminuindo sua absorção (MALAVOLTA, 2006; MALAVOLTA *et al.*, 1989), já que o Ca e Mg foram aplicados por ocasião da calagem (45 dias antes do transplantio das mudas de ipê).

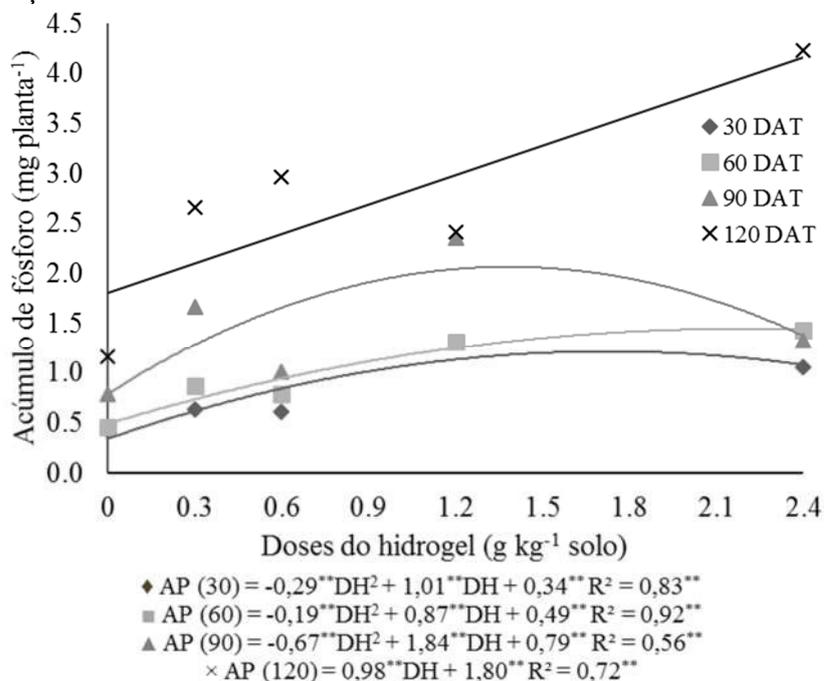
Gráfico 18 – Regressão do acúmulo de potássio (AK) nas mudas de ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) para quatro épocas de avaliação



O acúmulo de fósforo (AP) nas mudas de ipê se deu em todas as épocas de avaliação, com crescimento quadrático aos 30, 60 e 90 DAT e linear aos 120 DAT. Os AP_{máx} foram, aproximadamente, 1,22; 1,44 e 2,05 mg planta⁻¹ em resposta às doses de hidrogel (em g kg⁻¹) 1,74 aos 30 DAT; 2,19 aos 60 DAT e 1,38 aos 90 DAT, respectivamente; aos 120 DAT o maior AP foi de 4,23 mg planta⁻¹ na dose de 2,4 g kg⁻¹ (GRÁFICO 19).

Houve diferença estatística entre épocas de avaliação para o AP, principalmente quando se comparou as médias aos 120 DAT com as de 30, 60 e 90 DAT (GRÁFICO 19). Esta diferença está associada ao teor de P disponível no solo aos 120 DAT (GRÁFICO 12) decorrente da solubilização do adubo fosfatado (aplicado 45 dias antes do início do experimento) e a possível dessorção dos ânions de fosfato adsorvidos aos colóides do solo, já que as amostras aos 120 dias avaliação se encontravam a uma faixa de pH entre 6 e 6,5 e umidade controlada do solo (próxima a capacidade de campo). As menores médias de AP aos 60 e 90 DAT foram associadas a menor disponibilidade do P no solo para essas épocas (GRÁFICO 12).

Gráfico 19 – Regressão do acúmulo de fósforo (AP) nas mudas de ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) para quatro épocas de avaliação



O acúmulo de cálcio (ACa) nas mudas de ipê seguiu comportamento quadrático para as épocas 90 e 120 DAT e não apresentou ajustes matemáticos para os outros períodos avaliados. Os acúmulos máximos de cálcio ($ACa_{máx}$) aos 90 e 120 DAT foram, respectivamente, 245,95 mg de Ca na dose de 1,22 g kg⁻¹ e 469,35 mg de Ca com a dose 1,98 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo (GRÁFICO 20). Quando se comparou a testemunha (sem hidrogel) com a maior dose de Forth Gel[®] aplicada aos 90 e 120 DAT, não houve variação significativa nos teores de Ca no solo (GRÁFICO 14). No entanto, a presença do hidrogel pode ter controlado a liberação gradativa do cálcio para as mudas de ipê. Já foi constatado por Bowman; Evans; Paul (1990) que o íon Ca²⁺ da solução do solo pode ser adsorvido pelas moléculas do acrilato em substituição ao potássio de sua constituição.

O acúmulo de magnésio (AMg) nas mudas de ipê apresentou comportamento linear positivo aos 30 DAT e quadrático aos 60, 90 e 120 DAT. Os acúmulos máximos de magnésio ($AMg_{máx}$) aconteceram nas doses (g kg⁻¹) 1,64 (60 DAT); 1,20 (90 DAT) e 2,04 (120 DAT) com valores de, aproximadamente, 23,16; 42,61 e 88,24 mg planta⁻¹, respectivamente (GRÁFICO 21). As médias no teor de Mg no solo não resultaram em diferenças estatísticas nem para as doses de Forth Gel[®] e nem para as épocas de avaliação (TABELA 8), mas o acúmulo desse nutriente nas mudas de ipê pode estar associado a maior solubilização do calcário, já que o solo reúne condições de pH (entre 6 e 6,5) e umidade ideais para solubilização.

Gráfico 20 – Regressão do acúmulo de cálcio (ACa) nas mudas de ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) para quatro épocas de avaliação

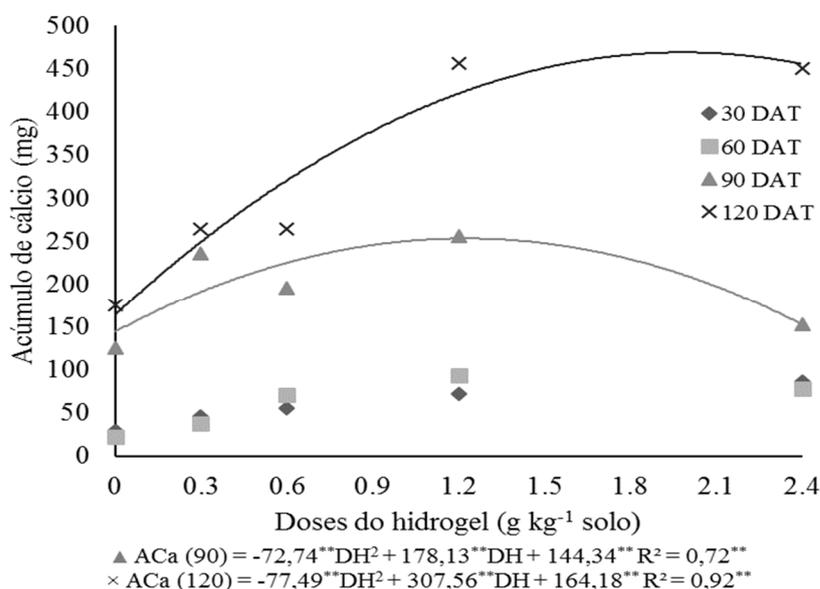
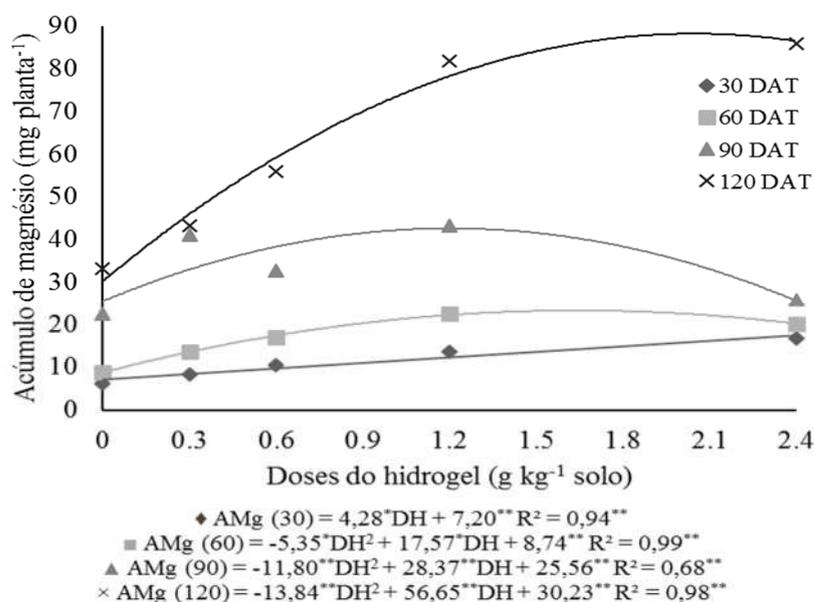


Gráfico 21 – Regressão do acúmulo de magnésio (AMg) nas mudas de ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) para quatro épocas de avaliação



Além da contribuição do hidrogel na fertilidade do solo e no acúmulo de nutrientes nas mudas de ipê roxo, calculou-se parâmetros de crescimento e qualidade das mudas. No resumo da ANOVA, tanto os índices de eficiência de utilização biológica de nitrogênio (EUBn) e de qualidade de Dickson (IQD), quanto a massa seca total (MST), a relação entre massa seca

da parte aérea e das raízes (MSPA/MSR) e os incrementos médios de altura (IMA) e de comprimento de raízes (IMCR) tiveram efeitos significativos para interação a $p < 0,01$. Já as relações altura e diâmetro do colo (H/DC) e altura e massa seca da parte aérea (H/MSPA) foram significativas a 1% de probabilidade apenas para as épocas (TABELA 10).

Tabela 10 – Resumo da ANOVA para os índices e relações de crescimento do Ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos

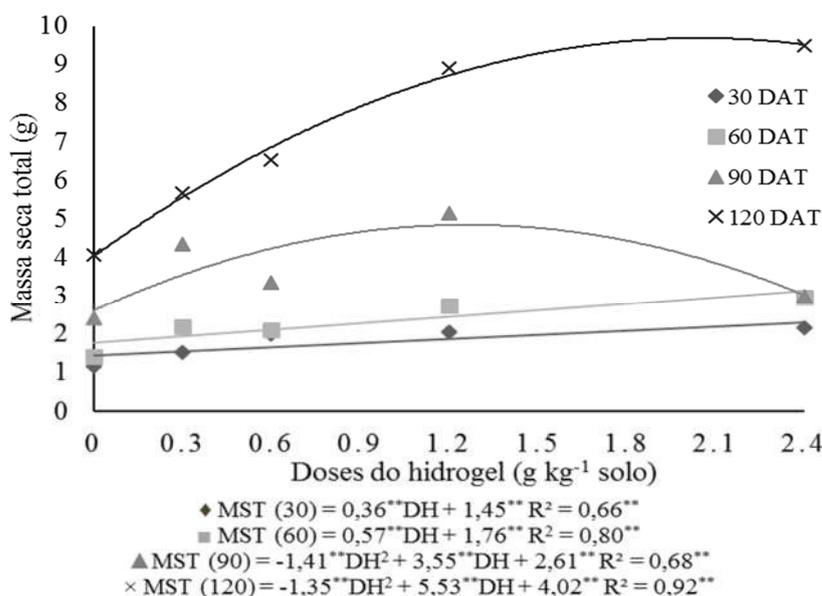
Fontes de variação	G.L ¹	Valor de F							
		EUBn ³	IQD ³	H/DC ³	H/MSPA ³	MSPA/MSR ³	MST ³	IMA ³	IMCR ³
Doses de hidrogel (DH)	4	36,2**	9,7**	1,4 ^{ns}	1,3 ^{ns}	4,8**	54,3**	17,8**	21,2**
Época de avaliação (E)	3	332,2**	54,3**	10,9**	5,7**	13,2**	420,2**	1,8**	0,3**
DH*E	12	20,6**	4,9**	1,2 ^{ns}	2,2 ^{ns}	4,8**	16,3**	4,1**	0,7**
Total	79	-	-	-	-	-	-	-	-
C.V ² (%)	-	16,4	27,2	28,9	27,6	26,4	13,8	25,0	32,8

** , * e ^{ns}: Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente; ¹Grau de liberdade; ²C.V.: Coeficiente de variação; ³Índice de eficiência de utilização biológica de nitrogênio (EUBn); índice de qualidade de Dickson (IQD); massa seca total (MST); relação entre massa seca da parte aérea e das raízes (MSPA/MSR); as relações altura e diâmetro do colo (H/DC); altura e massa seca da parte aérea (H/MSPA); incremento médio de altura e incremento médio de comprimento de raízes.

A massa seca total (MST) das mudas de ipê roxo cresceu ao longo do tempo e com o incremento das doses de Forth Gel[®] no substrato, houve aumento linear aos 30 e 60 DAT e quadrático aos 90 e 120 DAT (GRÁFICO 22). A MST atingiu seu máximo de 9,68 g aos 120 DAT com a dose de 2,05 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo. Aos 120 DAT foram atingidas as maiores médias de MST com a mesma dose que se obteve a massa seca máxima (2,05 g kg⁻¹), resultando em acúmulo médio de 115,76 mg de N nas mudas de ipê, valor um pouco menor que o N_{máx} obtido para esta época (GRÁFICO 17).

Nesse trabalho, a dose de 2,05 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo resultou no aporte de aproximadamente 0,31 g de N, Mews *et al.* (2015), com a combinação (para 1 kg de solo) de 1 g de hidrogel e 2 g de adubação nitrogenada propiciou o maior valor médio de MST (7,61 g) das mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos. Portanto, a dose 2,05 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo permitiu alcançar valores médios que ficaram acima do observado por Mews *et al.* (2015) e que foram suficientes para maximizar o crescimento das mudas de ipê, indicando que não houve deficiências nutricionais que comprometessem o desenvolvimento das mudas da espécie. Já Souza; Venturin; Macedo (2006) concluíram que o crescimento da matéria seca da parte aérea e das raízes do ipê roxo foi reduzido pela ausência de N e P, indicando que estes elementos foram mais exigidos por essas mudas.

Gráfico 22 – Regressão das médias da massa seca total (MST) em gramas, de mudas de Ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) para quatro épocas de avaliação



Além da massa seca total, foi calculada a EUBn e os incrementos de altura e de comprimento de raízes das mudas de ipê. As médias de EUBn cresceram de forma quadrática até, aproximadamente, as doses 1,21 e 1,71 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ aos 90 e 120 DAT, respectivamente (GRÁFICO 23). Portanto, até essas doses as mudas de ipê transformaram parte do nitrogênio absorvido para crescimento biomassa.

Houve aumentos significativos da MST (GRÁFICO 22) e da EUBn (GRÁFICO 23) das mudas ipê, principalmente aos 90 e 120 DAT, e esses aumentos foram acompanhados pelo crescimento do AN na planta (GRÁFICO 17). A análise destes dados indicou que o Forth Gel[®] pode servir, pelo menos de forma parcial, para a fertilização nitrogenada de substrato de mudas, pois neste trabalho não se utilizou nenhuma outra fonte de nitrogênio.

O incremento médio de comprimento de raízes (IMCR) apresentou efeito quadrático para regressão das doses, chegando ao IMCR_{máx} de 0,33 cm dia⁻¹ com a dose 2,41 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ (GRÁFICO 24).

Gráfico 23 – Regressão das médias da eficiência de utilização biológica de nitrogênio (EUBn) para as mudas de Ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) para quatro épocas de avaliação

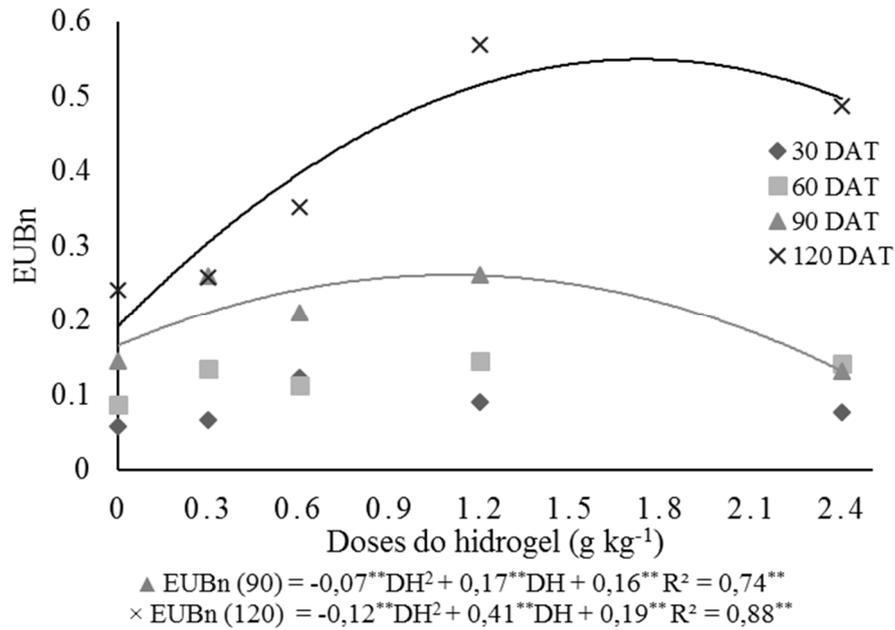
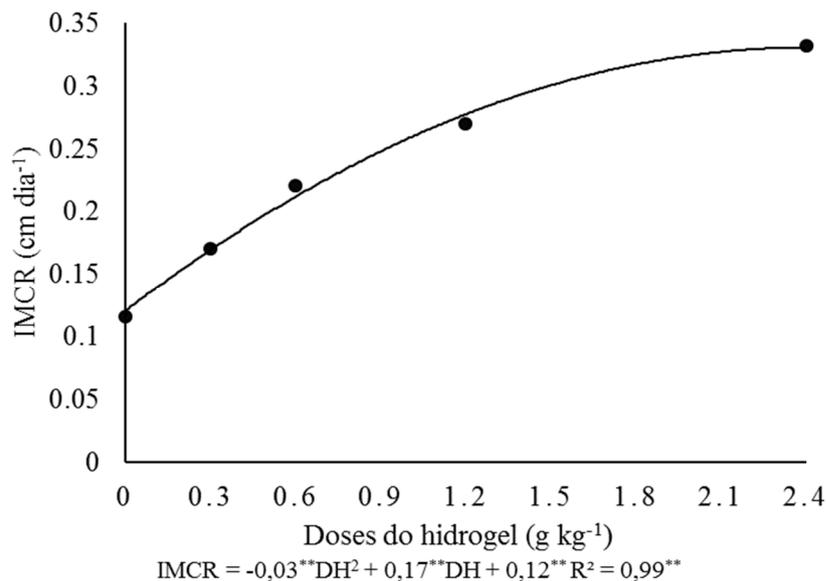
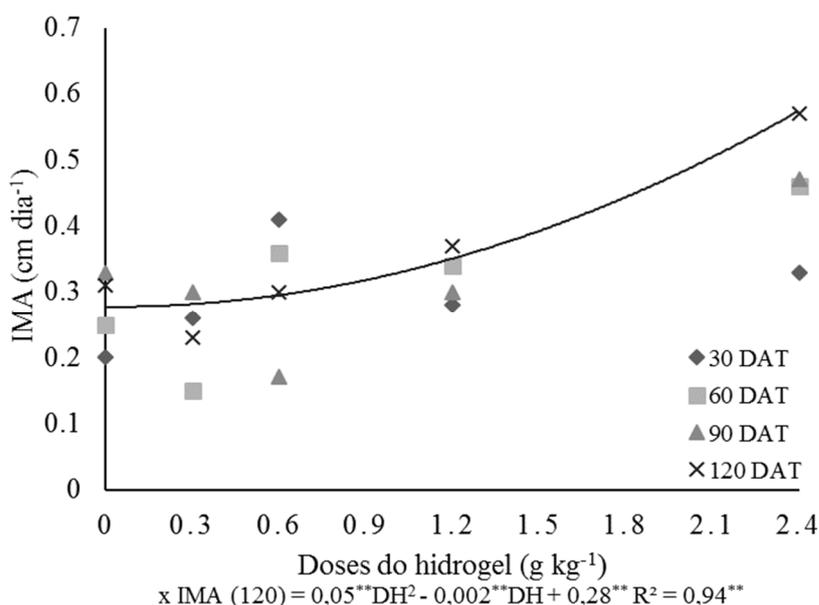


Gráfico 24 – Regressão dos incrementos médios de comprimento de raízes (IMCR) em cm dia⁻¹ das mudas de Ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel[®])



Com relação à altura das plantas, o modelo quadrático representou o melhor ajuste das médias dos incrementos médios de altura (IMA) das mudas de ipê aos 120 DAT, alcançando 68,4 cm na maior dose de Forth Gel[®] testada (GRÁFICO 25).

Gráfico 25 – Regressão dos incrementos médios de altura (IMA) em cm dia^{-1} das mudas de Ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) para quatro épocas de avaliação



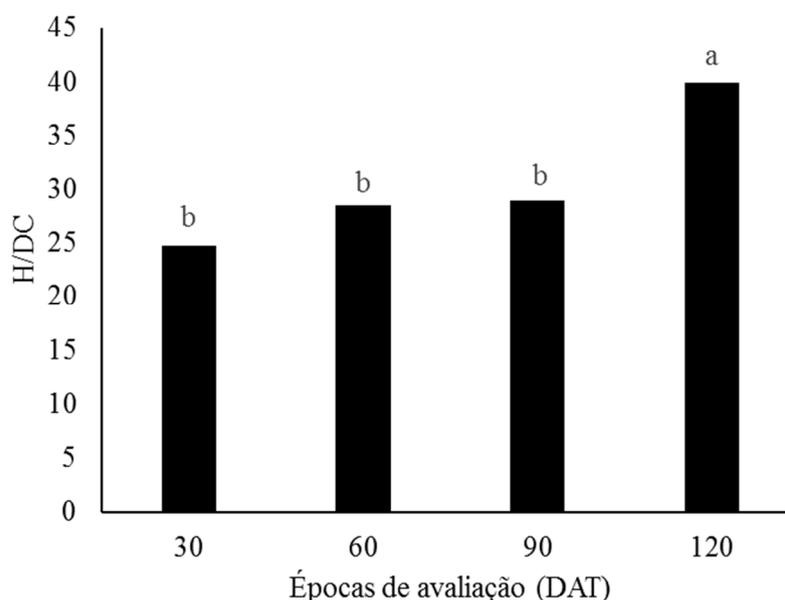
Segundo Mews *et al.* (2015), a altura máxima de 20,86 cm para as mudas de ipê foi atingida com a dose de 3 g de hidrogel kg^{-1} de solo e 4 g de ureia kg^{-1} de solo; já em relação ao DC, o maior valor médio (3,11 mm) foi obtido com 2 g de hidrogel e 5 g do adubo nitrogenado, tanto a altura (H) quanto o DC apresentaram as maiores médias aos 80 dias iniciais. Sturion; Antunes (2000) observaram aumento linear para H e DC do ipê branco no período compreendido entre 20 e 62 dias. Os mesmos autores obtiveram o maior valor médio para o DC de 10,4 mm aos 120 DAT com aplicação da mesma dose (resultado não significativo).

Nos últimos 30 dias de experimento as mudas de ipê cresceram em altura (GRÁFICO 25) devido ao aumento no teor de nitrogênio no solo com as doses de Forth Gel[®]. O N pode ter sido liberado da composição do polímero (radicais laterais da acrilamida) (SMITH; PRUES; OEHME, 1997). Já em nosso estudo houve aumento na disponibilidade de N no solo e supostamente absorvido, em parte, pelas mudas de ipê; isso pode ter ocorrido devido a mineralização gradativa do nitrogênio presente no hidrogel feita por alguns microrganismos do solo. Segundo Kay-Shoemake *et al.* (1998 a,b) alguns microrganismos foram capazes de mineralizar parcialmente elementos químicos presentes na poliacrilamida.

A média 39,9 da relação H/DC para a época de 120 DAT foi estatisticamente diferente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, em relação às outras épocas avaliadas (GRÁFICO 26). Esta relação foi cinco vezes maior no trabalho de Mews *et al.* (2015) com as mudas de *Handroanthus ochraceus* na aplicação das concentrações de 3 g e 4 g por litro de

água de hidrogel e ureia, respectivamente, após 160 dias. Valores muito elevados da relação H/DC não são muito favoráveis, pois, segundo Macedo *et al.* (2011), as mudas de pequeno diâmetro e muito altas foram consideradas de qualidade inferior às de menor tamanho e maior diâmetro. Para Sturion; Antunes (2000) um maior DC foi associado a uma maior sobrevivência e crescimento mais acentuado de raízes e parte aérea de mudas após o plantio.

Gráfico 26 – Médias da relação de altura e diâmetro do colo (H/DC) pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ nas quatro épocas avaliadas (DAT)



A relação H/MSPA também foi associada a sobrevivência das mudas no campo (GOMES *et al.*, 2003), sendo que quanto menor o valor obtido para essa razão, maior é a rusticidade das mudas e vice-versa (BERNARDINO *et al.*, 2005). As médias da relação H/MSPA de $7,7 \text{ cm g}^{-1}$ com 30 DAT e $9,1 \text{ cm g}^{-1}$ aos 60 DAT foram maiores estatisticamente do que as obtidas para aos 90 e 120 DAT (GRÁFICO 27). Essas médias foram mais baixas que a obtida por Mews *et al.* (2015) usando 4 g de hidrogel e 5 g de ureia, que foi 22,3 em 160 dias. Foi observado que mudas de ipê fertilizadas com adubo nitrogenado com concentração entre 230 e 310 mg N kg^{-1} de solo, apresentaram relação H/MSPA aproximadamente de 3 cm g^{-1} , que foi 50% menor do que a observada no controle (LEITE *et al.*, 2017).

As médias da relação entre massa seca da parte aérea e das raízes (MSPA/MSR) cresceram de forma linear aos 60 e 90 DAT (GRÁFICO 28). Isso significa que a forma de aplicação do hidrogel no solo (seca e homogeneizada) e a manutenção do substrato sempre próximo à capacidade de campo não interferiram no crescimento das raízes ou não provocaram nenhum impedimento físico para esse crescimento. Com isso, nas épocas supracitadas, houve

maior crescimento de parte aérea do que raízes, sugerindo que a maior dose do Forth Gel[®] aplicada está diretamente relacionada com a disponibilidade de nutrientes para as mudas de ipê e que estas, por sua vez, absorveram e assimilaram os nutrientes revertendo-os em crescimento de biomassa aérea.

Gráfico 27 – Médias da relação de altura e massa seca parte aérea (H/MSPA) pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ nas quatro épocas avaliadas (DAT)

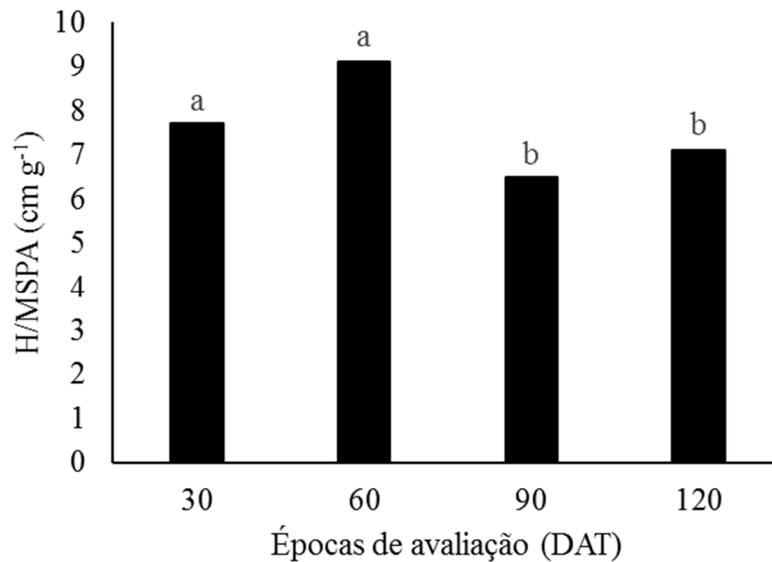
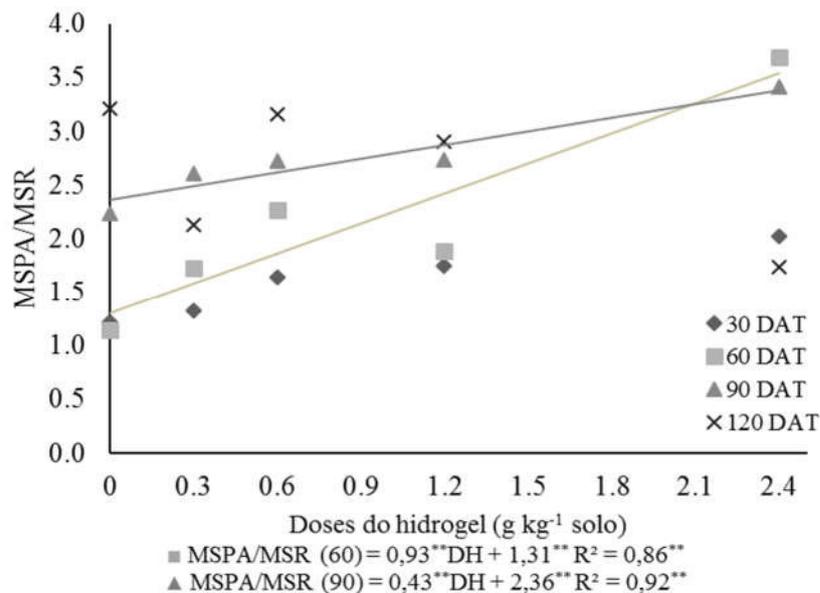


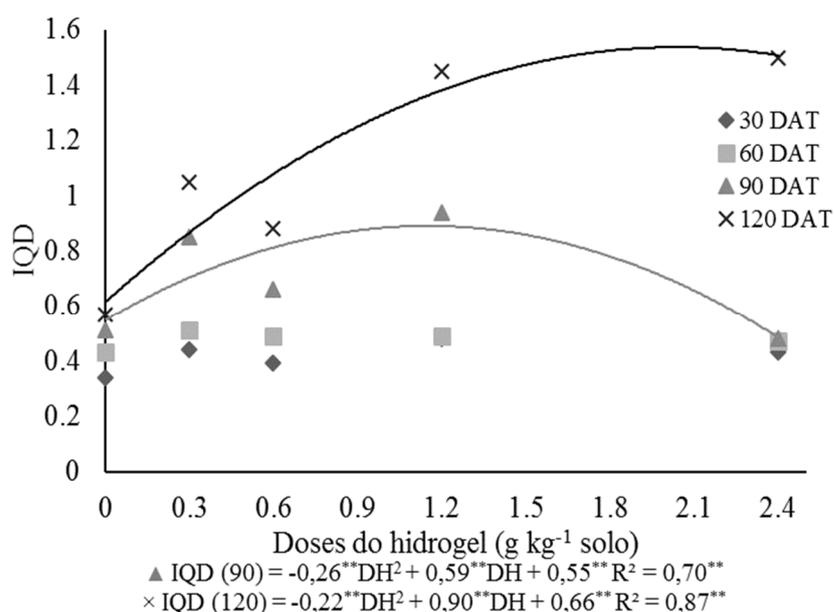
Gráfico 28 – Regressão da relação entre massa seca da parte aérea e massa seca das raízes (MSPA/MSR) das mudas de Ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) para quatro épocas de avaliação



Trabalhando com ipê roxo e adubação nitrogenada, Leite *et al.* (2017) constataram que a proporção de crescimento da parte aérea foi duas vezes maior que o das raízes, e que esta originou mudas de qualidade. No presente estudo foram obtidos valores acima de 1,15 da relação MSPA/MSR, sendo que esta relação foi crescente com as doses de Forth Gel[®], atingindo os valores médios máximos de 3,69 e 3,41 aos 60 e 90 DAT, respectivamente, ambos com a dose de 2,4 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ (GRÁFICO 28). A aplicação de 4 g de hidrogel associadas a 5 g de ureia ao substrato apresentou valor de 1,39 para relação MSPA/MSR (MEWS *et al.*, 2015), ou seja, valores menores do que os maiores valores obtidos no presente estudo.

O índice de qualidade de Dickson (IQD) leva em consideração a rusticidade das plântulas e o equilíbrio da distribuição da biomassa (GOMES *et al.*, 2003; GOMES; PAIVA, 2004). Este índice avalia a razão entre variáveis morfológicas e se correlaciona com a produção em massa seca (BINOTTO *et al.*, 2010; DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960). Os maiores valores médios de IQD foram obtidos para as mudas de ipê aos 90 e 120 DAT. Ajustes quadráticos para a regressão das doses nessas épocas foram os mais adequados para o IQD, sendo que se obteve valores máximos de: 0,88 na dose de 1,13 g kg⁻¹ aos 90 DAT e 1,58 na dose 2,04 g kg⁻¹ aos 120 DAT (GRÁFICO 29). Segundo Mews *et al.* (2015), o tratamento com concentrações de 1 g de hidrogel e 2 g de ureia apresentou o IQD igual a 1,34, este valor ficou entre as duas médias máximas de IQD obtidas nesse trabalho.

Gráfico 29 – Regressão do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) para as mudas de Ipê roxo *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos submetidas a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) para quatro épocas de avaliação



Considerando os menores valores médios das relações H/DC e H/MSPA e os maiores valores da relação MSPA/MSR, as mudas que apresentaram maior qualidade foram as do tratamento com a dose 2,4 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo aos 90 DAT. Ainda quanto a qualidade das mudas de ipê, considerando apenas os maiores valores obtidos para o IQD, o tratamento que se destacou foi com a dose de 2,0 g kg⁻¹ em 120 DAT.

4.3 Avaliação da microbiota do Argissolo incubado com doses de hidrogel

O resumo da ANOVA para as variáveis microbiológicas do experimento de incubação do Forth Gel[®] estão na Tabela 11. A interação somente não foi significativa para os teores nitrogênio (N), fósforo (P) e lipídios totais (Whole Cell Fatty Acids - WCFA).

O WCFA foi significativa a 5% probabilidade apenas para as doses de hidrogel e o N e P foi significativo para as doses e os tempos de incubação ($p < 0,01$) (TABELA 11). Todas estas variáveis também foram significativas pelos testes adotados na análise multivariada (MANOVA) (TABELA 12).

Para verificar a similaridade entre os tratamentos foi elaborado um dendrograma a partir da análise de agrupamento, na qual, depois de calculadas as distâncias dos 15 tratamentos, obteve-se a formação agrupamentos obedecendo o ponto de corte (6.9) e os critérios de similaridade das distâncias Euclidianas (GRÁFICO 30). Ou seja, distâncias menores e similares dentro do mesmo grupo, e maiores e diferentes entre grupos, atribuindo a cada um deles o comportamento específico perante as variáveis já citadas.

Pelos critérios supracitados foram formados quatro grupos de tratamentos: grupo 1 – doses 1,2 e 2,4 aos 90 dias de incubação; grupo 2 – doses 1,2 e 2,4 e incubação de 30 e 60 dias; grupo 3 – doses controle (sem Forth Gel[®]), 0,3 e 0,6 g kg⁻¹ combinadas com 90 dias de incubação; e grupo 4 – doses controle, 0,3 e 0,6 g kg⁻¹ aos 30 e 60 dias de incubação. Dentro do mesmo grupo os tratamentos foram similares e os grupos entre si apresentaram dissimilaridade (GRÁFICO 30).

O efeito das doses de hidrogel foi encontrado no primeiro componente (CP 1), sendo que os tratamentos de doses baixas (controle, 0,3 e 0,6 g kg⁻¹) ficaram à direita (1° e 4° quadrantes) e os tratamentos com doses altas (1,2 e 2,4 g kg⁻¹) ficaram à esquerda (2° e 3° quadrantes). O efeito da incubação foi melhor explicado pelo segundo componente (CP 2), onde há predomínio de amostras com os tempos de 30 e 60 dias de incubação que foram observadas na parte superior do Biplot (1° e 2° quadrantes) e as amostras com 90 dias de incubação que foram encontradas na parte inferior (3° e 4° quadrantes).

Tabela 11 - Resumo a análise de variância (ANOVA) apenas com os valores do teste F

Fontes de variação	G.L. ¹	Valores de F									
		COT ^{2, a}	C/N ²	C/P ³	qMic ^{4, a}	WCFA ⁵	RB _{acum} ⁶	CBM ⁷	qCO ₂ ⁸	N ⁹	P ¹⁰
Doses de hidrogel (DH)	4	134,18**	169,39**	65,01**	10,03**	2,96*	35,89**	1,98 ^{ns}	19,34**	46,10**	8,35**
Tempo de incubação (TI)	2	12,69**	41,73**	24,28**	3,79*	1,29 ^{ns}	77,12**	49,09**	57,49**	56,55**	89,19**
DH x TI	8	41,14**	50,82**	15,54**	5,22**	1,80 ^{ns}	10,20**	46,20**	6,10**	2,29 ^{ns}	1,89 ^{ns}
Total	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (%) ^(b)	-	5,86	13,73	21,12	24,03	46,53	12,50	10,81	17,71	7,32	12,96

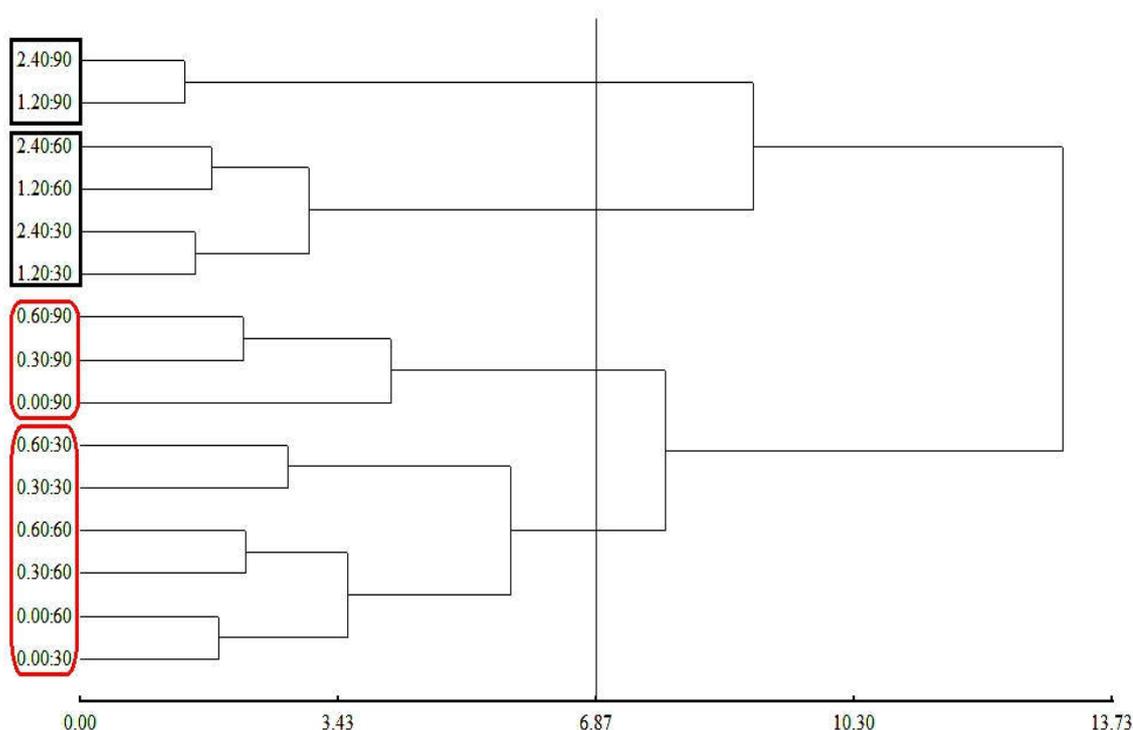
^aVariável transformada: $\sqrt{(X+0,5)}$. **, * e ^{ns}: Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente; ^bC.V.: Coeficiente de variação.

¹G.L.: graus de liberdade; ²COT: carbono orgânico total; ²C/N: relação carbono:nitrogênio; ³C/P: relação carbono:fósforo; ⁴qMic: quociente microbiano; ⁵WCFA: Whole Cell Fatty Acids; ⁶RB_{acum}: respiração basal acumulada; ⁷CBM: carbono da biomassa microbiana; ⁸qCO₂: quociente metabólico; ⁹N: nitrogênio total; ¹⁰P: fósforo disponível.

Tabela 12 - Análise de variância multivariada (MANOVA) para todas as variáveis estudadas

Fontes de variação	Estadístico	F	GL (num)	GL (den)	P
Wilks					
Doses de hidrogel (DH)	0,0019	14,38	40	138	<0,000001
Tempo de incubação (TI)	0,0105	31,46	20	72	<0,000001
DH*TI	0,0002	8,14	80	237	<0,000001
Roy					
Doses de hidrogel (DH)	28,6107	111,58	10	39	<0,000001
Tempo de incubação (TI)	13,6755	50,59	10	37	<0,000001
DH*TI	15,1283	65,05	10	43	<0,000001
Pillai					
Doses de hidrogel (DH)	2,7024	8.12	40	156	<0,000001
Tempo de incubação (TI)	1,7771	29.50	20	74	<0,000001
DH*TI	3,9090	4.11	80	344	<0,000001
Lawley Hotelling					
Doses de hidrogel (DH)	34,0727	29,39	40	138	<0,000001
Tempos de incubação (TI)	19,1384	33,49	20	70	<0,000001
DH*TI	32,5264	13,92	80	274	<0,000001

Gráfico 30 – Dendrograma de análise de agrupamento por similaridade dos grupos de tratamentos, tendo como base as medidas de distâncias Euclidianas



No 1º quadrante foi observado que os tratamentos controle e que os combinaram doses baixas (0,3 e 0,6 g kg⁻¹) e tempos de incubação de 30 e 60 dias caracterizaram-se pelos maiores valores médios de qCO_2 e RB_{acum} e baixos valores de $qMic$, WCFA, P e CBM; no 2º quadrante os tratamentos que combinaram doses altas (1,2 e 2,4 g kg⁻¹) e tempos de incubação de 30 e 60 dias caracterizaram-se por valores médios a altos de N e baixos do COT e das relações C/N e C/P; no 3º quadrante ficaram os tratamentos com doses altas (1,2 e 2,4 g kg⁻¹) e 90 dias de incubação, onde foram obtidos os maiores valores médios de $qMic$ e WCFA, P e CBM e baixos valores de qCO_2 e RB_{acum} ; e, por fim, os tratamentos de doses baixas (0,3 e 0,6 g kg⁻¹) e com 90 dias de incubação ficaram no 4º quadrante, sendo que nestes tratamentos foram encontrados valores médios altos de COT e das relações C/N, C/P e baixos de N (GRÁFICO 31).

Outra forma de interpretação dos resultados foi por meio dos cálculos das correlações de Pearson entre as variáveis. Foi identificada correlação positiva para qCO_2 x RB_{acum} , C/P x C/N, C/N x COT, C/P x COT; e negativa para qCO_2 x CBM, $qMic$ x COT, C/N x $qMic$ e C/P x $qMic$ a 1 % de probabilidade; também foi constatada correlação significativa positiva para $qMic$ x CBM, C/P x RB_{acum} , WCFA x $qMic$, WCFA x P, WCFA x C/P; e negativa para C/P x P, C/N x N e P x qCO_2 a 5 % de probabilidade (TABELA 13).

Gráfico 31 – Análise de componentes principais (ACP - Biplot) mostrando os efeitos combinados das doses de hidrogel (Forth Gel[®]) (CP1) e tempo de incubação (CP2)

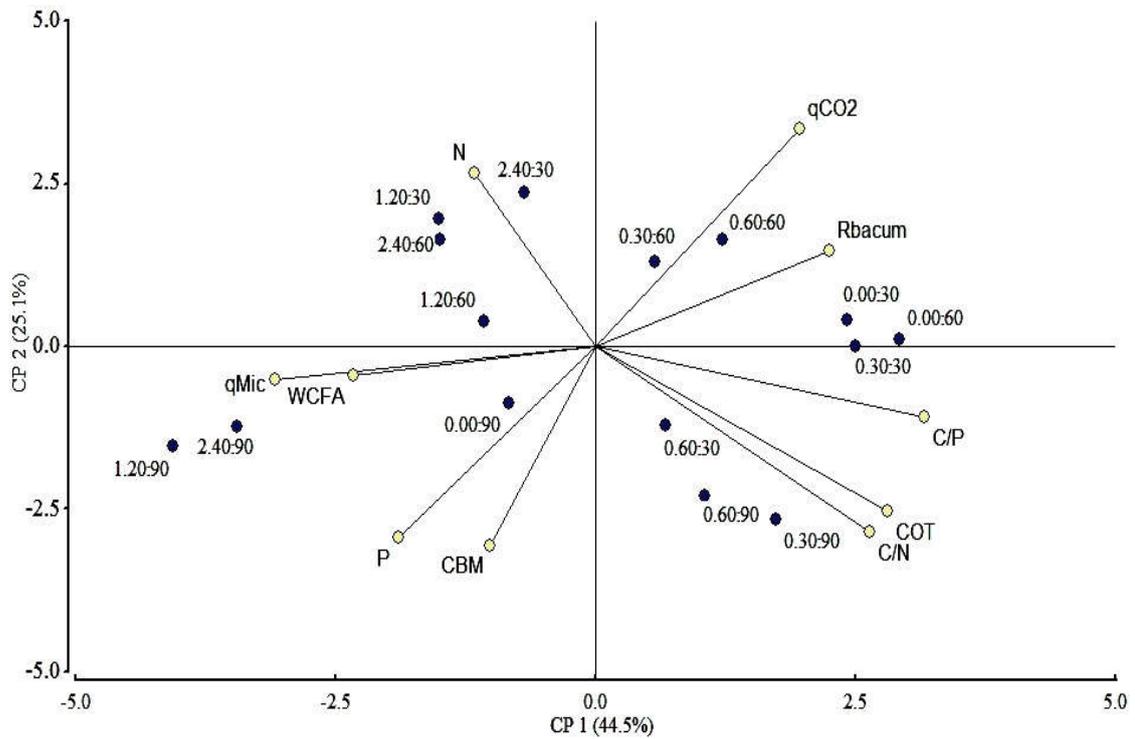


Tabela 13 - Coeficientes de correlação de Pearson e suas respectivas probabilidades

	CBM	Rbacum	COT	qMic	qCO ₂	P	N	C/N	C/P	WCFA
CBM	1,00									
Rbacum	-0,14	1,00								
COT	0,07	0,26	1,00							
qMic	0,59*	-0,34	-0,70**	1,00						
qCO ₂	-0,69**	0,77**	0,05	-0,53	1,00					
P	0,28	-0,59	-0,05	0,42	-0,61*	1,00				
N	-0,21	-0,33	-0,42	0,15	0,05	-0,25	1,00			
C/N	0,06	0,26	0,97**	-0,66**	0,04	0,08	-0,60*	1,00		
C/P	0,05	0,49*	0,88**	-0,70**	0,27	-0,47*	-0,25	0,78**	1,00	
WCFA	0,11	-0,25	-0,43	0,58*	-0,23	0,56*	0,02	-0,31	-0,64*	1,00

** e *: Significativo a 1 e 5% de probabilidade

O hidrogel usado no experimento contém em sua composição C e N (TABELA 3). Houve correlação negativa entre os atributos usados para medir a biomassa microbiana (WCFA e CBM) com os elementos constituintes do polímero e alta correlação positiva entre o WCFA e qMic, corroborando com vários autores (BAILEY *et al.*, 2002; FENG *et al.*, 2003; RINKLEBEY; LANGER, 2010; BALOTA, 2017). Na medida em que o COT foi diminuindo no solo, com o passar do tempo, houve diminuição do estresse microbiano e o crescimento de

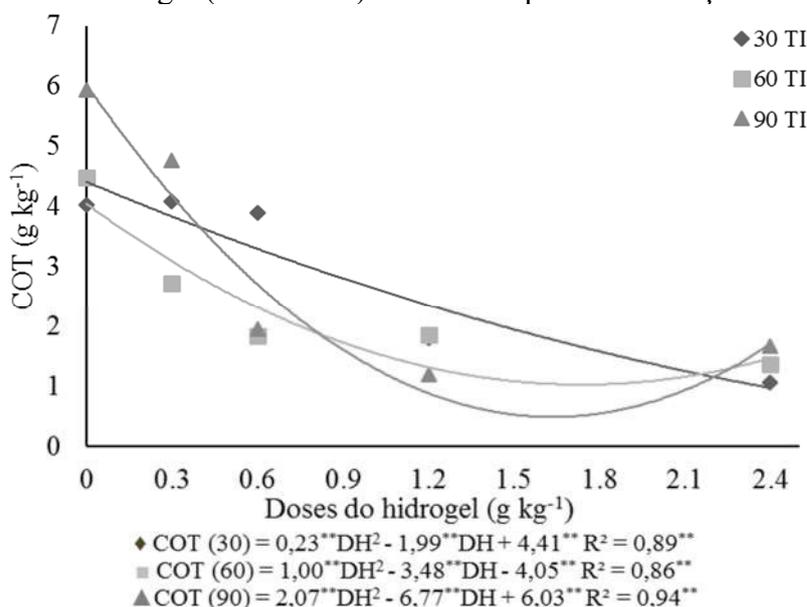
biomassa. Isso pode comprovar a suposição de que os microrganismos utilizaram, pelo menos parcialmente e com eficiência, o C e o N do hidrogel (KAY-SHOEMAKE *et al.*, 1998 a,b).

No presente estudo não foi encontrada correlação significativa entre o teor de lipídios total (WCFA) e o carbono ou o nitrogênio. Outros autores trabalhando com condicionadores orgânicos no solo observaram alta correlação entre uma fração do WCFA e teores de COT e N total (BÖRJESSON *et al.*, 2012).

Com a umidade controlada em todos tratamentos, ao aumentar as doses do Forth Gel[®] e os tempos de incubação, o COT e a RB_{acum} diminuíram gradativamente para os dois fatores de tratamento (GRÁFICOS 32 e 33, respectivamente). Os valores de COT variaram de 1,07 a 5,93 g kg⁻¹ (GRÁFICO 32), enquanto os valores da RB_{acum} variaram de 0,58 a 1,62 mg CO₂ g⁻¹ solo seco, sendo mais elevada nas menores doses do polímero e aos 30 e 60 dias de incubação – o que indica maior atividade microbiana nessas condições (GRÁFICO 33), resultando na decomposição mais rápida da matéria orgânica do solo e mineralização de nutrientes para estimular os microrganismos heterotróficos (CHENG *et al.*, 2013; HANSON *et al.*, 2000). A diminuição na RB_{acum} significa que as doses do hidrogel resultaram em um ecossistema mais estável (BALOTA *et al.*, 1998).

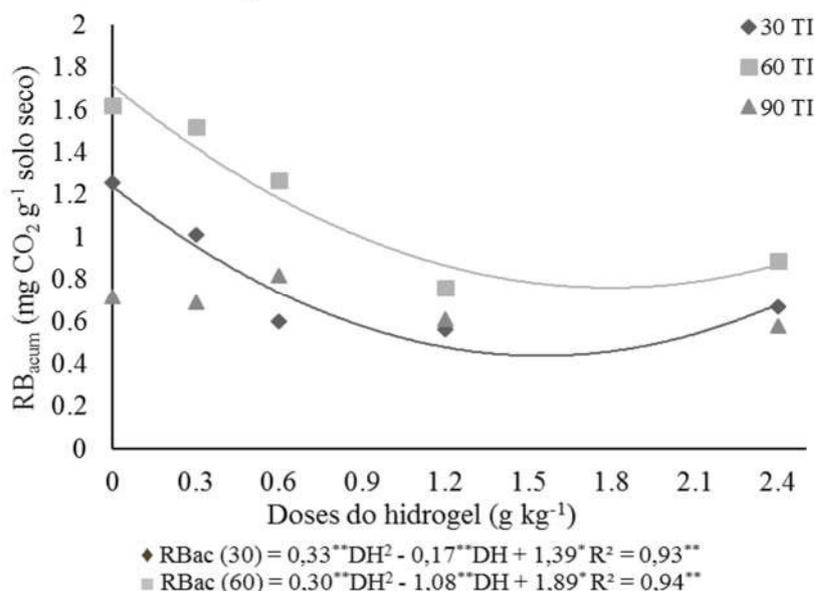
A aceleração da decomposição da matéria orgânica descrita anteriormente em um solo que já apresenta baixos teores de COT seria preocupante em termos de comprometimento do sequestro de carbono. Mas, em condições de campo, havendo o desenvolvimento de plantas, o aporte de carbono orgânico no solo não seria comprometido.

Gráfico 32 – Regressão do carbono orgânico total (COT) do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) em três tempos de incubação



A redução do COT é explicada pelo fato de que alguns microrganismos encontrados no solo precisam do C_{org} do meio para promoverem a biotransformação dos polímeros à base de acrilamida por meio da enzima amidase (KAY-SHOEMAKE *et al.*, 1998 a; SHANKER; RAMAKRISHNA; SETH, 1990). Para que ocorra biossíntese da amidase, os microrganismos utilizam o C do meio, ainda que não se saiba exatamente qual o mecanismo utilizado (KAY-SHOEMAKE *et al.*, 1998 b; NAKAMIYA; KINOSHITA, 1995).

Gráfico 33 – Respiração basal (RB_{acum}) do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) em três tempos de incubação



O crescimento real da biomassa (CBM) ocorreu aos 90 dias de incubação, principalmente a partir da dose 0,25 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo, atingindo valor máximo de 0,32 mg C-C_{mic} g⁻¹ C do solo com a dose de 1,93 g kg⁻¹ (GRÁFICO 34). O qCO_2 é a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o C disponível para biossíntese (ODUM, 1969; SAVIOZZI *et al.*, 2002). Quanto menores forem os valores de qCO_2 mais eficiente é a biomassa microbiana no uso do C, diminuindo as perdas na forma de CO₂ e incorporando mais tecidos microbianos. Com 30 dias de incubação, doses aproximadas de 0,58 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo foram as que mais contribuíram para aumentar a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o C disponível (ou seja, onde foram observadas as menores médias de qCO_2). Os valores médios mais baixos de qCO_2 , tanto para 60 dias quanto para 90 dias incubação, foram obtidos com as doses entre 1,8 e 1,9 g kg⁻¹ (doses altas) (GRÁFICO 35). Este resultado torna mais evidente a decomposição do COT (GRÁFICO 32) pelos microrganismos que resultou no crescimento microbiano aos 90 dias de incubação (GRÁFICO 34).

Gráfico 34 – Regressão do carbono da biomassa microbiana (CBM) do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) em três tempos de incubação

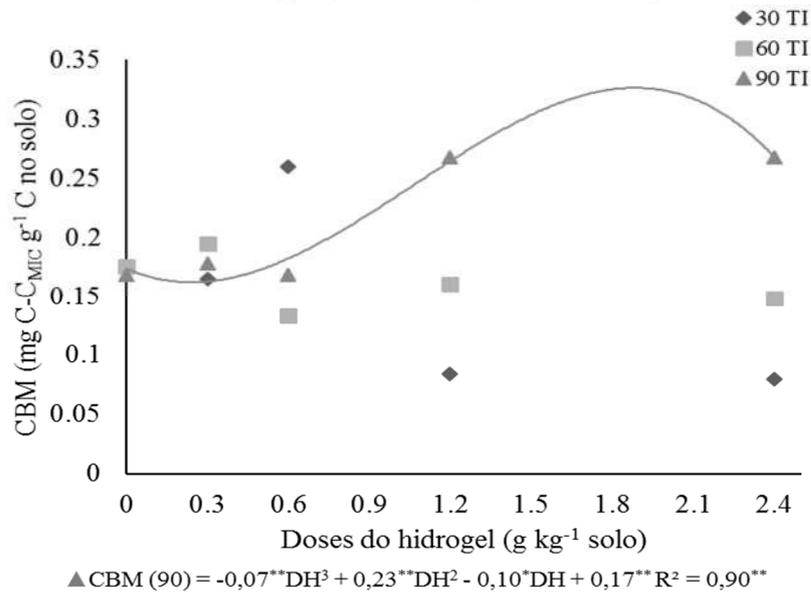
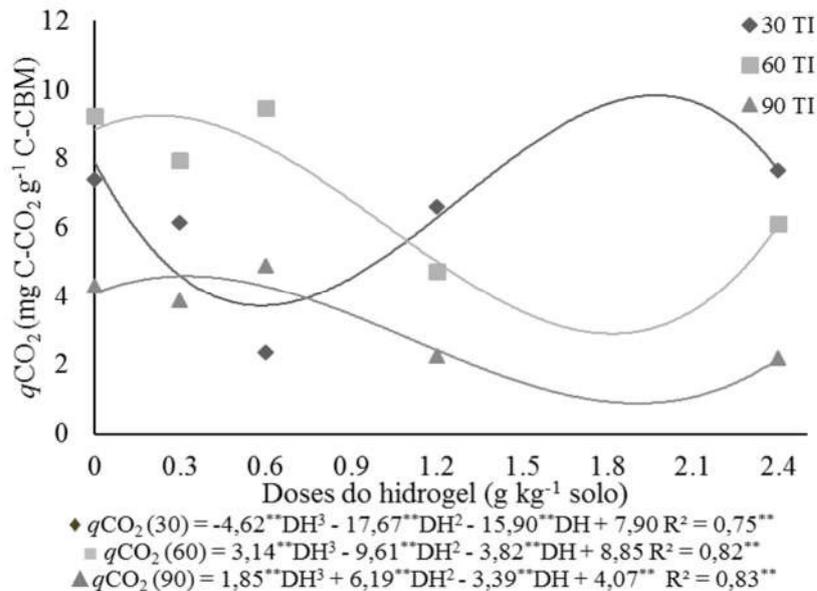


Gráfico 35 – Regressão do quociente metabólico (qCO_2) do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) em três tempos de incubação



Aos 30 dias de incubação as doses acima de 0,58 g Forth Gel[®] kg⁻¹ (GRÁFICO 34) podem ser consideradas comprometedoras da eficiência de decomposição do C disponível do solo. Segundo Wardle; Ghani (1995) aumentos no qCO_2 promoveram distúrbios nos processos de biossíntese do solo. Em contraste, nesse estudo, o aumento simultâneo nos tempos de incubação e nas doses de hidrogel reduziram esses distúrbios, pois os valores médios de qCO_2 foram menores até mesmo em relação ao observado no tratamento controle (GRÁFICO 35). Isto indica que, a partir dos 60 dias de incubação, houve menor estresse químico aos

microrganismos, maior eficiência no uso do C, menor demanda de energia para manter a biomassa microbiana e melhor qualidade desses substratos (CHENG *et al.*, 2013). Nesse caso, esses resultados podem ser justificados pelas condições ambientais do semiárido, onde estamos inseridos, logo os comportamentos são diferentes da maioria dos trabalhos internacionais, que são de ambientes temperados.

O alto q_{Mic} sugere que o C_{org} se encontra disponível para a microbiota do solo e sujeito a transformações (ANDERSON; DOMSCH, 1990; HART *et al.*, 1989), enquanto que o aumento do q_{Mic} e do CBM representou o término de uma situação de estresse. O q_{Mic} foi mais estável aos 30 e 60 dias de incubação e aumentou significativamente a partir da dose 0,39 g Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo aos 90 dias de incubação, chegando ao seu valor máximo de 6,9% com a dose 1,85 g kg⁻¹ (GRÁFICO 36).

O WCFA alcançou 33,4 nanomoles g⁻¹ na dose do Forth Gel[®] de 1,9 g kg⁻¹ (GRÁFICO 37), enquanto sem a adição desse hidrogel (dose zero) esse valor foi de 21,1 nanomoles g⁻¹. Mesmo não havendo significância para o tempo de incubação da variável WCFA, procedeu-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) (TABELA 12) e ficou constatado que não há diferenças para as médias de WCFA obtidas com as doses 0; 0,30 e 0,60 g Forth Gel[®] kg⁻¹. Na dose de 1,20 g Forth Gel[®] kg⁻¹, os WCFA foram significativamente maiores, porém estatisticamente iguais a obtida na dose 2,40 g kg⁻¹.

Gráfico 36 – Regressão do quociente microbiano (q_{Mic}) do Argissolo Vermelho Amarelo submetido a doses de hidrogel (Forth Gel[®]) em três tempos de incubação

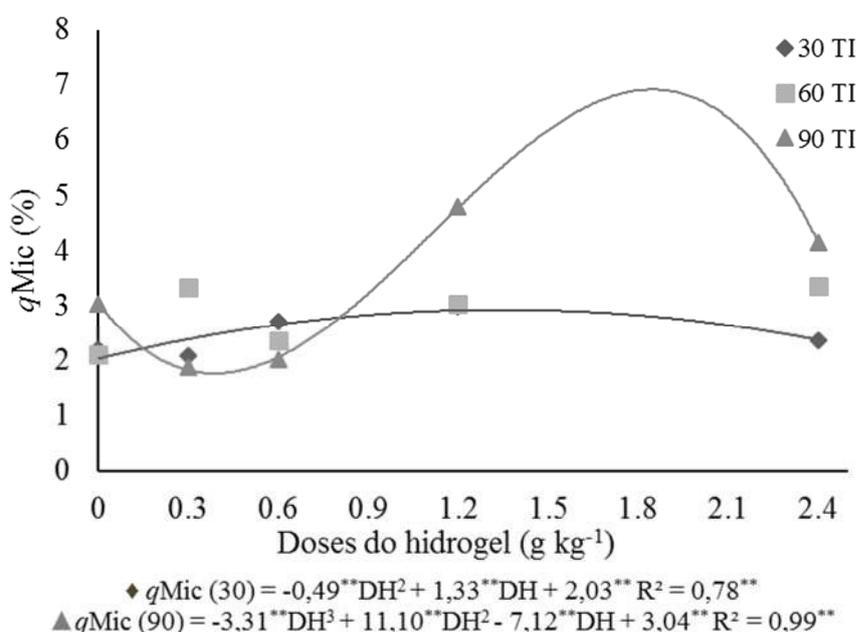
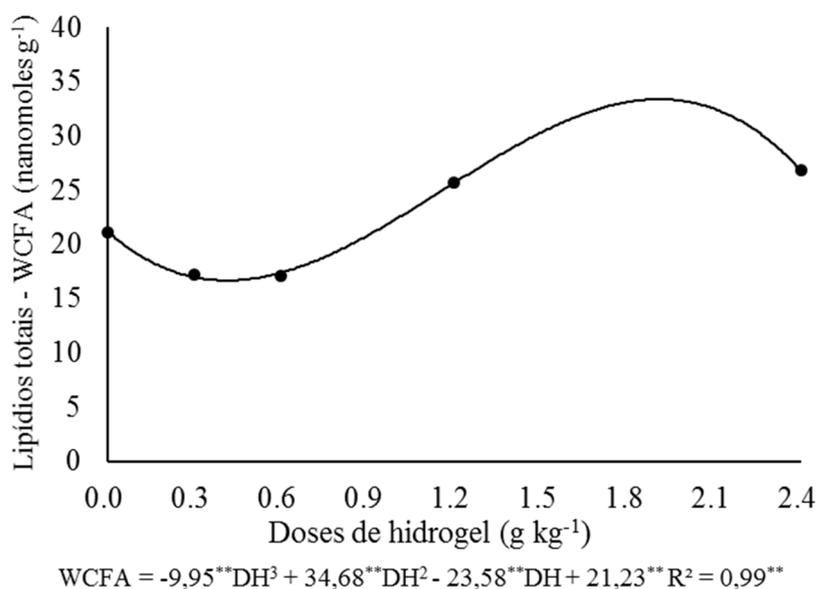


Gráfico 37 – Regressão dos teores de lipídios totais do Argissolo Vermelho Amarelo submetido às doses de hidrogel (Forth Gel[®])



A baixa atividade microbiana, o crescimento da biomassa e a melhor eficiência da biomassa em utilizar o carbono, medida com a redução do $q\text{CO}_2$ e aumento do $q\text{Mic}$, foram encontrados nos tratamentos referentes às doses 1,2 e 2,4 g kg⁻¹, ambos aos 90 dias de incubação. As doses de polímero acima de 0,3 g kg⁻¹ favoreceram a biomassa microbiana atingindo o máximo valor com a dose de, aproximadamente, 1,9 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo aos 90 dias de incubação. As doses do Forth Gel[®] entre 0 a 0,6 g kg⁻¹ promoveram maior atividade microbiana aos 30 e 60 dias de incubação, mas a estabilização do meio ocorreu mediante aplicação das doses maiores.

O polímero usado no presente estudo, mesmo sendo um condicionador orgânico, contribuiu com o aumento do WCFA no solo. Contudo, o fracionamento dos lipídios e a identificação de diferentes grupos de microrganismos no solo forneceriam informações mais detalhadas a respeito dos impactos das doses de hidrogel e dos tempos de incubação nos microrganismos do solo. Assim, o próximo passo foi identificar quais grupos taxonômicos estiveram presentes nas amostras de solo incubadas com Forth Gel[®], correlacionando com os tratamentos e inúmeros trabalhos reconhecidos na literatura por identificar biomarcadores específicos de microrganismos (BACH; FROSTEGÅRD; OHLSON, 2008; FEDERLE, 1986; FROSTEGÅRD; BÅÅTH, 1996; FROSTEGÅRD; BÅÅTH; TUNLID, 1993 a,b; FROSTEGÅRD; TUNLID; BÅÅTH, 1996; FROSTEGÅRD; TUNLID; BÅÅTH, 2011; HEDRICK *et al.*, 2010; HEDRICK; PEACOCK; WHITE, 2005; MBUTHIA *et al.*, 2015;

O'LEARY; WILKINSON, 1988; OLSSON, 1999; OLSSON *et al.*, 1995; PANKHURST *et al.*, 2001; RATLEDGE; WILKINSON, 1988).

Para exemplificar, Mbuthia *et al.* (2015) identificaram biomarcadores bacterianos incluindo cinco como indicadores da presença de bactérias Gram-positivas (Gram +): 15:0iso, 15:0anteiso, 16:0iso, 17:0iso e 17:0anteiso; três indicadores da presença de bactérias Gram-negativas (Gram -): 17:0 Cyclo, 19:0 Cyclo, 16:1 ω 7c; e três como indicadores de actinobactérias e redutores de sulfatos (16:0 10-Me, 17:0 10-Me, 18:0 10-Me). Todos estes biomarcadores também foram identificados por Hedrick; Peacock; White (2010) e Ibekwe; Kennedy (1999). Os 56 ácidos graxos (cadeias variando entre 11-20 carbonos) presentes nas amostras submetidas aos tratamentos no presente estudo, as codificações, fórmulas e cargas dos eixos da análise discriminante estão na Tabela 14.

Tabela 14 - Codificação, fórmulas dos ácidos graxos identificados nas amostras incubadas com diferentes doses de Forth Gel[®] e suas respectivas cargas da análise discriminante.

Cod.*	Ácidos graxos	Eixo 1	Eixo 2	Cod.*	Ácidos graxos	Eixo 1	Eixo 2
A1	11:0	22,44	14,83	A29	17:1 ANTEISO A	-80,35	-21,41
A2	12:0 ANTEISO	15,38	-49,40	A30	17:0 ISSO	127,89	31,64
A3	12:0	-163,41	-24,19	A31	17:0 ANTEISO	110,53	-1,12
A4	13:0 ISO	-226,02	101,33	A32	17:1 W7C	12,89	8,69
A5	13:0 ANTEISO	-113,47	-28,08	A33	17:1 W5C	-128,87	-68,45
A6	14:1 ISO E**	245,91	43,91	A34	17:0	-98,41	21,06
A7	14:0 ANTEISO	15,39	-2,96	A35	16:1 2OH	10,25	-79,96
A8	14:1 W5C**	187,65	40,94	A36	17:0 10-METHYL	-48,42	-67,22
A9	14:0	-23,44	-14,81	A37	18:1 ISO H	1,17	69,46
A10	SUM IN FEATURE 1	57,68	-54,69	A38	18:3 W6C (6,9,12)	79,29	10,58
A11	15:1 ISO F	119,67	-13,13	A39	SUM IN FEATURE 5	-37,21	48,51
A12	15:1 ISO G**	391,82	8,53	A40	18:1 W9C**	144,71	-52,43
A13	15:1 ANTEISO A	-60,74	-109,03	A41	SUM IN FEATURE 8	54,49	153,00
A14	15:0 ISO	-149,03	178,15	A42	18:1 W5C	-21,03	8,80
A15	15:0 ANTEISO	-34,98	24,12	A43	18:0	25,97	73,28
A16	15:1 W5C**	194,76	18,38	A44	17:0 ISO 3OH	-46,61	-16,60
A17	16:1 W7C ALCOOL**	219,21	-148,71	A45	17:0 3OH	11,95	-9,17
A18	16:1 ISO H	-67,32	35,05	A46	17:0 2OH	-105,36	-166,17
A19	16:0 N ALCOOL	-59,51	0,59	A47	18:0 10-METHYL**	424,27	309,25
A20	16:0 ISO	-93,57	-103,02	A48	19:1 ISO I	11,74	-27,14
A21	16:0 ANTEISO	-82,31	-12,15	A49	19:0 ANTEISO	-245,04	100,11
A22	16:1 W9C	-13,67	-7,89	A50	SUM IN FEATURE 6	99,30	39,41
A23	16:1 W11C	4,94	9,42	A51	SUM IN FEATURE 7	-33,58	22,48
A24	SUM IN FEATURE 3**	176,89	-18,96	A52	19:0 CYCLO W8C**	123,78	-9,82
A25	16:0	-66,60	-48,74	A53	20:0 ISSO	-15,04	-15,66
A26	17:1 ISO W5C**	165,90	31,19	A54	20:2 W6,9C	-199,79	-92,35
A27	15:0 2OH	-216,03	110,23	A55	20:1 W7C	-1,64	-48,38
A28	SUM IN FEATURE 9	69,61	-14,13	A56	20:0	18,77	-5,25

*Codificação usada para destacar as variáveis na análise de componentes principais. **Ácidos graxos com maiores cargas para o eixo 1, que explicou aproximadamente 75% da variabilidade dos dados.

arbusculares (FMA). As amostras dos tratamentos mencionados apresentaram baixos valores para marcador 18:0 (A43) que é comum a todos organismos (GRÁFICO 38). A maior frequência de bactérias Gram + tem sido relacionada ao maior teor de C aromático recalcitrante e condições de solo anaeróbico (LINN; DORAN, 1984).

O aumento na disponibilidade de nitrogênio aportado, em nosso estudo, por meio da aplicação das doses Forth Gel® está relacionado ao aumento dos biomarcadores de bactérias Gram + e diminuição dos biomarcadores de bactérias Gram -. Rappe-George *et al.* (2017) obtiveram a maior abundância de bactérias Gram + em relação às Gram - e fungos em virtude do aumento do N ao meio. Estes autores mencionaram também que o não aumento das bactérias Gram - foi limitação de outros recursos (com destaque para o carbono) e não só o nitrogênio.

O ácido graxo 20:0 (A56) (chamado de araquídico), que tem sido abundante em colêmbolos e nematoides, apesar do pequeno potencial taxonômico desse grupo de organismos (CHEN *et al.*, 2001; RUESS *et al.*, 2005), foi encontrado associado a esses tratamentos supracitados.

Em menor proporção houve o aparecimento do biomarcador de cadeia cíclica (fechada) que representa algumas bactérias Gram -, e também biomarcadores de fungos, como por exemplo 18:3 ω 6c (A38); 18:1 ω 9c (A40) e 18:1 ω 5c (A42) e do biomarcador 16:1 ω 11c (A23) que pode ser aceito como assinatura para fungos micorrízicos arbusculares - FMA (GRÁFICO 43), o qual foi identificado por Graham; Hodge; Morton (1995), Larsen; Olsson; Jakobsen (1998), Johansen; Finlay; Olsson (1997) e Olsson (1999). No entanto, no presente estudo não foi identificado o marcador 16:1 ω 5c, específico de assinatura de FMA, e que já foi encontrado por outros pesquisadores (FROSTEGÅRD; BÅÅTH, 1996; GRIGERA *et al.*, 2007, GRYNDLER *et al.*, 2006; LARSEN; BØDKER, 2001; OLSSON *et al.*, 1995; VAN AARLE; OLSSON, 2003; OLSSON, 1999).

No 2º quadrante da ACP há apenas cinco ácidos graxos de cadeias insaturada, mista e hidroxilada com 17 carbonos. Nesse caso, não fica evidente que há algum microrganismo predominante crescendo no meio em que os tratamentos combinaram doses menores que 1,20 g kg⁻¹ e tempos de incubação maiores que 60 dias. Mas, ao mesmo tempo, nesses tratamentos ocorreu a diminuição nos valores dos biomarcadores das bactérias Gram - e de actinobactérias (GRÁFICO 38). No 3º quadrante há o ácido graxo 18:0 (A43) de cadeia aberta e/ou saturada, que é representativo para vários microrganismos procariotos e eucariotos do solo (MIDI, 2005). Nesse caso, não houve a predominância de nenhuma dose e nem tempo de incubação, mas foi possível constatar que as doses entre 0,60 e 1,20 g kg⁻¹ promoveram maior aparecimento desses microrganismos e que o aumento desse lipídio (18:0 - A43) se correlaciona negativamente com

os valores dos biomarcadores de presença de fungos (por exemplo, 18:1 ω 9c – A40) e de bactérias Gram+ (GRÁFICO 38).

No 4º quadrante há predominância de ácidos graxos com cadeias mistas e de outras classes (ramificadas, insaturadas, hidroxiladas e metiladas) com menor frequência e que são representativos, em sua maioria, dos grupos de bactérias Gram – (MIDI, 2005; VERDENELLI; LAMARQUE; MERILES, 2012; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN; MICHEL; PFEFFER, 2011). Ainda no 4º quadrante, os tratamentos sem o hidrogel e com as doses mais baixas (0,30 e 0,60 g de Forth Gel[®] kg⁻¹), em apenas 30 dias de incubação, contribuíram para os maiores valores dos biomarcadores de actinobactérias (BACH; FROSTEGÅRD; OHLSON, 2008; KROPPESTEDT, 1985; LECHEVALIER, 1977; LECHEVALIER; LECHEVALIER, 1988; MBUTHIA *et al.*, 2015; ZELLES, 1999) como, por exemplo, 17:0 10-Me (A36) e 18:0 10-Me (A47) e de bactérias Gram – como, por exemplo, 16:0 iso (A20) e 17:1 anteiso A (A29); e contribuíram com os menores valores dos ácidos 15:1 iso F (A11), 15:1 anteiso A (A13), 17:1 ω 7c (A32) e 17:0 3OH (A45) e soma de ácido ‘sum in feature 9’, que até agora não são biomarcadores específicos de grupos taxonômicos (GRÁFICO 38).

Levando em consideração os resultados obtidos por Rappe-George *et al.* (2017) que encontraram aumentos significativos de actinobactérias em função de aumento do aporte e deposição do N no horizonte O para um solo de floresta. Neste trabalho ocorreu de forma contrária, a medida em que aumento as doses do Forth Gel[®] (rico em N) diminuiu a abundância dos biomarcadores para actinobactérias (GRÁFICO 38).

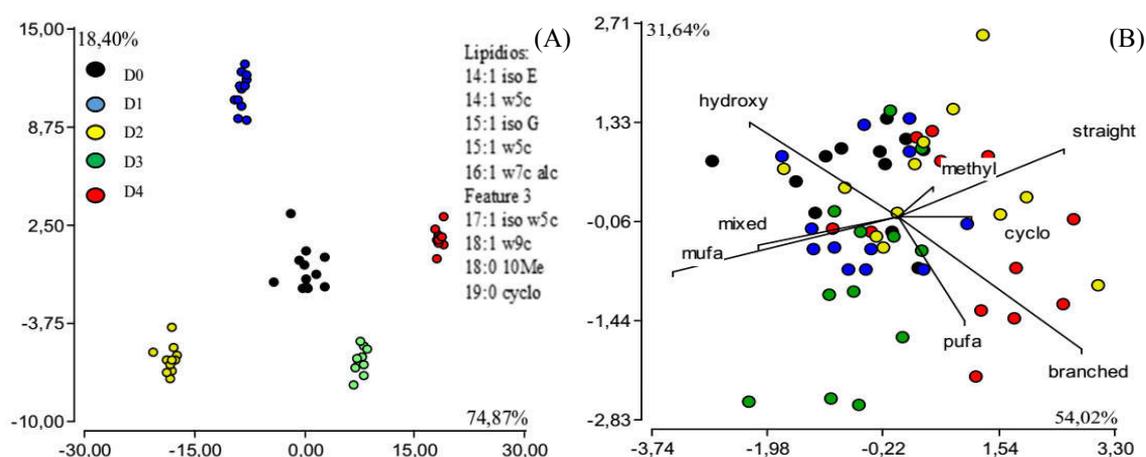
Os perfis de WCFA permitiram a separação das amostras por doses (valor de F significativo para as doses na Tabela 12) e ainda que ácidos graxos (lipídios) escolhidos para servir como variáveis foram aqueles que apresentaram as maiores cargas na primeira função discriminantes no eixo 1, que mais explicaram a variabilidade dos dados (TABELA 15 e GRÁFICO 39 A,B). A função discriminante mostrou fortes cargas tanto para ácidos graxos com predominância de cadeias ramificadas (14:1 iso E; 14:1 ω 5c; 15:1 iso G; 15:1 ω 5c; 16:1 ω 7c alcohol; sum in feature 3; 17:1 iso ω 5c e 18:1 ω 9c) quanto para os de cadeias metilada e cíclica: 18:0 10-Me; 19:0 cyclo ω 8c (TABELA 14).

A análise discriminante com as cinco doses de Forth Gel[®] como critério discriminante mostrou evidente separação ao longo do primeiro eixo (GRÁFICO 39 A). Na Gráfico 39 A, para os lipídios supracitados, os maiores distanciamentos ocorreram para os tratamentos com 2,4 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo em relação aos tratamentos com as doses mais baixas (controle; 0,3 e 0,6 g kg⁻¹). No segundo eixo, o tratamento com a dose de 0,3 g kg⁻¹ foi claramente separado dos outros tratamentos, em especial daqueles que tinham 0,6 e 1,2 g de

Forth Gel[®] kg⁻¹.

Na análise discriminante foi feito um gráfico Biplot cujas variáveis foram as classes de lipídios (MIDI, 2005). Com relação à primeira função discriminante (eixo 1 – 54,02%), os tratamentos com as doses 0,6 e 2,4 g kg⁻¹ foram separados (maiores distanciamentos) dos outros tratamentos, inclusive da testemunha; para a segunda função discriminante (eixo 2 – 31,64%) ocorreu separação entre a testemunha e os tratamentos com as doses mais altas 1,2 e 2,4 g Forth Gel[®] kg⁻¹ (GRÁFICO 39 B).

Gráfico 39 – Biplot da análise discriminante para os ácidos graxos de maiores cargas, considerando os tempos de incubação como repetições (A) e biplot da análise de discriminante para os ácidos graxos de maiores cargas, considerando como variáveis as classes de lipídios (B)



No 1º quadrante do Biplot ficaram as classes lipídicas com cadeias abertas (ou saturada) e metiladas associadas aos tratamentos com as doses 0,6 e 2,4 g Forth Gel[®] kg⁻¹ e menos associados aos tratamentos referentes às doses 0,3 e 1,2 g kg⁻¹. No 2º quadrante os lipídios hidroxilados foram mais presentes nos tratamentos controle e com as doses mais baixas (0,3 e 0,6 g kg⁻¹) e foram menos presentes nos que tiveram a dose 2,4 g kg⁻¹ (GRÁFICO 39 B).

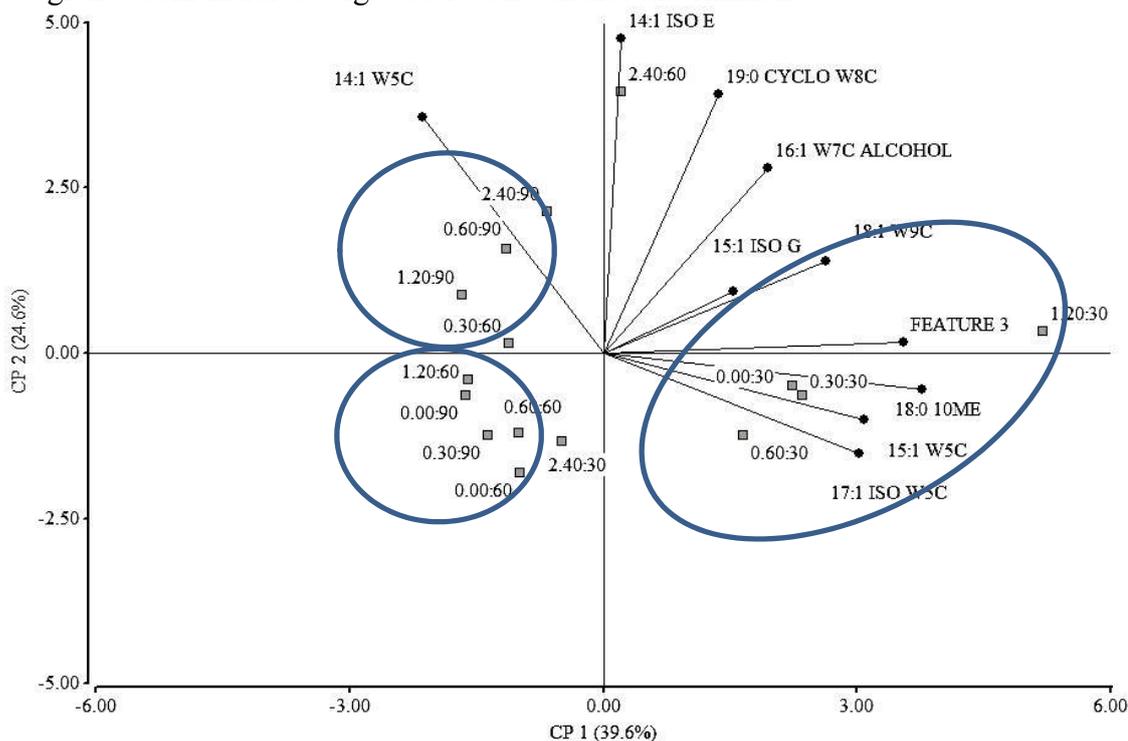
No 3º quadrante os tratamentos com 0,30 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ contribuíram com a maior presença de ácidos graxos monoinsaturados (MUFAs) e com cadeias mistas, e contribuíram menos com as classes de ácidos graxos de cadeias abertas (ou saturadas) e metiladas. No 4º quadrante, observou-se maior presença de cadeias poli-insaturadas (PUFAs) e ramificadas relacionadas aos tratamentos com a dose 2,4 g de Forth Gel[®] kg⁻¹ de solo e menor presença de ácidos graxos hidroxilados (GRÁFICO 39 B).

Levando em consideração somente os ácidos graxos que mais explicaram a variabilidade dos dados em destaque na Tabela 14, foi executada a análise de agrupamento,

obedecendo aos critérios de similaridade das distâncias Euclidianas, resultando na formação de três grupos com os tratamentos: grupo 1 – com as doses 0; 0,3; 0,6 e 1,2 g kg⁻¹; todas aos 30 dias de incubação; grupo 2 – com as doses 0,3 e 2,4 g kg⁻¹ com 60 dias de incubação e 0,6; 1,2 e 2,4 g kg⁻¹ com 90 dias; e grupo 3 – com a dose 2,4 e 30 dias, mais as doses 0; 0,6 e 1,2 com 60 dias e as doses 0 e 0,3 g kg⁻¹ aos 90 dias de incubação (GRÁFICO 40).

No 1º quadrante foi observado que os tratamentos que combinaram as doses 1,20 e 2,40 g kg⁻¹ com 60 dias de incubação caracterizaram-se pelos maiores valores médios dos marcadores 14:1 iso E, 19:0 cyclo ω8c, 16:1 ω7c alcohol, 15:1 iso G, 18:1 ω9c e sum in feature 3, que tiveram baixos valores médios nos tratamentos com as seguintes combinações dose: tempo (0,0:60; 0,0:90; 0,3:90; 0,6:60; 1,2:60 e 2,4:30) (GRÁFICO 40).

Gráfico 45 - Análise de componentes principais (ACP - Biplot) mostrando os efeitos combinados dos tempos de incubação (CP 1) e doses de hidrogel (Forth Gel®) (CP 2) para os ácidos graxos com maiores cargas obtidas na análise discriminante



Não houve nenhum marcador com maior carga discriminante (TABELA 14) associado ao 3º quadrante que reuniu no grupo tratamentos com predominância de doses baixas do Forth Gel® e os maiores tempos de incubação (60 e 90 dias). No 4º quadrante os tratamentos controle e com as doses 0,3 e 0,6 g kg⁻¹ e com 30 dias de incubação caracterizaram-se por apresentar maiores valores médios dos marcadores 18:0 10-Me, 15:1 ω5c e 17:1 iso ω5c, e baixos valores do marcador 14:1 ω5c (GRÁFICO 40).

De todos estes biomarcadores presentes na Gráfico 40, apenas o ácido graxo 18:0 10-Me é conhecido como marcador de actinobactérias. É importante destacar que estes lipídios são biomarcadores conhecidos da comunidade científica em estudos feitos em regiões úmidas. Porém, estudos futuros deverão ser feitos especificamente para condições dos solos e clima de regiões áridas e semiáridas, como o nordeste brasileiro, permitindo confirmar se os ácidos graxos aqui apresentados têm o mesmo significado que biomarcadores encontrados na literatura internacional ou se há algum marcador novo associado algum grupo específico de microrganismo do semiárido, reforçando a importância da continuidade em estudos com essa abordagem.

5 CONCLUSÕES

Baseadas nas hipóteses do trabalho e também nos resultados obtidos temos que o valor máximo de macroporos neste estudo foi observado com a dose aproximada de $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ de hidrogel (com aumento a partir da dose $0,15 \text{ g kg}^{-1}$) quando as amostras foram submetidas a seis ciclos de umedecimento e secagem. A porosidade total foi crescente com aumento das doses do hidrogel 'Forth Gel[®]' e aumento dos ciclos de umedecimento e secagem. A água disponível também cresceu com aumento das doses de Forth Gel.

O Forth Gel[®] aumentou teores de N e K no solo, os maiores valores médios de N no solo foram obtidos com a dose $2,4 \text{ g kg}^{-1}$ e aos 30 DAT e o maior teor de K no solo foi obtido com a dose $2,4 \text{ g kg}^{-1}$. Já as mudas de *Handroanthus impertiginosus* cresceram com o aumento de suas doses. Para o Argissolo misturado ao Forth Gel[®], quanto maior a dose de polímero aplicada nesse substrato, mais precocemente pode ser feito o transplântio das mudas para o campo e, portanto, menor tempo de duração das mudas no viveiro e mais otimizada será a produção de mudas. As combinações de $2,4 \text{ g kg}^{-1}$ aos 90 DAT e $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ aos 120 DAT foram as que resultaram em mudas da espécie *H. impertiginosus* com melhor qualidade.

O crescimento e a atividade microbiana responderam às doses de hidrogel e ao tempo de incubação isoladamente, indicando que, a partir dos 60 dias de incubação, houve menor estresse químico aos microrganismos, maior eficiência no uso do C, menor demanda de energia para manter a biomassa microbiana e melhor qualidade desses substratos. A melhor eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono foi encontrada nos tratamentos com doses de hidrogel de $1,2$ e $2,4 \text{ g kg}^{-1}$, ambas aos 90 dias de incubação. Houve maior presença de bactérias e fungos quando aplicadas as doses mais altas do produto ($1,20$ e $2,40 \text{ g kg}^{-1}$) para todos os tempos de incubação. A maior abundância de actinobactérias nos tratamentos com doses baixas (até $0,60 \text{ g kg}^{-1}$) aos 30 dias de incubação. Também aos 30 dias de incubação, as doses acima de $0,58 \text{ g Forth Gel}^{\text{®}} \text{ kg}^{-1}$ foram consideradas comprometedoras da eficiência de decomposição do C disponível do solo. Em contraste, nesse estudo, o aumento simultâneo nos tempos de incubação e nas doses de hidrogel reduziram esses distúrbios, pois os valores médios de $q\text{CO}_2$ foram menores em relação ao observado no tratamento controle. As doses de polímero de $1,20 \text{ g kg}^{-1}$ aos 30 dias de incubação e de $2,40 \text{ g kg}^{-1}$ aos 60 e 90 dias, caracterizaram-se pelos altos valores médios para os biomarcadores de bactérias Gram + e de fungos de solo, inclusive de fungos micorrízicos arbusculares (FMA). E os tratamentos sem o hidrogel e com as doses de $0,30$ e $0,60 \text{ g de Forth Gel}^{\text{®}} \text{ kg}^{-1}$ aos 30 dias de incubação, contribuíram para os maiores valores dos biomarcadores de actinobactérias.

REFERÊNCIAS

- ABDELMAGID, H. M.; TABATABAI, M. A. Decomposition of acrylamide in soils. **Journal of the American Water Resources Association**, Madison, v. 40, n. 4, p. 53-66, 1982.
- ABEDI-KOUPAI, J.; SOHRAB, F.; SWARBRICK, G. Evaluation of hydrogels application on soil water retention characteristics. **Journal of Plant Nutrition**, [s.l.], v. 31, n. 2, p. 317-331, 2008.
- ADACHI, Y. Dynamic aspects of coagulation and flocculation. **Advances in Colloid and Interface Science**, [s.l.], v. 56, p. 1-31, 1995.
- AHMED, E. M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. **Journal of Advanced Research**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 105-121, 2015.
- ALAZARD, M; LEDUC, C; TRAVI, Y; BOULET, G; BEM SALEM, A. Estimating evaporation in semi-arid areas facing data scarcity: example of the El Haouareb dam (Merguellil catchment, Central Tunisia). **Journal of Hidrology: Regional Studies**, [s.l.], v. 3, p. 265-284, 2015.
- AL-DARBY, A. M. The hydraulic properties of a sandy soil treated with gel-forming soil conditioner. **Soil Technology**, [s.l.], v. 9, n. 1-2, p. 15-28, 1996.
- ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.). **Methods in Soil Microbiology and Biochemistry**. New York: Academic, p. 464-470, 1995.
- ALY, S. M.; LETEY, J. Physical properties of sodium-treated soil as affected by two polymers. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 2, p. 501-504, 1990.
- ANDERSON, J. P.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, [s.l.], v. 10, n. 3, p. 215-221, 1978.
- ANDERSON, T.; DOMSCH, K. H. Application of ecophysiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, [s.l.], v. 22, n. 2, p. 251-255, 1990.
- AOUADA, F. A.; MOURA, M. R.; CAMPESE, G. M.; GIROTTO, E. M.; RUBIRA, A. F.; MUNIZ, E. C. Caracterização de hidrogéis condutores constituídos por PAAm e PEDOT/PSS por meio de planejamento fatorial. **Polímeros: ciência e tecnologia**, Maringá, v. 18, n. 2, p. 126-131, 2008.
- ARAI, T.; KURODA, S.; WATANABE, I. Biodegradation of acrylamide monomer by a *Rhodococcus* strain. In: SCHAAL K. P.; PULVERER, G. **Actinomycetes**, Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, p. 297-307, 1981.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo Pastoril Sustentável da Caatinga**. Recife/PE: Projeto Dom Helder Câmara - PDHC, 2013. 200 p.

ATTOU, F.; BRUAND, A. Experimental study of fragipans formation in soils: Role of clay dispersion and wetting-drying cycles. **Earth and Planetary Science**, [s.l.], v. 326, n. 8, p. 545-552, 1998.

AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A. Uso de hidrogel na agricultura. **Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 1, n. 1, p. 23-31, 2002.

BACH, L. H.; FROSTEGÅRD, A.; OHLSON, M. Variation in soil microbial communities across a boreal spruce forest landscape. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 38, n. 6, p. 1504-1516, 2008.

BAHR, A.; ELLSTROM, M.; AKSELSSON, C.; EKBLAD, A.; MIKUSINSKA, A.; WALLANDER, H. Growth of ectomycorrhizal fungal mycelium along a Norway spruce forest nitrogen deposition gradient and its effect on nitrogen leakage. **Soil Biology and Biochemistry**, [s.l.], v. 59, p. 38-48, 2013.

BAI, W.; SONG, J.; ZHANG, H. Repeated water absorbency of superabsorbent polymers in agricultural field applications: A simulation study. **Acta Agriculturae Scandinavica**, [s.l.], v. 63, n. 5, p. 433-441, 2013.

BAI, W.; ZHANG, H.; LIU, B.; WU, Y.; SONG, J. Effects of super-absorbent polymers on the physical and chemical properties of soil following different wetting and drying cycles. **Soil Use and Management**, [s.l.], v. 26, n. 3, p. 253-260, 2010.

BAILEY, V. L.; PEACOCK, A. D.; SMITH, J. L.; BOLTON JR., H. Relationships between soil microbial biomass determined by chloroform fumigation-extraction, substrate induced respiration and phospholipid fatty acid analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, [s.l.], v. 34, n. 9, p. 1385-1389, 2002.

BALOTA, E. L. **Manejo e Qualidade Biológica do Solo**. (1ª ed.). Londrina: Mecenias, 2017. 287 p.

BALOTA, E. L.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 641-650, 1998.

BARAN, A.; ZALESKI, T.; KULIKOWSKI, E.; WIECZOREK, J. Hydrophysical and biological properties of sandy substrata enriched with hydrogel. **Polish Journal of Environmental Studies**, [s.l.], v. 24, n. 6, p. 2355-2362, 2015.

BENEVIDES, D. S.; CARVALHO, F. G. Levantamento da flora apícola presente em áreas de Caatinga do município de Caraúbas- RN. **Sociedade e Território**, Natal, v. 21, n. 1-2, p. 44-54, 2009.

BEN-HUR, M. Using synthetic polymers as soil conditioners to control runoff and soil loss in arid and semi-arid regions-a review. **Soil Research**, [s.l.], v. 44, n. 3, p. 191-204, 2006.

BEN-HUR, M.; KEREN, R. Polymer effects on water infiltration and soil aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 2, p. 565-570, 1997.

- BERNARDINO, D. C. S.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; MARQUES, V. B. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do substrato. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 863-870, 2005.
- BERTOL, I.; VÁZQUEZ, E. V.; GONZÁLEZ, A. P.; COGO, N. P.; LUCIANO, R. V.; FABIAN, E. L. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 245-252, 2010.
- BHARDWAJ, A.K.; SHAINBERG, I.; GOLDSTEIN, D.; WARRINGTON, D. N.; LEVY, G. J. Water retention and hydraulic conductivity of cross-linked polyacrylamides in sandy soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, n. 2, p. 406-412, 2007.
- BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D. C.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 457-464, 2010.
- BIRTHAL, P. S.; NEGI, D. S.; KHAN, M. T.; AGARWAL, S. Is Indian Agriculture becoming resilient to droughts? Evidence from rice production systems. **Food Policy**, [s.l.], v. 56, p. 1-12, 2015.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, pt. 1, p. 363-375, 1986b. (Agronomy Monography, 9).
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, pt. 1, p. 377-382, 1986a. (Agronomy Monography, 9).
- BÖRJESSON, G.; MENICHETTI, L.; KIRCHMANN, H; KÄTTERER, T. Soil microbial community structure affected by 53 years of nitrogen fertilization and different organic amendments. **Biology and Fertility of Soils**, [s.l.], v. 48, p. 245-257, 2012.
- BOWMAN, D. C.; EVANS, R. Y.; PAUL, J. L. Fertilizer salts reduce hydration of Polyacrylamide gels and affect physical properteis of gel - amended container media. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, [s.l.], v. 115, n. 3, p. 382-386, 1990.
- BOX, G. E. P.; COX, D. R. An Analysis of Transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964.
- BRASIL. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO 2004. **Levantamento dos remanescentes da cobertura vegetal dos biomas brasileiros**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2004, 19 p.
- BRASILEIRO DE POLÍMEROS (CBPol), 9., 2007, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande, 2007.
- BRASIL. Resolução nº 115, de 23 de novembro de 2017. Aprova a Proposição nº 113/2017, que acrescenta municípios a relação aprovada pela Resolução CONDEL nº 107, e 27 de julho

de 2017. **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, Brasília, DF, 05 dez. 2017. Seção 1, p. 32. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=downloads>. Acesso em: 26 ago. 2019.

BREEN, C. The characterisation and use of polycation-exchanged bentonites. **Applied Clay Science**, [s.l.], v. 15, n. 1-2, p. 187-219, 1999.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Total nitrogen. In: PAGE, A. L. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 595-624.

BRES, W.; WESTON, L. A. Influence of gel additives on nitrate, ammonium, and water retention and tomato growth in a soilless medium. **Hortscience**, [s.l.], v. 28, n. 10, p. 1005-1007, 1993.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.

BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, [s.l.], v. 14, n. 4, p. 319-329, 1982.

BROWN, L.; RHEAD, M. M.; HILL, D.; BANCROFT, K. C. C. Qualitative and quantitative studies on the in situ adsorption, degradation, and toxicity of acrylamide by the spiking of the waters of two sewage works and a river. **Water Resource**, [s.l.], v. 16, n. 5, p. 579-591, 1982.

BUSSCHER, W. J.; NOVAK, J. M.; CAESAR-TONTHAT, T. C. Organic matter and polyacrylamide amendment of Norfolk loamy sand. **Soil and Tillage Research**, [s.l.], v. 93, n. 1, p. 171-178, 2007.

CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agraria**, Paraná, v. 9, n. 1, p. 27-33, 2008.

CAO, Y.; WANG, B.; GUO, H.; XIAO, H.; WEI, T. The effect of super absorbent polymers on soil and water conservation on the terraces of the loess plateau. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 102, p. 270-279, 2017.

CASTRO, S. S. Impregnação de amostras de solo para confecção de lâmina delgada. **Boletim Informativo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 10-44, 1985.

CAULFIELD, M. J.; HAO, X. J.; QIAO, G. G.; SOLOMON, D. H. Degradation on polyacrylamides. Part I. Linear polyacrylamide. **Polymer**, [s.l.], v. 44, n. 5, p. 1331-1337, 2003.

CAVIGELLI, A. C.; ROBERTSON, P. G.; KLUG M. J. Fatty acid methyl ester (FAME) profiles as measure of soil microbial community structure. **Plant Soil**, [s.l.], v. 170, p. 99-113, 1995.

CESANO, D.; BURNEY, J.; RUSSEL, J. M.; ROVERE, E. L. L.; OBERMAIER, M.;

CORRAL, T.; SILVA, L. S.; COELHO, N. S.; NEVES, C. G. Mudanças climáticas no semiárido da Bahia e estratégias de adaptação da coalizão Adapta Sertão para a agricultura familiar. **Inclusão Social**, Brasília, v.6, n.1, p. 88-104, 2012.

CHAN, K. Y.; SIVAPALAN, S. Amelioration of a degraded harstetting soil using an anionic polymeric conditioner. **Soil Technology**, [s.l.], v. 9, n. 1-2, p. 91-100, 1996.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 4, p. 557-562, 1997.

CHEN, J.; FERRIS, H.; SCOW, K. M.; GRAHAM, K. J. Fatty acid composition and dynamics of selected fungal-feeding nematodes and fungi. **Comparative Biochemistry and Physiology**, [s.l.], v. 130, n. 2, p. 135-144, 2001.

CHEN, X.; MAO, X.; LU, Q.; LIAO, Z.; HE, Z. Characteristics and mechanisms of acrylate polymer damage to maize seedlings. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s.l.], v. 129, p. 228-234, 2016.

CHENG, F.; PENG, X.; ZHAO, P.; YUAN, J.; ZHONG, C.; CHENG, Y.; ZHANG, S. Soil microbial biomass, basal respiration and enzyme activity of main forest types in the Qinling Mountains. **PLoS One**, [s.l.], v. 8, n. 6, e67353, 2013.

COELHO, J. B. M.; BARROS, M. DE F. C.; CORREA, M. M.; WANDERLEY, R. A.; COELHO JÚNIOR, J. M.; FIGUEREDO, J. L. C. Efeito do polímero hidratassolo sobre propriedades físico-hídricas de três solos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 3, p. 253- 259, 2008.

CORREIA, K. G.; ARAÚJO FILHO, R. N.; MENEZES, R. S. C.; SOUTO, J. S.; FERNANDES, P. D. Atividade microbiana e matéria orgânica leve em áreas de Caatinga de diferentes estágios sucessionais no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 196-202, 2015.

CROLL, B. T.; ARKELL, B. M.; HODGE, R. P. J. Residues of acrylamide in water. **Water Resource**, [s.l.], v. 8, n. 11, p. 989-993, 1974.

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, M. S. L.; ALVAREZ, I. A. Principais solos do Semiárido Tropical brasileiro: caracterização potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2010. p. 49-89.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, pt. 1, p. 443-461, 1986. (Agronomy Monography, 9).

DE BOODT, M. F. Soil conditioning, a modern procedure for restoring physical soil degradation. **Pedologie**, v. 43, n. 1, p. 157-195, 1993.

DENEF, K., SIX, J., BOSSUYT, H., FREY, S. D., ELLIOTT, E. T., MERCKX, R.,

PAUSTIAN, K. Influence of dry – wet cycles on the interrelation ship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, [s.l.], v. 33, n. 12-13, p. 1599-1611, 2001.

DENG, Y.; DIXON, J. B.; WHITE, G. N. Adsorption of polyacrylamide on smectite, illite, and kaolinite. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, n. 1, p. 297-304, 2006.

DI RIENZO, J. A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M. G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C. W. **InfoStat (version 2018)**. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba, 2018.

DICKINSON, E.; ERIKSSON, L. Particle flocculation by adsorbed polymers. **Advances in Colloid and Interface Science**, [s.l.], v. 34, p. 1-29, 1991.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forest Chronicle**, Mattawa, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, R. M. O.; TOMCZAK, V. E.; PINTO, J. R. DE S.; FARIAS, R. M. Ecophysiology of water stressed *Handroanthus impetiginosus* (Mart. Ex. DC) Mattos Seedlings. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 155-163, 2014.

DORKOOSH, F. A.; BRUSSEE, J.; VERHOEF, J.C.; BORCHARD, G.; RAFIEE-TEHRANI, M.; JUNGINGER, H. E. Preparation and NMR characterization of superporous hydrogels (SPH) and SPH composites. **Polymer**, [s.l.], v. 41, n. 23, p. 8213-8220, 2000.

DOU, C. Y.; LI, F. H.; WU, L. S. Soil erosion as affected by polyacrylamide application under simulated furrow irrigation with saline water. **Pedosphere**, [s.l.], v. 22, n. 5, p. 681-688, 2012.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo van Genuchten. **Soil Water Retention Curve - SWRC** (version 3.0 beta). Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2001.

EKEBAFE, L. O.; OGBEIFUN, D. E.; OKIEIMEN, F. E. Polymer applications in agriculture. **Biokemistri**, [s.l.], v. 23, n. 2, p. 81-89, 2011.

EL-HADY, O. A.; ABD EL-KADER, A. A. Physico-bio-chemical properties of sandy soil conditioned with acrylamide hydrogels after cucumber plantation. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, [s.l.], v. 3, n. 4, p. 3145-3151, 2009.

EL-HADY, O. A.; WANAS, S. A. Water and fertilizer use efficiency by cucumber grown under stress on sandy soil treated with acrylamide hydrogels. **Journal of Applied Sciences Research**, [s.l.], v. 2, n. 12, p. 1293-1297, 2006.

ENTRY, J. A.; SOJKA, R. E. The efficacy of polyacrylamide and related compounds to remove microorganisms and nutrients from animal wastewater. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 29, n. 6, p. 1905-1914, 2000.

- FARIAS, C. A. F.; RIOS, M. L.; ROCHA, A. A. Uso da terra e degradação ambiental nas subbacia do Riacho do Quirino - Caculé, BA. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 215-233, 2013.
- FEDERLE, T. W. Microbial distribution in soil-new techniques. *In*: MEGUSAR, F.; GANTAR, M. (Eds.). **Perspective in Microbial Ecology**, p. 493-498, 1986. Slovene Society for Microbiology, Ljubljana.
- FENG, Y.; MOTTA, A. C.; REEVES, D. W.; BURMESTER, C. H.; VAN SANTEN, E.; OSBORNE, J. A. Soil microbial communities under conventional till and no-till continuous cotton systems. **Soil Biology and Biochemistry**, [s.l.], v. 35, n. 12, p. 1693-1703, 2003.
- FERRARI, A. E.; RAVNSKOV, S.; TØNNERSEN, T.; MARONNA, R. A.; WALL, L. G. Crop rotation and seasonal effects on fatty acid profiles of neutral and phospholipids extracted from no-till agricultural soils. **Soil Use and Management**, [s.l.], v. 31, n. 1, p. 165-175, 2015.
- FERRARI, A. E.; WALL, L. G. Analysis of Soil Lipids for Studies of Microbial Communities. **Scientia Ricerca: Innovative Techniques in Agriculture**, Godoy Cruz, v. 6, p. 262-266, 2017.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2013.
- FLANAGAN, D. C., CANADY, N. H. Use of polyacrylamide in simulated land application of lagoon effluent: part II. Nutrient loss. **Transactions of the ASABE**, Niles Road, v. 49, n. 5, p. 1371-1381, 2006.
- FONTAINE, S.; MARIOTTI, A.; ABBADIE, L. The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? **Soil Biology and Biogeochemistry**, [s.l.], v. 35, n. 6, p. 837-843, 2003.
- FONTENO, W. C.; BILDERBACK, T. E. Impact of hydrogel on physical properties of coarse-structured horticultural substrates. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, [s.l.], v. 118, n. 2, p. 217-222, 1993.
- FROSTEGÅRD, Å.; BÅÅTH, E. The use of phospholipid fatty acid analysis to estimate bacterial and fungal biomass in soil. **Biology and Fertility of Soils**, [s.l.], v. 22, p. 59-65, 1996.
- FROSTEGÅRD, Å.; BÅÅTH, E.; TUNLID, A. Shifts in the structure of soil microbial communities in limed forests as revealed by phospholipid fatty acid analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, [s.l.], v. 25, n. 6, p. 723-730, 1993a.
- FROSTEGÅRD, Å.; TUNLID, A.; BÅÅTH, E. Phospholipid fatty acid composition, biomass and activity of microbial communities from two soil types experimentally exposed to different heavy metals. **Applied and Environmental Microbiology**, [s.l.], v. 59, p. 3605-3617. 1993b.

FROSTEGÅRD, Å.; TUNLID, A.; BÅÅTH, E. Changes in microbial community structure during long-term incubation in two soils experimentally contaminated with metals. **Soil Biology and Biochemistry**, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 55-63, 1996.

FROSTEGÅRD, Å.; TUNLID, A.; BÅÅTH, E. Use and misuse of PLFA measurements in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, [s.l.], v. 43, n. 8, 1621-1625, 2011.

GALEŞ, D. C.; TRINCĂ, L. C.; CAZACU, A.; PEPTU, C. A.; JITĂREANU, G. Effects of a hydrogel on the cambic chernozem soil's hydrophysic indicators and plant morphophysiological parameters. **Geoderma**, Amsterdam, v. 267, p. 102-111, 2016.

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

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. *In*: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, p. 383-411, 1986. (Agronomy Monography, 9).

GHINI, R.; FREITAS, S. S.; OLIVEIRA, A. R. Amostragem de solo para análises biológicas. *In*: FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. [Orgs]. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental**: Solo, água e sedimentos. Jaguariúna, v. 1, p. 57-79, 2006.

GIBAS, I.; JANIK, H. Review: synthetic polymer hydrogels for biomedical applications. **Chemistry and Chemical Technology**, Lviv, v. 4, n. 4, p. 297-304, 2010.

GLASGOW, L. A., HSU, J. P. An experimental study of floc strength. **American Institute Chemical Engineering Journal**, New York, v. 28, n. 5, p. 779-785, 1982.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 113-127, 2003.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. P. **Viveiros Florestais** (propagação sexuada). 1 ed. Viçosa: UFRV, 2004, 116 p.

GRAHAM, J. H.; HODGE, N. C.; MORTON, J. B. Fatty acid methyl ester profiles for characterization of Glomalean fungi and their endomycorrhizae. **Applied and Environmental Microbiology**, [s.l.], v. 61, p. 58-64, 1995.

GREEN, V. S.; STOTT, D. E.; GRAVEEL, J. G.; NORTON, L. D. Stability analysis of soil aggregates treated with anionic polyacrylamides of different molecular formulations. **Soil Science**, Philadelphia, v. 169, n. 8, p. 573-581, 2004.

GRIGERA, M. S.; DRIJBER, R. A.; SHORES-MORROW, R. H.; WIENHOLD, B. J. Distribution of the arbuscular mycorrhizal biomarker C16:1cis11 among neutral, glycol and phospholipids extracted from soil during the reproductive growth of corn. **Soil Biology and Biochemistry**, [s.l.], v. 39, n. 7, p. 1589-1596, 2007.

- GRULA, M. M.; HUANG, M. L.; SEWELL, G. Interactions of certain polyacrylamides with soil bacteria. **Soil Science**, Philadelphia, v. 158, n. 6, p. 291-300, 1994.
- GRYNDLER, M.; LARSEN, J.; HRSELOVÁ, H.; REZÁCOVÁ, V.; GRYNDLEROVÁ, H.; KUBÁT, J. Growth of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi and other microorganisms in field soil as affected by long term mineral and organic fertilization. **Mycorrhiza**, [s.l.], v. 16, p. 159-166, 2006.
- GUILHERME, M. R.; AOUADA, F. A.; FAJARDO, A. R.; MARTINS, A. F.; PAULINO, A. T.; DAVI, M. F. T.; RUBIRA, A. F.; MUNIZ, E. C. Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review. **European Polymer Journal**, [s.l.], v. 72, p. 365-385, 2015.
- GUIMARÃES, G. P.; ANDRADE, K. C.; MENDONÇA, E. S. Erosão hídrica e compartimentos da matéria orgânica do solo em sistemas cafeeiros conservacionistas e convencionais. **Coffee Science**, Viçosa, v. 10, n. 3, p. 365-374, 2015.
- HAN, Y. G.; YANG, P. L.; XU, L. Experimental studies on increase of yield and soil moisture of fruit tree by using superabsorbent polymers. **Scientia agricultura Sinica**, [s.l.], v. 38, p. 2486-2491, 2005.
- HANSON, P. J.; EDWARDS, N. T.; GARTEN, C. T.; ANDREWS, A. J. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. **Biogeochemistry**, [s.l.], v. 48, n. 1, p. 115-146, 2000.
- HART, P. B. S.; AUGUST, J. A.; WEST, A. W. Long-term consequences of topsoil mining on select biological and physical characteristics of two New Zealand loessial soils under grazed pasture. **Land Degradation**, [s.l.], v. 1, n. 2, p. 77-88, 1989.
- HARWOOD, J. L.; RUSSELL, N. J. **Lipids in plants and microbes**. G. Allen, London. 1984.
- HAVEROENA, M. E.; MACKINNONB, M. D.; FEDORAK, P. M. Polyacrylamide added as a nitrogen source stimulates methanogenesis in consortia from various wastewaters. **Water Research**, [s.l.], v. 39, n. 14, p. 3333-3341, 2005.
- HAYASHI, T.; NISHIMURA, H.; SKANO, K.; TANI, T. Microbial degradation of poly (sodium acrylate). **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, [s.l.], v. 58, n. 2, p. 444-446, 1994.
- HAYAT, R.; ALI, S. Water absorption by synthetic polymer (Aquasorb) and its effect on soil properties and tomato yield. **International Journal of Agriculture and Biology**, [s.l.], v. 6, n. 6, p. 998-1002, 2004.
- HEDRICK, D. B.; PEACOCK, A.; WHITE, D. C. Interpretation of fatty acid profiles of soil microorganisms. In: MARGESIN, R.; SCHINNER, F. (eds) **Manual of soil analysis—Monitoring and assessing soil bioremediation**. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p. 251-259, 2010.

HELALIA, A. M.; EL-AMIR, S.; SHAWKY, M. E. Effect of Acryhope and Aquastore polymers on water regime and porosity in sandy soil. **International Agrophysics**, [s.l.], v. 6, p. 19-25, 1992.

HENNINK, W. F.; VAN NOSTRUM, C. F. Novel crosslinking methods to design hydrogels. **Advanced Drug Delivery Reviews**, [s.l.], v. 54, p. 13-36, 2012.

HENRÍQUEZ, M.; RODRÍGUEZ, O.; MONTERO, F.; HERNÁNDEZ, A. Efecto de acondicionadores naturales y sintéticos sobre los cationes solubles y la infiltración del agua en un Aridisol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 311-316, 2003.

HOFFMAN, A. S. Hydrogels for biomedical applications. **Advanced Drug Delivery Reviews**, [s.l.], v. 64, p. 18-23, 2012.

HOFFMAN, A. S. Hydrogels for biomedical applications. **Advanced Drug Delivery Reviews**, [s.l.], v. 54, p. 3-12, 2002.

HOGBERG, M. N.; BLASKO, R.; HOLM BACH, L.; HASSELQUIST, N. J.; EGNELL, G.; NASHOLM, T.; HOGBERG, P. The return of an experimentally N-saturated boreal forest to an N-limited state: observations on the soil microbial community structure, biotic N retention capacity and gross N mineralization. **Plant and Soil**, [s.l.], v. 381, n. 1-2, p. 45-60, 2014.

HOGBERG, M. N.; BRIONES, J. I.; KEEL, S. G.; METCALFE, D. B.; CAMPBELL, C.; MIDWOOD, A. J.; THORNTON, B.; HURRY, V.; LINDER, S.; NASHOLM, T.; HOGBERG, P. Quantification of effects of season and nitrogen supply on tree below-ground carbon transfer to ectomycorrhizal fungi and other soil organisms in a boreal pine forest. **New Phytologist**, [s.l.], v. 187, n. 2, p. 485-493, 2010.

HOLLIMAN, P. J.; CLARK, J. A.; WILLIAMSON, J. C.; JONES, D. L. Model and field studies of the degradation of cross-linked polyacrylamide gels used during the revegetation of slate waste. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 336, n. 1-3, p. 13-24, 2005.

HU, X.; LIU, L.; LI, S.; CAI, Q.; LU, Y.; GUO, J. Development of Soil Crusts Under Simulated Rainfall and Crust Formation on a Loess Soil as Influenced by Polyacrylamide. **Pedosphere**, [s.l.], v. 22, n. 3, p. 415-424, 2012.

HUSSIEN, R. A.; DONIA, A. M.; ATIA, A. A.; EL-SEDFY, O. F.; ABD EL-HAMID, A. R.; RASHAD, R. T. Studying some hydro-physical properties of two soils amended with kaolinite-modified cross-linked poly-acrylamides. **Catena**, [s.l.], v. 92, p. 172-178, 2012.

HÜTTERMANN, A.; ORIKIRIZA, L. J. B.; AGABA, H. Application of superabsorbent polymers for improving the ecological chemistry of degraded or polluted lands. **Clean – Soil, Air, Water**, [s.l.], v. 37, n. 7, p. 517-526, 2009.

HÜTTERMANN, A.; ZOMMORODI, M.; REISE, K. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought. **Soil Tillage Research**, [s.l.], v. 50, n. 3-4, p. 295-304, 1999.

IBEKWE, A. M.; KENNEDY, A. C. Fatty acid methyl ester (FAME) profiles as a tool to investigate community structure of two agricultural soils. **Plant and Soil**, [s.l.], v. 206, p.

151-161, 1999.

JACOMINE, P. K. T. Caracterização do estágio atual dos solos sob caatinga. *In: ARAÚJO, Q. R. (Org.). 500 anos de uso do solo no Brasil*. Ilhéus, BA: Editus, 2002, p. 365-398.

JANSSENS, I. A.; DIELEMAN, W.; LUYSSAERT, S.; SUBKE, J. A.; REICHSTEIN, M.; CEULEMANS, R.; CIAIS, P.; DOLMAN, A. J.; GRACE, J.; MATTEUCCI, G.; PAPALE, D.; PIAO, S. L.; SCHULZE, E. D.; TANG, J.; LAW, B. E. Reduction in forest soil respiration in response to nitrogen deposition. *Nature Geoscience*, [s.l.], v. 3, p. 315-322, 2010.

JHURRY, D. Agricultural Polymers. AMAS. **Food and Agricultural Research**, Réduit, Mauritius, p.109-113, 1997.

JIANG, T.; TENG, L.; WEI, S.; DENG, L.; LUO, Z.; CHEN, Y.; FLANAGAN, D. C. Application of polyacrylamide to reduce phosphorus losses from a Chinese purple soil: A laboratory and field investigation. *Journal of Environmental Management*, [s.l.], v. 91, n. 7, p. 1437-1445, 2010

JOHANSEN, A.; FINLAY, R.D.; OLSSON, P.A. Nitrogen metabolism of external hyphae of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *New Phytologist*, [s.l.], v. 133, n. 4, p. 705-712, 1997.

JOHNSON, M. S. Effect of soluble salts on water absorption by gel-forming soil conditioners. *Journal Science Food Agriculture*, [s.l.], v. 35, n. 10, p. 1063-1066, 1984.

KAEWPIROM, S.; BOONSANG, S. Electrical response characterization of poly (ethylene glycol) macromer (PEGM)/chitosan hydrogels in NaCl solution. *European Polymer Journal*, [s.l.], v. 42, n. 7, p.1609-1616, 2006.

KARIMI, A.; NOSHADI, M.; AHMADZADEH, M. Effects of superabsorbent polymer (Igeta) on crop, soil water and irrigation interval. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, [s.l.], v. 12, n. 46, p. 415-420, 2009.

KASTOVSKÁ, K.; STIBAL, M.; SABACKÁ, M.; CERNÁ, B.; SANTRUCKOVÁ, H.; ELSTER, J. Microbial community structure and ecology of subglacial sediments in two polythermal Svalbard glaciers characterized by epifluorescence microscopy and PLFA. *Polar Biology*, [s.l.], v. 30, n. 3, p. 277-287, 2007.

KAY-SHOEMAKE, J. L.; WATWOOD, M. E.; KILPATRICK, L.; HARRIS, K. Exchangeable ammonium and nitrate from different nitrogen fertilizer preparations in polyacrylamide treated and untreated agricultural soils. *Biology and Fertility of Soils*, [s.l.], v. 31, n. 3-4, p. 245-248, 2000a.

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

KAY-SHOEMAKE, J. L.; WATWOOD, M. E.; LENTZ, R. D.; SOJKA, R. E. Polyacrylamide as a substrate for microbial amidase. *Soil Biology and Biochemistry*, [s.l.], v. 30, n. 13, p.

1647-1654, 1998b.

KAY-SHOEMAKE, J. L.; WATWOOD, M. E.; SOJKA, R. E.; LENTZ, R. D. Soil amidase activity in polyacrylamide-treated soils and potential activity toward common amide containing pesticides. **Biology and Fertility of Soils**, [s.l.], v. 31, n. 2, p. 183-186, 2000b.

KAZANSKII, K. S.; DUBROVSKII, S. A. Chemistry and physics of "agricultural" hydrogels. **Advances in Polymer Science**, [s.l.], v. 104, p. 98-133, 1992.

KIRK, J. L.; BEAUDETTE, L. A.; HART, M.; MOUTOGLIS, P.; KLIRONOMOS, J. N.; LEE, H.; TREVORS, J. T. Methods of studying soil microbial diversity: Review. **Journal of Microbiological Methods**, [s.l.], v. 58, n. 2, p. 169-188, 2004.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. (ed.) Methods of soil analysis. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, 1986. pt. 1, p. 635-662. (Agronomy Monography, 9).

KNUDSON, S. K.; NOID, D. W.; SUMPTER, B. G. Dynamics of charged polymers. **Macromolecules**, [s.l.], v. 25, p. 331-336, 1992.

KOPACEK, J.; COSBY, B. J.; EVANS, C. D.; HRUSKA, J.; MOLDAN, F.; OULEHLE, F.; SANTRUCKOVA, H.; TAHOVSKA, K.; WRIGHT, R. F. Nitrogen, organic carbon and sulphur cycling in terrestrial ecosystems: linking nitrogen saturation to carbon limitation of soil microbial processes. **Biogeochemistry**, [s.l.], v. 115, n. 1-3, p. 33-51, 2013.

KROPPESTEDT, R. M. Fatty acid and menaquinone analysis of actinomycetes and related organisms. In: GOODFELLOW, M.; MINNIKIN, D. E. (Eds) **Chemical methods in bacterial systematic**. SAB technical series, Academic, London, p. 173-199, 1985.

KUMAR, A.; KUMAR, A. Isolation of *Pseudomonas aeruginosa* strain capable of degrading acrylamide. **Journal Microbiology Biotechnology**, [s.l.], v. 8, n. 4, p. 347-352, 1998.

LAIRD, D. A. Bonding between polyacrylamide and clay mineral surfaces. **Soil Science**, Philadelphia, v. 162, n. 11, p. 826-832, 1997.

LANDE, S. S.; BOSCH, S. J.; HOWARD, P. H. Degradation and leaching of acrylamide in soil. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 8, n. 1, p. 133-137, 1979.

LARSEN, J. & BØDKER, L. Interactions between pea root inhibiting fungi examined using signature fatty acids. **New Phytologist**, [s.l.], v. 149, n. 3, p. 487-493, 2001.

LARSEN, J.; OLSSON, P. A.; JAKOBSEN, I. The use of fatty acid signatures to study mycelial interactions between the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and the saprotrophic fungus *Fusarium culmorum* in root-free soil. **Mycological Research**, Cambridge, v. 102, n. 12, p. 1491-1496, 1998.

LECHEVALIER, H.; LECHEVALIER, M. P. Chemotaxonomic use of lipid- an overview. In: RATLEDGE, C.; WILKINSON, S. G. (Eds) **Microbial lipids**. Academic, New York, NY., p. 869-902. 1988.

- LECIEJEWSKI, P. The effect of hydrogel additives on the water retention curve of sandy soil from forest nursery in Julinek. **Journal of Water and Land Development**, [s.l.], v. 13a, p. 239-247, 2009.
- LEITE, M. de S.; FREITAS, R. M. O.; LEITE, T. de S.; DOMBROSKI, J. L. D.; SANTOS JUNIOR, J. H. Growth and morphological responses of *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos seedlings to nitrogen fertilization. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 33, n. 1, p. 88-94, 2017.
- LEJCUŚ, K.; ŚPITALNIAK, M.; DĄBROWSKA, J. Swelling behavior of superabsorbent polymers for soil amendment under different loads. **Polymers**, [s.l.], v. 10, n. 3, p. 271-284, 2018.
- LENTZ, R. D.; SOJKA, R. E.; ROBBINS C. W. Reducing phosphorus losses from surface-irrigated fields: emerging polyacrylamide technology. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 27, n. 2, p. 305-312, 1998.
- LENTZ, R. D.; SOJKA, R. E.; ROBBINS, C. W.; KINCAID, D. C.; WESTERMANN, D. T. Polyacrylamide for surface irrigation to increase nutrient-use efficiency and protect water quality. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [s.l.], v. 32, n. 7-8, p. 1203-1220, 2001.
- LETEY, J.; CLARK, P. R.; AMRHEIN, C. Water-sorbing polymers do not conserve water. **California Agriculture**, California, v. 46, p. 9-10, 1992.
- 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**, [s.l.], v. 33, n. 6, p. 1007-1018, 1995.
- LEVY, G. J.; MILLER, W. P. Polyacrylamide adsorption and aggregate stability. **Soil and Tillage Research**, [s.l.], v. 51, n. 1-2, p. 121-128, 1999.
- LILLESKOV, E. A.; FAHYE, T. J.; HORTON, T. R.; LOVETT, G. M. Belowground ectomycorrhizal fungal community change over a nitrogen deposition gradient in Alaska. **Ecology**, [s.l.], v. 83, n. 1, p. 104-115, 2002.
- LI, X.; HE, J. Z.; LIU, Y. R.; ZHENG, Y. M. Effects of super absorbent polymers on soil microbial properties and Chinese cabbage (*Brassica chinensis*) growth. **Journal Soils Sediments**, [s.l.], v. 13, n.4, p. 711-719, 2013.
- LIANG, R.; LIU, M.; WU, L. Controlled release NPK compound fertilizer with the function of water retention. **Reactive and Functional Polymers**, [s.l.], v. 67, n. 9, p. 769-779, 2007.
- LINN, D.; DORAN, J. Aerobic and anaerobic microbial populations in no-till and plowed soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 4, p. 1-6, 1984.
- LIRA, R. B.; MARACAJÁ, P. B.; MIRANDA, M. A. S.; SOUSA, D. D.; MELO, S. B.; AMORIM, L. B. Estudo da composição florística arbóreo-arbustivo na floresta nacional de Açú no semiárido do RN Brasil. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 23-30, 2007.

LIU, M.; LIANG, R.; ZHAN, F.; LIU, Z.; NIU, A. Preparation of superabsorbent slow release nitrogen fertilizer by inverse suspension polymerization. **Polymer International**, [s.l.], v. 56, n. 6, p. 729-737, 2007.

LIU, M.; LIANG, R.; ZHAN, F.; LIU, Z.; NIU, A. Synthesis of a slow-release and superabsorbent nitrogen fertilizer and its properties. **Polymers for Advanced Technologies**, [s.l.], v. 17, n. 6, p. 430-438, 2006.

LIU, Z. X.; MIAO, Y. G.; WANG, Z. Y.; YIN, G. H. Synthesis and characterization of a novel super-absorbent based on chemical modified pulverized wheat straw and acrylic acid. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 77, n. 1, p. 131-135, 2009.

MACEDO, M. C.; ROSA, Y. B. C. J.; ROSA JUNIOR, E. J.; SCALON, S. DE P. Q.; TATARA, M. B. Produção de mudas de ipê-branco em diferentes substratos. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 95-102, 2011.

MAGHCHICHE, A.; HAOUAM, A.; IMMIRZI, B. Use of polymers and biopolymers for water retaining and soil stabilization in arid and semiarid regions. **Journal of Taibah University for Science**, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 9-16, 2010.

MAHLER, H. R.; CORDES, E. H. **Biological Chemistry**. 2. ed. New York: Harper and Row, 1971.

MAI, C.; SCHORMANN, W.; MAJCHERCZYK, A.; HÜTTERMANN, A. Degradation of acrylic copolymers by white-rot fungi. **Applied Microbiology and Biotechnology**, [s.l.], v. 65, n. 4, p. 479-487, 2004.

MAIA, N. G. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: Editora Leitura & Arte, 2004. 413 p.

MALAVOLTA, E. **Manual da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica. Ceres, 2006.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS-Associação Brasileira para a Pesquisa da Avaliação da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MALLORY, J. J.; MOHTAR, R. H.; HEATHMAN, G. C.; SCHULZE, D. G.; BRAUDEAU, E. Evaluating the effect of tillage on soil structural properties using the pedostructure concept. **Geoderma**, Amsterdam, v. 163, n. 3-4, p. 141-149, 2011.

MAMEDOV, A. I.; HUANG, C.; ALIEV, F. A.; LEVY, G. J. Aggregate stability and water retention near saturation characteristics as affected by soil texture, aggregate size and polyacrylamide application. **Land Degradation & Development**, [s.l.], v. 28, n. 2, p. 543-552, 2017.

MAMEDOV, A. I.; SHAINBERG, I.; WAGNER, L. E.; WARRINGTON, D. N.; LEVY, G. J. Infiltration and erosion in soils treated with dry PAM of two molecular weights and phosphogypsum. **Australian Journal of Soil Research**, [s.l.], v. 47, n. 8, p. 788-795, 2009.

MAMEDOV, A. I.; WAGNER, L. E.; HUANG, C.; NORTON, L. D.; LEVY, G. J. Polyacrylamide effects on aggregate and structure stability of soils with different clay mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, n. 5, p. 1720-1732, 2010.

MARANDI, G. B.; HARIRIA, S.; REZAMAHDAVINIAC, G. Effect of Hydrophobic Monomer on the Synthesis and Swelling Behaviour of a Collagen-GraftPoly[(Acrylic Acid)-Co-(Sodium Acrylate)] Hydrogel. **Journal of the Society of Chemical Industry**, [s.l.], v. 58, n. 2, p. 227-235, 2008.

MBUTHIA, L. W.; ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; DEBRUYN, J.; SCHAEFFER, S.; TYLER, D.; ODOI, E.; MPHESHEA, M.; WALKER, F.; EASH, N. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, [s.l.], v. 89, n.1, p. 24-34, 2015.

MCLAUGHLIN, R. A.; BARTHOLOMEW, N. Soil factors influencing suspended sediment flocculation by polyacrylamide. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, n. 2, p. 537-544, 2007.

MELO, D. V. M.; ALMEIDA, B. G.; SOUZA, E. R.; SILVA, L. S.; JACOMINE, P. K. T. Structural quality of polyacrylamide-treated cohesive soils in the coastal tablelands of Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 476-485, 2014.

MEWS, C. L.; SOUSA, J. R. L.; AZEVEDO, G. T. DE O. S.; SOUZA, A. M. Efeito do hidrogel e ureia na produção de mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 107-116, 2015.

MIDI. Sherlock[®] analysis user's manual. Version 6.0. Newark: MIDI, 2005. 165p.

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

MINSK, L. M.; KENYON, W. O.; VAN CAMPEN, J. H. **Process of polymerizing acrylamide**. US Patent US2,486,191, Eastman Kodak, Co, Rochester, NY. 1949.

MONTECCHIA, M. S.; CORREA, O. S.; SORIA, M. A.; FREY, S. D.; GARCIA, A. F. Multivariate approach to characterizing soil microbial communities in pristine and agricultural sites in northwest Argentina. **Applied Soil Ecology**, [s.l.], v. 47, n. 3, p. 176-183, 2011.

MONTESANO, F. F.; PARENTE, A.; SANTAMARIA, P.; SANNINO, A.; SERIO, F. Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, [s.l.], v. 4, p. 451-458, 2015.

MOORHEAD, D. L.; SINSABAUGH, R. L. A theoretical model of litter decay and microbial interaction. **Ecological Monographs**, [s.l.], v. 76, n. 2, p. 151-174, 2006.

MOTA, F. O. B.; OLIVEIRA, J. B.; GEBHARDT, H. Mineralogia de um Argissolo Vermelho-amarelo eutrófico e de um Planossolo Háplico eutrófico solódico numa topossequência de gnaiss no sertão central do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 607-618, 2002.

MULLINS G. L.; SIKORA, F. J. Effect soil pH on the requirement for water-soluble phosphorus in triple superphosphates fertilizers. **Fertilizer Research**, [s.l.], v. 40, n. 3, p. 207-214, 1995.

MURPHY, C. P. Thin section preparation of soils and sediments. **A. B. Academic Publishers**. Berkhamsted, 1986. 149 p.

NAKAMIYA, K.; KINOSHITA, S. Isolation of Polyacrylamide-Degrading Bacteria. **Journal of Fermentation and Bioengineering**, [s.l.], v. 80, n. 4, p. 418-420, 1995.

NASCIMENTO, Í. V.; ALENCAR, T. L.; SANTOS, C. L. A.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Effect of sample re-saturation on soil-water characteristic curve. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 2, p. 446-454, 2018.

NARJARY, B. P.; AGGARWAL, A.; SINGH, D. CHAKRABORTY; R. SINGH. Water availability in different soils in relation to hydrogel application. **Geoderma**, Amsterdam, v. 187-188, p. 94-101, 2012.

NARJARY, B.; AGGARWAL, P. Evaluation of Soil Physical Quality under Amendments and Hydrogel Applications in a Soybean–Wheat Cropping System. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [s.l.], v. 45, n. 9, p. 1167-1180, 2014.

NASSER, M. S.; JAMES, A. E. Effect of polyacrylamide polymers on floc size and rheological behavior of kaolinite suspensions. **Colloids and Surfaces A:Physicochemical and Engineering Aspects**, [s.l.], v. 301, n. 1-3, p. 311-322, 2007.

NASSER, M. S.; JAMES, A. E. The effect of polyacrylamide charge density and molecular weight on the flocculation and sedimentation behaviour of kaolinite suspensions. **Separation and Purification Technology**, [s.l.], v. 52, n. 2, p. 241-252. 2006.

NILSSON, L. O.; WALLANDER, H. Production of external mycelium by ectomycorrhizal fungi in a Norway spruce forest was reduced in response to nitrogen fertilization. **New Phytologist**, [s.l.], v. 158, n. 2, p. 409-416, 2003.

ODUM, E. P. The Strategy of Ecosystem Development. **Science**, [s.l.], v. 164, p. 262–270, 1969.

OKSIŃSKA, M. P.; MAGNUCKA, E. G.; LEJCUŚ, K.; JAKUBIAK-MARCINKOWSKA, A.; RONKA, S.; TROCHIMCZUK, A. W.; PIETR, S. J. Colonization and biodegradation of the cross-linked potassium polyacrylate component of water absorbing geocomposite by soil microorganisms. **Applied Soil Ecology**, [s.l.], v. 133, p. 114–123, 2019.

O'LEARY, W. M.; WILKINSON, S. G. Gram-positive bacteria. *In*: Ratledge, C.; Wilkinson, S. G. (Eds.). **Microbial lipids**, Academic Press, San Diego, p. 117-201, 1988.

OLIVEIRA, R. A.; REZENDE, L. S.; MARTINEZ, M. A.; MIRANDA, G. V. Influência de um polímero hidroabsorvente sobre a retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, p. 160-163, 2004.

OLIVEIRA, T. S.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. Water-dispersible clay after wetting and drying cycles in four Brazilian Oxisols. **Soil Tillage Research**, [s.l.], v. 83, n. 2, p. 260-269, 2005.

OLIVER, D. P.; KOOKANA, R. S. Minimising off-site movement of contaminants in furrow irrigation using polyacrylamide (PAM). I. Pesticides. **Australian Journal of Soil Research**, [s.l.], v. 44, n. 6, p. 551-560, 2006a.

OLIVER, D. P.; KOOKANA, R. S. Minimising off-site movement of contaminants in furrow irrigation using polyacrylamide (PAM). II. Phosphorus, nitrogen, carbon and sediment. **Australian Journal of Soil Research**, [s.l.], v. 44, n. 6, p. 561-567, 2006b.

OLSSON, P. A. Signature fatty acids provide tools for determination of the distribution and interactions of mycorrhizal fungi in soil. **FEMS Microbiology Ecology**, Oxford, v. 29, n. 4, p. 303-310, 1999.

OLSSON, P. A.; BÅÅTH, E.; JAKOBSEN, I.; SÖDERSTRÖM, B. The use of phospholipid and neutral lipid fatty acids to estimate biomass of arbuscular mycorrhizal fungi in soil. **Mycological Research**, Cambridge, v. 99, n. 5, p. 623-629, 1995.

ORTS, W. J.; SOJKA, R. E.; GLENN, G. M.; GROSS, R. A. Preventing soil erosion with polymer additives. **Polymer News**, Amsterdam, v. 24, p. 406-413, 1999.

ORZESZYNA, H.; LEJCUŚ, K.; GARLIKOWSKI, D.; PAWŁOWSKI, A. **Geocomposite element, particularly for enhancing plant growth**. 2010. EP2560472 A120130227 (EN).

OVIEDO, I. R.; MENDEZ, N. A. N.; GOMEZ, M. P. G.; RODRIGUEZ, H. C.; MARTINEZ, A. R. Design of a physical and nontoxic crosslinked Poly(Vinyl Alcohol) hydrogel. **International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials**, [s.l.], v. 57, n. 12, p. 1095-1103, 2008.

PALUSZEK, J. Effect of addition of Agroaquagel 420 on physical properties of eroded Luvisol. **Environment Protection Natural Resource**, [s.l.], v. 44, p. 107-115, 2010.

PALUSZEK, J. Physical quality of eroded soil amended with gel-forming polymer. **International Agrophysics**, [s.l.], v. 25, p. 375-382, 2011.

PALUSZEK, J.; ŻEMBROWSKI, W. Influence of Stockosorb gel forming polymer on water and air properties of eroded luvisols. **Acta Agrophysica**, [s.l.], v. 8, n. 4, p. 903-913, 2006.

PANKHURST, C. E.; HAWKE, B. G.; HARCH, B. D. Capacity of fatty acid profiles and substrate utilization patterns to describe differences in soil microbial communities associated

with increased salinity or alkalinity at three locations in South Australia. **Biology and Fertility of Soils**, [s.l.], v. 33, n. 3, p. 204-217, 2001.

PETZOLD, G.; GEISLER, U.; SMOLKA, N.; SCHWARZ, S. Influence of humic acid on the flocculation of clay. **Colloid and Polymer Science**, [s.l.], v. 282, n. 7, p. 670-676, 2004.

PRABU, C. S.; THATHEYUS, A. J. Biodegradation of acrylamide employing free and immobilized cells of *Pseudomonas aeruginosa*. **International Biodeterioration and Biodegradation**, [s.l.], v. 60, n. 2, p. 69-73, 2007.

RABAT, N. E.; HASHIMB, S.; MAJID, R. A. Effect of different monomers on water retention properties of slow release fertilizer hydrogel. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 148, p. 201-207, 2016.

RAMIREZ, K. S.; CRAINE, J. M.; FIERER, N. Consistent effects of nitrogen amendments on soil microbial communities and processes across biomes. **Global Change Biology**, [s.l.], v. 18, n. 6 p. 1918-1927, 2012.

RATLEDGE, C.; WILKINSON, S. G. **Microbial lipids**, vol. 1. Academic Press. Inc., New York. 1988.

RAVNSKOV, S.; JENSEN, B.; KNUDSEN, I. M. B.; BØDKER, L.; JENSEN, D. F.; KARLINSKI, L.; LARSEN, J. Soil inoculation with the biocontrol agent *Clonostachys rosea* and the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* results in mutual inhibition, plant growth promotion and alteration of soil microbial communities. **Soil Biology and Biochemistry**, [s.l.], v. 38, n. 12, p. 3453-3462, 2006.

RIBEIRO, C. A. D.; COSTA, M. P.; SENNA, D. S.; CALIMAN, J. P. Fatores que afetam a germinação das sementes e a biomassa de plântulas de *Tabebuia heptaphylla*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 161-168, 2012.

RINKLEBE, J.; LANGER, U. Relationship between soil microbial biomass determined by SIR and PLFA analysis in floodplain soils. **Journal of Soils and Sediments**, [s.l.], v. 10, p. 4-8, 2010.

ROCHA, R.; SOARES, R. R. Water scarcity and birth outcomes in the Brazilian semiarid. **Journal of Development Economics**, [s.l.], v. 112, p. 72-91, 2015.

RODAL, M. J. N.; SALES, M. F. Panorama of the montane forests of Pernambuco, Brasil. In: THOMAS, W. W.; BRITTON, E. G. (Ed.). **The Atlantic coastal forest of Northeastern Brazil**. New York: The New York Botanical Garden, p. 541-559, 2008.

ROMANIUK, R.; GIUFFRÉ, L.; CONSTANTINI, A.; NANNIPIERI, P. Assessment of soil microbial diversity measurements as indicators of soil functioning in organic and conventional horticulture systems. **Ecological Indicators**, v. 11, n. 5, p. 1345-1353, 2011.

ROSA, F.; BORDADO, J. M.; CASQUILHO, M. (2008). **Polímeros Superabsorventes: Potencialidades e Aplicações**. Disponível em: http://www.ordemengenheiros.pt/Portals/0/Ing98-DC_Quim8.pdf. Acesso em: 06 dez. 2015.

RUESS, L.; TIUNOV, A.; HAUBERT, D.; RICHNOW, H. H.; HAGGBLOM, M. M.; SCHEU, S. Carbon stable isotope fractionation and trophic transfer of fatty acids in fungal based soil food chains. **Soil Biology & Biochemistry**, [s.l.], v. 37, n. 5, p. 945-953, 2005.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Matéria orgânica do solo no bioma caatinga. *In*: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 419-441.

SANTANA, J. A. S.; SOUTO, J. S. Produção de serapilheira na Caatinga da região semiárida do Rio Grande do Norte, Brasil. **Idesia**, Arica, v. 29, n. 2, p. 87- 94, 2011.

SANTOS, C. F.; SCHISTEK, H.; OBERHOFER, M.; LIMA, L. **No Semiárido, Viver é Aprender a Conviver: Conhecendo o Semiárido em Busca da Convivência**. Articulação Popular São Francisco Vivo. 2007, 48 p.

SANTOS, R. V.; SILVA, G. H.; Ó, K. D. S.; VITAL, A. F. M. Diagnóstico e desenvolvimento inicial de mamoneira em solos de áreas degradadas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 208-212, 2015.

SASSER, M. Identification of bacteria through fatty acid analysis. *In*: Clement, Z.; Rudolph, K.; Sands, D. C. (Eds.), **Methods in phytobacteriology**, Budapest: Akademiai Kiado. p. 199-204, 1990.

SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALD, R. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. **Biology and Fertility of Soils**, [s.l.], v. 35, n. 2, p. 96-101, 2002.

SCHNEIDER, P. S. P.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento do ipê-roxo, *Tabebuia impetiginosa* Martius ex A. P. de Candolle, na depressão central do estado do Rio Grande Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 91-100, 2000.

SEYBOLD, C. A. Polyacrylamide review: Soil conditioning and environmental fate. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [s.l.], v. 25, n. 11-12, p. 2171-2185, 1994.

SHAINBERG, I.; GOLDSTEIN, D.; MAMEDOV, A. I.; LEVY G. J. Granular and dissolved PAM effects on the hydraulic conductivity of a fine sand and a silt loam. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 75, n. 3, p. 1090-1098, 2011.

SHAINBERG, I.; WARRINGTON, D.; RENGASAMY, P. Water-quality and PAM interactions in reducing surface sealing. **Soil Science**, Philadelphia, v. 149, p. 301-307, 1990.

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

SILVA, A. K. O; SILVA, H. P. B. O processo de desertificação e impactos sobre os recursos naturais e sociais no município de Cabrobó – Pernambuco – Brasil. **Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais**, Macapá, v. 8, n. 1, p. 203-215, 2015.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C). **Comunicado Técnico, 96**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, p. 6, 2007.

SILVA, J. R. C. Erosão e produtividade do solo no semiárido. *In*: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Ed.). **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Fortaleza: UFC, 2000, p. 168-213.

SILVA, P. C. G.; MOURA, M. S. B.; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. DE L.; PEREIRA, L. A.; SÁ, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. DE C.; CUNHA, T. J. F.; FILHO, C. G. Caracterização do semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. *In*: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Eds.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

SIMMONS, B. L.; COLEMAN, D. C. Microbial community response to transition from conventional to conservation tillage in cotton fields. **Applied Soil Ecology**, [s.l.], v. 40, n. 3, p. 518-528, 2008.

SIVAPALAN, S. Some benefits of treating a sandy soil with a cross-linked type polyacrylamide. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, [s.l.], v. 46, n. 4, p. 579-584, 2006.

SMAGIN, A. V.; SADOVNIKOVA, N. B.; SMAGINA, M. V. Biodestruction of strongly swelling polymer hydrogels and its effect on the water retention capacity of soils. **Eurasian Soil Science**, Philadelphia, v. 47, n. 6, p. 591-597, 2014.

SMITH, E. A.; PRUES, S. L.; OEHME, F. W. Environmental degradation of polyacrylamides. I. Effects of artificial environmental conditions: Temperature, light, and pH. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s.l.], v. 35, n. 2, p. 121-135, 1996.

SMITH, E. A.; PRUES, S. L.; OEHME, F. W. Environmental degradation of polyacrylamides II. Effects of Environmental (Outdoor) Exposure. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s.l.], v. 37, n. 1, p. 76-91, 1997.

SOJKA, R. E.; BJORNEBERG, D. L.; ENTRY, J. A.; LENTZ, R. D.; ORTS, W. J. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. **Advances in Agronomy**, [s.l.], v. 92, p. 75-162, 2007.

SOUZA, P. A.; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G. Adubação mineral do ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 261-270. 2006.

SPACKMAN, R.; ENTRY, J. A.; SOJKA, R. E.; ELLSWORTH, J. W. Polyacrylamide for coliform bacteria removal from agricultural wastewater. **Soil Water Conservation**, [s.l.], v. 58, n. 5, p. 276-283, 2003.

TANG, W. P. Development of SAPs solid water market application prospect. **Beijing Agriculture**, [s.l.], v. 3, p. 32-41, 2003.

TAYLOR, K. C.; HALFACRE, R. G. The effect of hydrophilic polymer on media water retention and nutrient availability to *Ligustrum lucidum*. **Hortscience**, [s.l.], v. 21, p. 1159-1161, 1986.

TEDESCO, M. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 174 p., 1995.

TEODORESCU, M.; LUNGU, A.; STANESCU, P. O.; NEAMȚU, C. Preparation and properties of novel slow-release NPK agrochemical formulations based on poly(acrylic acid) hydrogels and liquid fertilizers. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, [s.l.], v. 48, n. 14, p. 6527-6534, 2009.

THENG, B. K. G. **Formation and Properties of Clay-Polymer Complexes**. (2^a ed.). Amsterdam: Elsevier, 2012.

TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A. & TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solos**. (3^a ed.). Brasília: Embrapa, 2017.

TRAORÉ, S.; OUATTARA, K.; ILSTEDT, U.; SCHMIDT, M.; THIOMBIANO, A.; MALMER, A.; NYBERG, G. Effect of land degradation on carbon and nitrogen pools in two soil types of a semi-arid landscape in West Africa. **Geoderma**, Amsterdam, v. 241-242, p. 330-338, 2015.

TRESEDER, K. Nitrogen additions and microbial biomass: a meta-analysis of ecosystem studies. **Ecology Letters**, [s.l.], v. 11, n. 10, p. 1111-1120, 2008.

ULLAH, F.; OTHMAN, M. B. H.; JAVED, F.; AHMAD, Z.; AKIL, H. M. Classification, processing and application of hydrogels: A review. **Materials Science and Engineering: C**, [s.l.], v. 57, p. 414-433, 2015.

USEPA. **Health and Environmental Effects Profile for Acrylamide**. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, p. 95, 1985.

VAN AARLE, I. M.; OLSSON, P. A. Fungal lipid accumulation and development of mycelial structures by two arbuscular mycorrhizal fungi. **Applied and Environmental Microbiology**, [s.l.], v. 69, p. 6762-6767, 2003.

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

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

VARENNE, A.; BALSINHAS, A.; CARQUEJA, M. J. Effects of two Na polymers on the hydrophysical and chemical properties of a sandy soil, and on plant growth and water economy. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 20, p. 13-27, 1997.

VERDENELLI, R. A.; LAMARQUE, A. L.; MERILES, J. M. Short-term effects of combined iprodione and vermicompost applications on soil microbial community structure. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 414, p. 210-219, 2012.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Philadelphia, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934.

WALLACE, A.; WALLACE, G. A. Soil and crop improvement with water-soluble polymers. **Soil Technology**, [s.l.], v. 3, n. 1, p. 1-8, 1990.

WALLACE, A.; WALLACE, G. A.; ABOULAMZAM, A. M. Effects of excess levels of polymer as a soil conditioner on yields and mineral nutrition of plants. **Soil Science**, Philadelphia, v. 141, n. 5, p. 377-380, 1986.

WALLACE, R. E.; TERRY, R. E. (Eds.) **Handbook of Soil Conditioners, Substances That Enhance the Physical Properties of Soil**. Marcel Dekker, New York, NY. 1998.

WALLEDA, T.; KOTTKE, I. Nitrogen deposition and ectomycorrhizas. **New Phytologist**, [s.l.], v. 139, n. 1, p. 169-187, 1997.

WANG, A.; LI, F.; YANG, S. Effect of polyacrylamide application on runoff, erosion, and soil nutrient loss under simulated rainfall. **Pedosphere**, [s.l.], v. 21, n. 5, p. 628-638, 2011.

WARDLE, D. A.; GHANI, A. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. **Soil Biology and Biochemistry**, [s.l.], v. 27, n. 12, p. 1601-1610, 1995.

WEST, S. L.; WHITE, G. N.; DENG, Y.; MCINNES, K. J.; JUO, A. S. R.; DIXON, J. B. Kaolinite, halloysite, and iron oxide influence on physical behavior of formulated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, n. 4, p. 1452-1460, 2004.

WHITE, D. C.; BOBBIE, R. J.; NICKELS, J. S.; FAZIO, S. D.; DAVIS, W. M. Nonselective biochemical methods for the determination of fungal mass and community structure in estuarine detrital microflora. **Botanica Marina**, [s.l.], v. 23, p. 239-250, 1980.

WILKINSON, S. G. Gram-negative bacteria. In: RATLEDGE, C.; WILKINSON, S. G. (Eds.). **Microbial lipids**, p. 299-488, 1988. Academic Press, London.

WITT, C.; GAUNT, J. L.; GALICIA, C. C.; OTTOW, J. C. G.; NEUE, H. U. A rapid chloroform-fumigation extraction method for measuring soil microbial biomass carbon and nitrogen in flooded rice soils. **Biology and Fertility of Soils**, [s.l.], v. 30, p. 510-519, 2000.

WOLTER, M.; WIESCHE, C. I. D.; ZADRAZIL, F.; HEY, S.; HASELBACH, J. Biological degradability of syntetic superabsorbent soil conditioners. **Landbauforschung Volkenrode**, [s.l.], v. 52, p. 43-52, 2002.

WU, S. F.; WU, P. T.; FENG, H.; BU, C. F. Influence of amendments on soil structure and soil loss under simulated rainfall China's loess plateau. **African Journal of Biotechnology**, [s.l.], v. 9, n. 37, p. 6116-6121, 2010.

- YANG, H. S.; LIU, R. F.; ZHANG, J. P.; WANG, A. Q. Effects of poly (acrylic-acylamide)/ attapulgate superabsorbent composite on soil water content and physical properties. **Journal of Soil and Water Conservation**, [s.l.], v. 19, n. 1, p. 38-41, 2005.
- YANG, L.; YANG, Y.; CHEN, Z.; GUO, C.; LI, S. Influence of super absorbent polymer on soil water retention, seed germination and plant survivals for rocky slopes eco-engineering. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 62, p. 27-32, 2014.
- YANG, X.; WILLIAMS, M. Landforms and processes in arid and semi-arid environments. **Catena**, [s.l.], v. 134, p. 1-3, 2015.
- YANG-REN, W.; SHAO-ZHONG, K.; FU-SHENG, L. I.; ZHANG, L.; ZHANG, J. H. Saline water irrigation scheduling through a crop-water-salinity production function and a soil-water-salinity dynamic model. **Pedosphere**, [s.l.], v. 17, n. 3, p. 303-317, 2007.
- YAZDANI, F.; ALLAHDADI, I.; AKBARI, G. A. Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max L.*) under drought stress condition. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, [s.l.], v. 10, n. 23, p. 4190-4196, 2007.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analyses**, [s.l.], v. 19, p. 1467-1476, 1988.
- YU, F.; FU, R.; XIE, Y.; CHEN, W. Isolation and characterization of polyacrylamide-degrading bacteria from dewatered sludge. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s.l.], v. 12, n. 4, p. 4214–4230, 2015.
- YU, J.; DANG, P. F.; SHI, J. G.; MAMEDOV, A. I.; SHAINBERG, I.; LEVY, G. J. Soil and polymer properties affecting water retention by superabsorbent polymers under drying conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 76, n. 5, p. 1758-1767, 2012.
- YU, J.; SHAINBERG, I.; YAN, Y. L.; SHI, J. G.; LEVY, G. J.; MAMEDOV, A. I. Superabsorbents and semiarid soil properties affecting water absorption. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 75, n. 6, p. 2305-2313, 2011.
- ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S.; MICHEL, K.; PFEFFER, M. Soil microbial community structure in European forests in relation to forest type and atmospheric nitrogen deposition. **Plant Soil**, [s.l.], v. 343 p. 37-50, 2011.
- ZELLES, L. Identification of single cultured micro-organisms based on their whole-community fatty acid profiles, using an extended extraction procedure. **Chemosphere**, [s.l.], v. 39, n. 4, p. 665-682, 1999.
- ZHANG, M.; CHENG, Z.; ZHAO, T.; LIU, M.; HU, M.; LI, J. Synthesis, characterization, and swelling behaviors of salt-sensitive maize bran–poly(acrylic acid) superabsorbent hydrogel. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, [s.l.], v. 62, n. 35, p. 8867-8874, 2014.

ZHAO, Y.; KANG, J.; TAN, T. Salt-, pH- and temperature- responsive semi-interpenetrating polymer network hydrogel based on poly(aspartic acid) and poly(acrylic acid). **Polymer**, [s.l.], v. 47, n. 22, p. 7702-7710, 2006.

ZOHURIAAN-MEHR, M. J.; KABIRI, K. Superabsorbent polymer materials: a review. **Iranian Polymer Journal**, Theran, v. 17, n. 6, p. 451-477, 2008.