



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

Jandelson de Oliveira Alves

**MODELOS DE COBERTURA VEGETAL NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS
DEGRADADAS NO SEMIÁRIDO: EFEITO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E
FÍSICOS DO SOLO**

Petrolina-PE

2018

JANDELSON DE OLIVEIRA ALVES

**MODELOS DE COBERTURA VEGETAL NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS
DEGRADADAS NO SEMIÁRIDO: EFEITO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E
FÍSICOS DO SOLO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal do Campus de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Sales Rodrigues
Co-orientadores: Prof. Dr. Augusto Miguel Nascimento Lima
Prof. Dr. Renato Garcia Rodrigues

Petrolina-PE

2018

Alves, Jandelson de Oliveira.
A474m Modelos de cobertura vegetal na recuperação de áreas degradadas no semiárido: efeito nos atributos químicos e físicos do solo / Jandelson de Oliveira Alves. - Petrolina, 2018.
54 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus de Ciências Agrárias, Petrolina-PE, 2018.
Orientador: Prof.Dr. Marcos Sales Rodrigues.

Referências.

1. Degradação ambiental. 2.Semiárido. I. Título. II. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 304.25

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

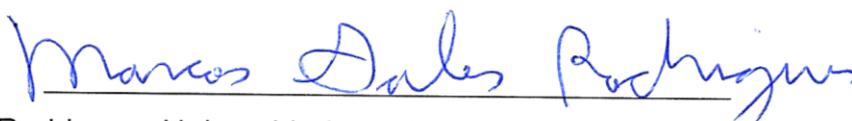
Jandelson de Oliveira Alves

MODELOS DE COBERTURA VEGETAL NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS
DEGRADADAS NO SEMIÁRIDO: EFEITO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO
SOLO

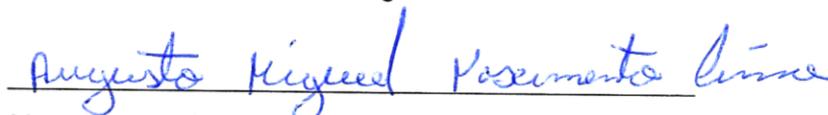
Dissertação apresentada como requisito
parcial para obtenção do título de Mestre em
Agronomia – Produção Vegetal, pela
Universidade Federal do Vale do São
Francisco.

Aprovada em: 27 de fevereiro de 2018.

Banca Examinadora



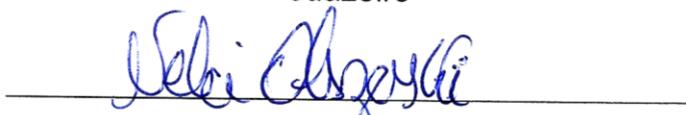
Dr. Marcos Sales Rodrigues, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus de
Ciências Agrárias



Dr. Augusto Miguel Nascimento Lima, Universidade Federal do Vale do São Francisco,
Campus de Ciências Agrárias



Dr. Jailson Cavalcante Cunha, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus
Juazeiro



Dra. Nelci Olszewski, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro

A Dioclécio Mandú de Oliveira e Josué Fausto de Sá... Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo milagre da vida.

A Universidade Federal do Vale do São Francisco e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal pela oportunidade de cursar o mestrado acadêmico e a todos os professores do curso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcos Sales Rodrigues, pela amizade, pela paciência, compreensão, críticas, elogios, sugestões e momentos de descontração vivenciados nesses dois anos de convivência.

A todos do Laboratório de física e química do solo, em especial, Filipe Bernard, David Alves, Gustavo Rodrigues, Patrícia Araújo, Roberto Lustosa e Jaílson Cunha, pela amizade e por todo o apoio durante as coletas e análises.

Ao Prof. Dr. Renato Garcia e a todos os funcionários do Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental, pelo apoio técnico, financeiro e logístico ao longo da pesquisa.

A FACEPE, pela concessão da bolsa e da oportunidade do aperfeiçoamento profissional.

A minha família, Gaudêncio Alves, Adeilda Alves e Gabrieli Alves por todo o amor, carinho e confiança depositados em mim, assim pude realizar um sonho tão almejado, sem vocês eu não teria conseguido chegar onde cheguei.

A Maria das Graças Rosa, minha namorada e parceira para todas as horas, por todo amor, carinho e dedicação, pelos momentos em que baixei a cabeça e você como um anjo me pôs no caminho certo novamente e por tudo o que conquistamos e iremos conquistar juntos.

A Elza Soares, pela amizade, por todo o apoio que nos deu desde que chegamos a Petrolina e por ter feito o papel de segunda mãe para mim e Maria das Graças nessa etapa das nossas vidas.

A turma 2016.1 do mestrado em Agronomia - Produção Vegetal, pelas novas amizades, momentos de alegria e estudos compartilhados.

À todos o meu muito obrigado!

RESUMO

O projeto de integração do Rio São Francisco (PISF) está sendo construído com o objetivo de assegurar uma oferta de água para milhões de brasileiros no Nordeste Setentrional. Para isso, áreas precisaram ser alteradas devido à grande dimensão das obras, causando uma degradação intensa ao meio ambiente. Sendo assim, técnicas de recuperação de áreas degradadas vêm sendo testadas, uma delas consiste na cobertura vegetal através da semeadura de espécies herbáceas nativas da Caatinga. O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de diferentes densidades de plantas herbáceas consorciadas no PISF através do comportamento temporal de propriedades físico-químicas do solo. O experimento foi desenvolvido no município de Cabrobó-PE, às margens dos canais do eixo norte do PISF. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 16 tratamentos e 4 repetições. As plantas foram submetidas a diferentes densidades de plantio e consórcios entre si. Amostras de solo deformadas foram coletadas na profundidade de 0-20 e 20-40 cm, e indeformadas na profundidade de 0-20 cm em três épocas do ano, sendo assim foram realizadas três coletas: a primeira (testemunha) em março (2016), a segunda em novembro (2016) e a terceira em junho (2017). Nas amostras deformadas foram determinados pH, MO, CE, P, Ca, Mg, Na, K, H+Al, a partir do resultado dessas análises foram calculados SB, CTC, V e PST. Para as amostras indeformadas foram realizadas as análises de textura, densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macro (Ma) e microporosidade (Mi). Para a comparação das médias foram utilizados os testes de Skott-Knott. Foram comparadas, também, as diferentes coletas realizadas ao longo do tempo por meio do teste t. Dentre as variáveis onde foi observada diferença estatística, o conteúdo de MO aumentou em relação à testemunha em todos os tratamentos avaliados, assim como o teor de K, com o auxílio da adubação de fundação. Efeito semelhante aconteceu com o Teor de Mg, onde o tratamento 1.2, com 36 plantas de *Senna uniflora*, destacou-se no acúmulo e manutenção do cátion no solo. Destaca-se a elevada concentração de sais solúveis e o alto teor de Na presente na área. Ao longo do tempo, comparando as três coletas realizadas, o conteúdo de MO foi maior na segunda coleta ($14,7 \text{ g kg}^{-1}$), assim como o teor de K ($0,92 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Já para os teores de Mg, a segunda e a terceira coleta foram superiores a testemunha com médias de 11,5 e 10,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ da mesma forma para o teor de P e 15,46 e 21,19 mg dm^{-3} na profundidade de 0-20 cm, com efeito semelhante na profundidade de 20-40. A presença das plantas herbáceas no ambiente degradado aumentou o conteúdo de matéria orgânica. A adubação inicial associada às menores densidades de plantas herbáceas, como o tratamento 1.2, com 36 plantas de *Senna uniflora*, favoreceram a manutenção de Mg e P no solo, enquanto o K foi mais facilmente lixiviado. O solo degradado do eixo norte do PISF pode ser considerado salino-sódico. É necessário um período maior de avaliação da área para obtenção de melhores resultados.

Palavras-chave: Degradação ambiental. *Tridax procumbens*. *Raphiodon echinus*. *Senna uniflora*.

ABSTRACT

The São Francisco River integration project (SFRIP) is being built with the objective of ensuring a water supply for millions of Brazilians in the North East. In order to achieve this, areas needed to be altered due to the large size of the works, thus causing an intense degradation of the environment. Thus, techniques for the recovery of degraded areas have been tested, one of which is the vegetation cover through sowing native herbaceous Caatinga species. The present study had as objective to evaluate the efficiency of different densities of herbaceous plants consortium in the PISF through the temporal behavior of soil physical and chemical properties. The experiment was carried out in Cabrobó county, Pernambuco state, on the banks of the SFRIP's north-axis channels. The experimental design was a randomized block design with 16 treatments and four replicates. The plants were submitted to different densities of planting and consortia among themselves. Deformed soil samples were collected at layers of 0-20 and 20-40 cm depth, and undisturbed at the layers of 0-20 cm depth at two periods of the year. Three collections were made: the first (control) in April (2016), the second in November (2016) and the third in June (2017). In the deformed samples pH, MO, CE, P, Ca, Mg, Na, K, H + Al were determined from the results of these analyzes, SB, CTC, V, and PST were calculated. For the undisturbed samples, the analysis of texture, soil bulk density (Bd), total porosity (Pt), macro (Ma) and microporosity (Mi) was performed. Skott-Knott tests were used to compare the means. The different collections performed over time were also compared by the t-test. Among the variables where the statistical difference was observed, the OM content increased in relation to the control in all evaluated treatments, as well as the K content, with the aid of the foundation fertilization. A similar effect occurred with the Mg content, where treatment 1.2, with 36 plantas of *Senna uniflora* was superior in the accumulation and maintenance of this action in the soil. It is important to highlight the high concentration of soluble salts and the high Na content present in the area. Over time, comparing the three collections, the content of MO was higher in the second collection (14.7 g kg^{-1}), as well as the K content ($0.92 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). On the other hand, for the Mg contents, the second and the third collection were higher than the control with averages of 11.5 and $10.5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ in the same way for the P content showing mean values of 15.46 and 21.19 mg dm^{-3} at the layer of 0-20 cm depth, with similar effect at the layer of 20-40 cm depth. The presence of herbaceous plants in the degraded environment increased the organic matter content. The initial fertilization associated with lower densities of herbaceous plants, such as treatment 1.2, with 36 plantas of *Senna uniflora* avored the maintenance of Mg and P in the soil, while K was more easily leached. The degraded soil of the PISF northern axis can be considered saline-sodium. A longer period of evaluation of the area is required for better results.

Key words: Environmental degradation. *Tridax procumbens*. *Raphiodon echinus*. *Senna uniflora*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1. O Nordeste Setentrional	12
2.2. Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional.....	13
2.3. Atributos físicos e químicos do solo na recuperação de áreas degradadas	14
2.4. Plantas herbáceas na recuperação de áreas degradadas	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1. Localização do experimento.....	18
3.2. Preparo do solo	20
3.3. Modelo de recuperação de áreas degradadas	21
3.4. Coletas de solo.....	23
3.5. Análises laboratoriais	24
3.6. Análises estatísticas	25
4. RESULTADOS	26
4.1. Atributos químicos do solo na segunda coleta	26
4.2. Atributos físicos do solo na segunda coleta	29
4.3. Atributos químicos do solo na terceira coleta	30
4.4. Atributos físicos do solo na terceira coleta	33
4.5. Evolução temporal dos atributos do solo após o uso de plantas herbáceas	34
5. DISCUSSÃO	40
5.1. Atributos químicos do solo	40
5.2. Atributos físicos do solo	42
5.3. Evolução temporal dos atributos do solo após o uso de plantas herbáceas	43
6. CONCLUSÕES	45
7. REFERÊNCIAS	46
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54

1. INTRODUÇÃO

O Nordeste Brasileiro, mais precisamente a região Semiárida, convive historicamente com o problema da seca, o que limita o desenvolvimento socioeconômico da população inserida nessa região. A precipitação pluviométrica baixa e irregular, as elevadas médias de temperaturas do ar e as elevadas taxas evapotranspiratórias fazem com que a disponibilidade hídrica local seja muito baixa, ocasionando sérios problemas para milhões de brasileiros (BRASIL, 2004).

O convívio forçado do sertanejo com toda essa adversidade climática torna-se a maior preocupação da população que reside no Semiárido. Nessas localidades, a agricultura e a pecuária são as principais vias de subsistência de várias famílias e, devido as estiagens prolongadas, convivem constantemente com a morte de animais e a perda de lavouras, além da própria escassez hídrica, fazendo com que muitas dessas famílias encontrem-se em uma condição crítica de subsistência (ROMAN, 2017).

Diante dessa situação, o Governo Federal por meio do Ministério da Integração Nacional, têm executado o Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF), com o principal objetivo de assegurar a oferta de água para uma população e uma região que sofrem com a irregularidade das chuvas e a escassez de água (BRASIL, 2004).

Devido à grande dimensão da obra as áreas do entorno precisaram ser alteradas em função de atividades como: a escavação do canal e a transferência de materiais que eram constantemente retirados, além do transporte de diversos tipos de máquinas pesadas. Tudo isso acarretou numa supressão vegetal que, dependendo da alteração, torna-se cada vez mais difícil de ser recuperada. Dentre os impactos ambientais mais graves pode-se citar a modificação do solo, com perdas em suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

Em áreas com o ecossistema degradado devido a retirada da vegetação, os seus meios de regeneração naturais como banco de sementes, banco de plântulas e rebrota também são eliminados, sendo assim, essa baixa resiliência faz com que o seu retorno ao estado original da paisagem possa não acontecer, ou acontecer de uma forma extremamente lenta (SILVA et al., 2016).

No solo existem diversas interações entre os atributos físicos, químicos e biológicos, que estão diretamente relacionados aos processos e aspectos de sua variação

no tempo e no espaço, fazendo com que qualquer alteração interfira diretamente na fertilidade, em sua atividade biológica e na sua estrutura, o que pode levar a sérios prejuízos ao solo como também ao ecossistema (CARNEIRO et al., 2009).

Nesse sentido, o Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (NEMA) vem realizando uma série de ações mitigatórias. Uma das mais importantes é a utilização de plantas herbáceas nativas do Semiárido com características de resistência hídrica, nutricional, boa dispersão de sementes, multiplicação rápida, capacidade de interação com micro-organismos simbiotes, rusticidade e boa capacidade de cobertura do solo, na tentativa de recuperar a área e amenizar a degradação no local.

Uma das grandes vantagens em utilizar plantas com boa capacidade de cobertura do solo é que elas atuam protegendo-o, dissipando a energia cinética das gotas de chuva, impedindo assim que o processo erosivo inicie. Auxiliam ainda na melhoria dos atributos químicos e físicos do solo por meio do seu sistema radicular, causando efeitos diretos na macro e microporosidade, na densidade e na infiltração de água no solo. A densidade ideal de plantas também favorece a ciclagem de nutrientes o que aumenta a disponibilidade dos mesmos às plantas, principalmente daquelas espécies capazes de realizar simbioses com micro-organismos (BRESSAN et al., 2013).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o uso de espécies herbáceas nativas do semiárido na recuperação do solo por meio das alterações nos atributos químicos e físicos do solo em áreas alteradas pelas obras do PISF a partir de diferentes densidades de semeadura em blocos de consórcios localizados no entorno da obra a fim de obter informações relevantes para a obtenção de um protocolo de recuperação das áreas degradadas ao longo de todo o canal nos dois eixos da obra.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O Nordeste Setentrional

A região do Nordeste setentrional tem o clima como uma das suas mais marcantes características, onde as temperaturas médias variam durante o ano entre 20°C a 28°C. Com relação ao regime hídrico, a irregularidade das chuvas é a principal característica da região, onde as chuvas estão concentradas principalmente entre os meses de fevereiro a maio. Com isso os veranicos são muito frequentes, assim como grandes eventos de seca (BRASIL, 2005).

Uma das principais consequências dessa adversidade climática da região é a influência do clima à hidrologia do Nordeste Setentrional, fazendo com que os rios em sua maioria sejam intermitentes, ou seja, permanecem completamente secos durante vários meses, as vezes anos, comprometendo a capacidade de absorção de água do solo pluvial e o abastecimento do lençol freático. A principal alternativa da população na convivência com a seca são os açudes e a captação da água das chuvas em cisternas (BRASIL, 2004).

O Bioma Caatinga presente no Nordeste Setentrional possui uma grande biodiversidade na fauna e na flora. A rusticidade, tolerância e adaptação a seca são as principais características das plantas nativas da região (GIULIETTI, A. M.; CONCEIÇÃO; QUEIROZ, 2006). A presença de espinhos, microfilia, cutículas impermeáveis, caducifolia, caules modificados, mecanismos fisiológicos adaptados, como abertura de estômatos e dormência de sementes, caracterizam a maioria das plantas da Caatinga, podendo assim classifica-las como xerófitas (GIULIETTI, A. M.; CONCEIÇÃO; QUEIROZ, 2006).

No que diz respeito ao estrato herbáceo da região, a diversidade total de espécie ainda é pouco conhecida. As espécies das famílias Poaceae, Asteraceae, Fabaceae, Euphorbiaceae, Convolvulaceae, Cyperaceae, Malvaceae, Scrophulariaceae e Rubiaceae são as mais representativas (CORREIA et al., 2011).

Com relação a pedologia e aos solos da região pode-se afirmar que está diretamente ligada ao clima, material de origem, vegetação e relevo. É comum encontrar uma pedregosidade superficial composta por calhaus e cascalhos de quartzo e quartzitos. Os solos de maior ocorrência são os Argissolos e Latossolos, mas também é frequente a

presença de Neossolos Quartzarêncos, Planossolos, Cambissolos, Vertissolos e Luvisolos, esse último é raso e muito susceptível a erosão (CORREIA et al., 2011).

2.2. Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional

Transportar parte das águas do rio São Francisco para regiões do Nordeste onde o regime hídrico é irregular sempre foi algo almejado pelos governantes brasileiros. A ideia foi debatida no Parlamento em 1845, havendo uma mobilização da elite cearense potencialmente interessada no desvio das águas do Rio São Francisco. Isso fez com que o primeiro projeto fosse apresentado ao Imperador Dom Pedro II pelo Engenheiro Cearense Marco Antônio de Macedo. O imperador iniciou os estudos sobre o Rio, no entanto na prática o projeto não saiu do papel. Apenas em 1877 o assunto voltou à tona após a grande seca que causou a morte de 500 mil pessoas e o deslocamento de 3 milhões de pessoas na tentativa de escapar da seca (ANDRADE, 2006; VIANA, 2011).

O tempo foi passando e a principal medida que o governo tomou para tentar amenizar o problema da seca foi a construção de açudes, medida bem mais palpável na época visto que uma obra daquela magnitude exigiria um aparato tecnológico que ainda não existia. Mais tarde, em meados do Século XX distritos de irrigação foram criados no Nordeste sob a supervisão do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) e da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), o que fez aumentar a necessidade de fluxos de água na região, isso de certa forma, mantinha viva a ideia de transpor águas de bacias hidrográficas (ROMAN, 2017).

Apenas na década de 1980 o Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) apresentou um projeto, mas com uma vazão proposta de $800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, onde vários debates aconteceram em decorrência da alta vazão, fazendo com que iniciassem estudos de viabilidade. A discussão estendeu-se até o final do século XX e início dos anos 2000, mas o problema dos apagões evidenciou a fragilidade do Sistema hídrico Brasileiro e novamente o projeto não saiu de debates e estudos (COELHO, 2005).

Após vários projetos ao longo da história e muitos protestos contra a transposição do Rio São Francisco, em 2004 foi lançado o Relatório de Impactos Ambientais (RIMA) e no ano seguinte um plano de gestão, controle ambiental e social da obra. Com a outorga

do uso da água pela Agência Nacional de Águas (ANA), o PISF estava apto a iniciar as obras (COELHO, 2005).

Quando comparado à outras épocas o projeto atual é menos ambicioso em termos de volumes transferidos, mas continua sendo uma das maiores obras de infraestrutura hídrica do mundo. A *Resolução Federal Nº411/2005*, resolve que o projeto garanta no mínimo a retirada de $26,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ sendo $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para o Eixo Leste e $16,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para o Eixo Norte, esses valores correspondem à demanda prevista em 2025 para o consumo humano e animal, e uma vazão máxima de $127 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ quando o reservatório de Sobradinho estiver em condições favoráveis (ROMAN, 2017).

A estrutura é composta de 477 km de aquedutos e túneis ao longo dos dois eixos, para garantir água a 12 milhões de pessoas em 390 municípios nos estados de Pernambuco, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba. Atualmente o PISF está com 96,40% das obras concluídas e a previsão é que as águas do Rio São Francisco estejam percorrendo todos os canais do PISF ainda no ano de 2018. (BRASIL, 2017).

2.3. Atributos físicos e químicos do solo na recuperação de áreas degradadas

Área degradada é aquela que sofreu diversas modificações, dentre elas fortes distúrbios na maioria das vezes provocadas pela ação antrópica, que eliminou toda ou boa parte da vegetação que cobria o solo e sua regeneração pode não acontecer ou ocorrer de uma forma bastante lenta, comprometendo todo o ecossistema onde a área está inserida. Nesses casos a intervenção do homem torna-se necessária para a recuperação dessa área em um curto espaço de tempo (ALVES; SOUZA, 2008).

Essa intervenção se dá por meio de diversas ações que inicialmente, procuram minimizar ao máximo possível os efeitos da degradação ambiental, posteriormente implementa-se uma série de metodologias corretivas a fim de tentar recuperar a área o mais rápido possível. Assim, a avaliação dos atributos do solo é de suma importância, visto que são os principais indicadores da recuperação da área (YADA et al., 2015). Novak et al. (2017) ressaltam que o diagnóstico correto da situação que o solo se encontra, ajudam a compreender a degradação e os fatores que levaram a tal estado, assim como ajudam a definir métodos adequados para lidar com diferentes condições ambientais, resultando em um melhor planejamento da recuperação da área degradada.

De modo geral, um indicador de qualidade do solo ideal é aquele que consegue responder mais rapidamente as variações ambientais sofrendo mudanças a curto e médio prazo (PEZARICO et al., 2013). Os indicadores de qualidade do solo podem ser divididos em químicos, físicos e biológicos. Com os atributos químicos é possível obter informações sobre ciclagem e armazenamento de nutrientes, salinidade, sodicidade, e o estado da acidez do solo. Já os atributos físicos, referem-se a informações sobre textura, densidade do solo, porosidade e estabilidade de agregados. Somente um atributo isolado não conseguiria fornecer informações confiáveis sobre a qualidade de determinado solo, mas a interação entre todos consegue atender tal requisito (STENBERG, 1999).

A matéria orgânica do solo é um excelente indicador de qualidade do solo, a sua capacidade de influenciar outros atributos dá papel de destaque na recuperação de áreas degradadas em grandes períodos de tempo (MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

A condutividade elétrica do solo, por determinar a presença de sais solúveis no solo também é um forte indicador de qualidade, a presença desses sais em muitos casos é a principal causa da degradação do solo. Dentre algumas alternativas para solucionar este problema, pode-se citar a lixiviação através de lâminas de irrigação elevadas e/ou a utilização de plantas fitorremediadoras (ZHAO et al., 2016).

Pezarico et al. (2013) em um experimento objetivando avaliar sistemas agroflorestais por meio de atributos físicos, químicos e biológicos em Nitossolo Vermelho de textura argilosa descrevem que a porosidade total e a microporosidade foram os melhores indicadores de qualidade do solo.

Estudos acerca de recuperação de áreas degradadas avaliando os atributos do solo estão ganhando cada vez mais espaço no meio científico, visto que a preservação ambiental é um tema bastante discutido ao redor do mundo (ALVES et al., 2007; ALVES; NASCIMENTO; SOUZA, 2012; FRAGOSO et al., 2016). Kitamura et al. (2008) avaliando a adição de adubos verdes e lodo de esgoto na recuperação de um Latossolo Vermelho distrófico alterado pela construção da usina hidrelétrica de Ilha Solteira-SP, encontraram alterações no horizonte A nas propriedades físicas e químicas do solo e que a densidade do solo foi a variável mais sensível para detectar alterações na recuperação do solo estudado.

Resultado semelhante foi encontrado por Alves e Souza (2008), avaliando plantas de cobertura juntamente com correção do solo com calagem e gessagem na recuperação de um solo alterado pela construção da hidrelétrica de Ilha Solteira, verificaram melhorias

nos atributos químicos no solo, principalmente no pH, na camada de 0-20 cm de profundidade. Pode-se então constatar que as alterações causadas pelos tratamentos aplicados nessas pesquisas surtiram efeito mais rapidamente na camada superior do solo. Kitamura et al. (2008) enfatizam que em um estudo para a recuperação de área degradada, o grande desafio é reestabelecer um horizonte A, para a partir daí a biosfera consiga catalisar o processo de recuperação.

Bressan et al. (2013) em estudo no Cerrado Maranhense avaliaram o efeito de plantas de cobertura sobre os atributos químicos de um Latossolo Amarelo distrófico sob sistema de plantio direto e constataram que os teores de nutrientes e matéria orgânica foram mais altos até os primeiros 20 cm de profundidade e que as principais variáveis edáficas capazes de elucidar os efeitos das plantas de cobertura foram pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, K^+ e V até 10 cm, a partir de então Zn^{2+} , MO e o Al^{3+} . O sistema de plantio direto por utilizar cobertura morta no solo tem o princípio semelhante as plantas de cobertura que são utilizadas em recuperações de áreas degradadas, visto que elas diminuem o impacto das gotas da chuva e ainda contribuem para uma boa disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica, no entanto a proteção que a cobertura viva proporciona é mais eficiente, visto que elas estão em contato direto com o solo através das raízes (PEREIRA, 2012).

Silva, Pereira e Rodrigues (2011) avaliando o desenvolvimento e o estabelecimento de espécies arbóreas sob diferentes doses de corretivo em um solo afetado por processos erosivos, concluíram que o uso do calcário é dispensável na fase inicial de desenvolvimento da planta no Cerrado Maranhense, o que evidencia a importância de um estudo aprofundado da área degradada a ser recuperada, visto que cada área terá uma particularidade, fazendo com que os métodos para recuperá-la sejam diferentes.

2.4. Plantas herbáceas na recuperação de áreas degradadas

A recuperação de áreas degradadas é um processo demorado, porém possível, sendo assim, a escolha das plantas com boa capacidade de crescimento e desenvolvimento nesses ambientes degradados é de suma importância. Plantas nativas são ótimas opções, visto que estão adaptadas às condições climáticas e também a escolha de um manejo composto por práticas que favoreçam a recuperação, como por exemplo cobrir o solo com plantas (ALVES et al., 2007).

Para uma escolha ideal das espécies e suas respectivas densidades que irão tentar recuperar determinado ambiente degradado deve-se levar em consideração aspectos, climáticos, edáficos, fisiológicos e ambientais (PEREIRA, 2012). Uma escolha equivocada do material vegetal pode acarretar em problemas como redução da umidade do solo, aumento de deslizamentos e desagregação do solo, aumento do impacto de gotas de chuva entre outros (PEREIRA, 2012).

Dessa forma, Carvalho (2016) prospectou espécies de plantas que apareciam voluntariamente nos taludes da obra do PISF. Entre todas as plantas identificadas como potencialmente utilizáveis para recuperação de área degradada através da cobertura vegetal, as que se destacaram foram *Senna uniflora* (Mill.) H.S.Irwin & Barneby, *Tridax procumbens* e a *Raphiodon echinus*.

Também conhecida como Mata-pasto ou Mata-pasto-peludo, a *Senna uniflora* (Mill.) H.S.Irwin & Barneby é uma erva ou subarbusto pertencente à família botânica Fabaceae, nativa do bioma Caatinga no Semiárido Brasileiro (ALVES et al., 2009; LORENZI, 2008). A planta tem uma altura média de 1,5 m, seu caule não apresenta espinhos, as folhas são parimpinadas apresentando de 3 a 5 pares de folíolos pilosos. As vagens também apresentam pilosidade e medem cerca de 4 a 7 centímetros de comprimento, é espontânea, pioneira e propaga-se por sementes (COSTA et al., 2002).

A presença espontânea dessa planta em áreas degradadas, sugere a existência de uma alta rusticidade e resiliência, apresentando um bom potencial para recuperação de áreas degradadas (ALVES et al., 2009; FAVERO et al., 2000; LORENZI, 2008). Favero et al. (2000) ressaltam ainda a sua importância para o Semiárido como planta forrageira e adubo verde.

No que diz respeito a fenologia, a *Senna uniflora* brota normalmente nas primeiras chuvas, que ocorrem entre os meses de novembro e dezembro no sertão. Três meses após a brotação surgem as primeiras flores e um mês depois já é possível perceber o surgimento dos primeiros frutos (COSTA et al., 2002).

Pertencente à família Asteraceae, a Erva-de-touro (*Tridax procumbens*) é originária da região semiárida. Essa espécie é mais conhecida como uma planta daninha, pelo fato de se multiplicar e desenvolver agressivamente em cultivos comerciais (BIANCO; PITELLI; CARVALHO, 2004). No entanto, para a finalidade de recuperação de áreas degradadas ela se adequa perfeitamente por conta do seu hábito, que contribui para a proteção em cobertura do solo, diminuindo assim os efeitos erosivos (ALVES et al., 2009).

A Erva-de-touro é uma planta herbácea anual com reprodução por sementes, que apresenta caules ascendentes, altamente competitiva com um bom desenvolvimento em lugares de temperatura do ar elevada (ALVES et al., 2009). Sua plântula apresenta cotilédones em forma de espátula, levemente pilosos. O seu porte varia entre 30 a 50 cm com caules cilíndricos pilosos e nós capazes de formar raízes adventícias quando em contato com o solo, característica essa que favorece a cobertura do mesmo. Suas folhas são ásperas e pilosas com tamanhos variando entre 4 a 6 cm por 1 a 3 cm de largura (COSTA et al., 2002).

Dentre vários representantes da família Lamiaceae na Caatinga, o gênero *Raphiodon*, representado pela espécie *Raphiodon echinus*, é o mais comumente encontrado neste bioma. A planta é considerada invasora, podendo ser encontrada em áreas sujeitas a inundação temporária, em beiras de estradas e cultivos abandonados (DIAS; KIILL, 2007)

A falsa-menta ou menta-rasteira é uma planta herbácea perene que se desenvolve nas regiões nordeste e sudeste do Brasil. Ela está bastante presente no polo de fruticultura irrigada do Vale do São Francisco formando densas populações (DIAS; KIILL, 2007), o que a caracteriza como planta daninha.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do experimento

O experimento foi desenvolvido no município de Cabrobó-PE nas áreas de captação do canal no eixo norte entre as coordenadas 08°26'52,6"S e 39°24'54,0"O e a 366 m de altitude. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é classificado como BSw'h', com características de semiárido e chuvas concentradas no verão, a precipitação anual da região é de 561,3 mm, com temperatura média anual de 26°C, mínima de 20,8°C e máxima de 33,4°C. A umidade relativa do ar média anual é de 60% (DCA/UFCEG, 2017). O experimento teve início em março de 2016 e estendeu-se até junho de 2017, os dados climáticos referentes ao período experimental encontram-se na Figura 1.

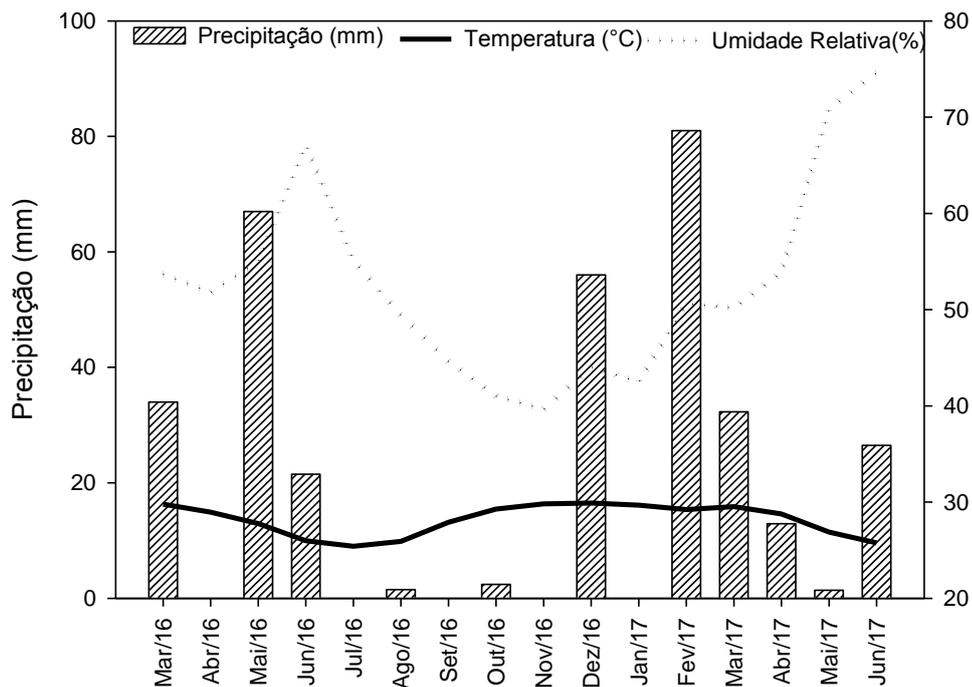


Figura 1. Precipitação, temperatura e umidade relativa média mensais durante o período experimental. Fonte: INMET, APAC.

As áreas selecionadas para implementação dos blocos de consórcio das plantas herbáceas nativas foram aquelas em que não apresentaram cobertura do solo, portanto, são áreas de solo exposto, desestruturado, compactado e com ausência total de plantas. Os locais escolhidos podem ser visualizados na figura 2.



Figura 2. Localização dos blocos de consórcio de plantas herbáceas no entorno do eixo norte

3.2. Preparo do solo

O solo no entorno do canal do eixo norte originalmente é classificado como Luvissole Crômico (TC), bastante pedregoso nas camadas superficiais, raso, com caráter eutrófico e textura franco arenosa (CARVALHO, 2016). No entanto em alguns blocos de consórcio é possível observar alguns vestígios da obra, com uma modificação tão grande que o solo pode ser classificado como uma espécie de substrato. A textura do solo média de toda área degradada do entorno da captação do eixo norte é composta pelas seguintes proporções em $g\ kg^{-1}$: areia 684; silte 159; argila 157.

Foi realizado o revolvimento da camada superior do solo com grade niveladora e ainda, visando subsidiar uma melhor condição para o desenvolvimento inicial das plantas, foi realizada uma adubação baseada na análise de solo e na recomendação para culturas anuais com NPK (10-10-10) utilizando-se a dose de $986\ kg\ ha^{-1}$. Foi realizada também uma adubação com farinha de rocha MB-4 (Silicato de magnésio 10%Si; 6% Mg) na dose de $822\ kg\ ha^{-1}$.

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, sendo os tratamentos compostos por 15 densidades de plantas e a testemunha (sem plantio).

Cada bloco apresentava uma área de 304 m², cada parcela de tratamento apresentava dimensões de 5,0 m de comprimento e 2,0 m de largura, totalizando 10 m², com espaçamento de 1,0 m entre parcelas e bordadura de 0,25 m. O semeio das três espécies de plantas herbáceas foi realizado manualmente em linhas, com diferentes espaçamentos e densidades em março de 2016 (Tabela 1).

Devido aos baixos índices pluviométricos registrados no início do período experimental nos meses de março e abril (Figura 1) foi necessário a complementação da disponibilidade hídrica através de irrigação para que as sementes pudessem germinar, visto que essas plantas tem uma grande capacidade de se manterem em estágio de dormência até que as condições ambientais fossem mais favoráveis. Como em 2016 o regime pluviométrico, principalmente no período chuvoso da região foi muito baixo foram realizadas regas manuais cinco vezes por semana com o objetivo de favorecer a germinação e o desenvolvimento inicial. Em cada rega foi utilizada uma lâmina de irrigação de aproximadamente 3,28 mm durante os meses de março, abril, maio e meados de junho.

3.3. Modelo de recuperação de áreas degradadas

O modelo de recuperação proposto foi definido a partir de um estudo anterior realizado por Carvalho (2016) em áreas de taludes nos dois eixos dos canais da transposição do PISF, objetivando prospectar espécies herbáceas pioneiras da flora nativa do bioma Caatinga com potencial para cobertura vegetal de áreas degradadas.

Para isso, foi realizado um levantamento florístico seguido de um levantamento da cobertura e adensamento do estrato herbáceo (CARVALHO, 2016). A partir de tais informações foram criados atributos para a seleção das espécies, sendo eles: origem, hábito, ciclo de vida, propagação, síndrome de dispersão, cobertura, adensamento e efeito alelopático (CARVALHO, 2016). Cada atributo tinha seu respectivo peso para uma pontuação de acordo com o seu grau de importância para cobertura do solo e a recuperação de áreas degradadas (CARVALHO, 2016).

O estudo destacou as espécies *Senna uniflora*, *Tridax procumbens* e *Raphiodon echinus* como potencialmente utilizáveis para recuperação de áreas degradadas no semiárido, principalmente pela boa capacidade de cobertura do solo. Concluiu-se ainda com o trabalho que essas espécies favorecem a regeneração natural de áreas degradadas, pois apresentam boa capacidade de dispersão de sementes, boa capacidade de fixação de nitrogênio e promovem uma boa proteção do solo (CARVALHO, 2016).

Para o desenvolvimento do modelo mais apropriado para cobertura vegetal nas áreas do PISF, o Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental da UNIVASF (NEMA/UNIVASF) desenvolveu-se diferentes consórcios entre as três espécies a fim de testar a capacidade e eficiência na cobertura do solo exposto (NEMA, 2016).

As três espécies herbáceas foram consorciadas entre si, com destaque para a *Senna uniflora*, visto que ela obteve uma melhor pontuação e foi considerada dominante, sendo assim, na linha central de cada parcela foram semeadas as espécies de *Tridax procumbens* e *Raphiodon echinus* e nas demais a *Senna uniflora* (CARVALHO, 2016). Todas as densidades avaliadas podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1. Densidades das plantas dos tratamentos avaliados e o número de indivíduos por espécie dentro de cada parcela

Densidades	T 1.1	T 1.2	T 1.3	T 1.4	T 1.5
<i>S. uniflora</i> (100%)	20	36	48	64	80
<i>R. echinus</i> (0%)	0	0	0	0	0
<i>T. procubens</i> (0%)	0	0	0	0	0
Total	20 plantas	36 plantas	48 plantas	64 plantas	80 plantas
Densidades	T 2.1	T 2.2	T 2.3	T 2.4	T 2.5
<i>S. uniflora</i> (70%)	20	36	48	64	80
<i>R. echinus</i> (15%)	4	8	11	14	17
<i>T. procubens</i> (15%)	4	8	11	14	17
Total	28 plantas	52 plantas	70 plantas	92 plantas	114 plantas
Densidades	T 3.1	T 3.2	T 3.3	T 3.4	T 3.5
<i>S. uniflora</i> (50%)	20	36	48	64	80
<i>R. echinus</i> (25%)	10	18	25	33	40
<i>T. procubens</i> (25%)	10	18	25	33	40
Total	40 plantas	72 plantas	96 plantas	130 plantas	160 plantas

3.4. Coletas de solo

Foram realizadas coletas de solo deformadas nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade e indeformadas na camada 0-20 cm. A primeira coleta foi realizada antes da implementação do experimento em março de 2016, obtendo assim o tratamento testemunha que foi comparado com os demais (Tabelas 2, 3 e 4).

Tabela 2. Atributos químicos do solo na condição inicial (testemunha) em março de 2016, na profundidade de 0-20 cm

Blocos	pH	CE	MO	Na	K	Ca	Mg	SB	CTC	P
0-20 cm	H ₂ O (1:2,5)	dS.m ⁻¹	g.kg ⁻¹	-----cmol _c .dm ⁻³ -----			mg.dm ⁻³			
I	7,95	0,46	5,78	1,96	0,10	4,08	6,09	12,23	13,79	1,16
II	7,34	6,78	10,04	4,53	0,20	4,66	3,95	13,34	15,23	17,72
III	6,61	0,85	13,53	0,22	0,15	3,23	2,86	6,46	10,67	2,53
IV	6,99	4,01	12,65	0,39	0,15	2,53	0,79	3,86	6,09	1,93

pH; condutividade elétrica (CE); teor de matéria orgânica (MO); teor de sódio (Na); teor de potássio (K); teor de magnésio (Mg); teor de cálcio (Ca); soma de bases trocáveis (SB); capacidade de troca de cátions (CTC); porcentagem de sódio trocável (PST); teor de fósforo (P).

Tabela 3. Atributos químicos do solo na condição inicial (testemunha) em março de 2016, na profundidade de 20-40 cm

Blocos	pH	CE	MO	Na	K	Ca	Mg	SB	CTC	P
20-40 cm	H ₂ O (1:2,5)	dS.m ⁻¹	g.kg ⁻¹	-----cmol _c .dm ⁻³ -----			mg.dm ⁻³			
I	7,50	1,44	4,36	1,61	0,10	3,64	5,60	10,95	13,68	72,50
II	7,38	13,12	6,54	4,05	0,20	5,13	3,25	12,63	15,68	5,81
III	5,42	2,96	14,62	0,35	0,18	5,73	5,02	11,28	20,77	4,56
IV	6,59	5,97	6,98	0,52	0,18	2,46	0,69	3,85	10,04	4,28

pH; condutividade elétrica (CE); teor de matéria orgânica (MO); teor de sódio (Na); teor de potássio (K); teor de magnésio (Mg); teor de cálcio (Ca); soma de bases trocáveis (SB); capacidade de troca de cátions (CTC); porcentagem de sódio trocável (PST); teor de fósforo (P).

Tabela 4. Atributos físicos do solo na condição inicial (testemunha) em março de 2016 na profundidade de 0-20 cm

Blocos	Areia	Argila	Silte	Ds	Pt	Ma	Mi
0-20 cm	-----g.kg ⁻¹ -----			g.cm ⁻³	-----%-----		
I	796,28	84,00	119,72	1,70	33,64	16,87	16,77
II	812,50	46,00	141,50	1,54	40,96	17,22	23,74
III	555,54	242,00	202,46	1,43	44,74	11,78	32,96
IV	796,87	17,00	186,13	1,53	38,65	16,89	21,76

Teor de areia (Areia); teor de argila (Argila); teor de silte (Silte); densidade do solo (Ds); porosidade total (Pt); macroporosidade (Ma); microporosidade (Mi).

Em novembro de 2016 foi realizada uma segunda coleta, logo após o término do ciclo das culturas. A qual ocorreu após o período mais seco do ano na região (agosto a novembro) (DCA/UFMG, 2017). As informações dessa coleta são referentes a primeira geração das plantas herbáceas que foram semeadas manualmente (Figura 3).

A terceira coleta foi realizada em junho de 2017, após o período chuvoso, que segundo as normais climatológicas, inicia-se em meados de dezembro e estende-se até maio (DCA/UFMG, 2017). As informações obtidas após a coleta foram referentes a época após o período chuvoso e a segunda geração de plantas herbáceas, que surgiram espontaneamente a partir das primeiras plantas (Figura 3).

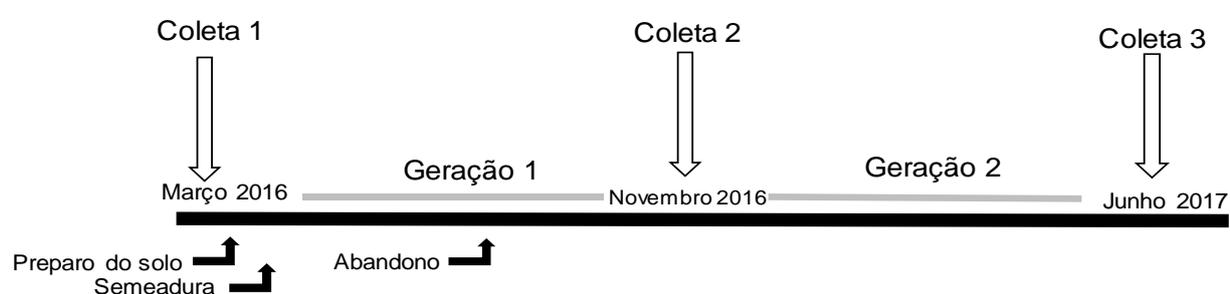


Figura 3. Esquema das etapas de coleta do solo e sua temporalidade

Ao todo foram coletadas 60 amostras deformadas em cada profundidade, totalizando 120 amostras por coleta, obedecendo as parcelas dos respectivos tratamentos nos quatro blocos estudados. Foram ainda coletadas 60 amostras indeformadas por coleta com anéis volumétricos (5 cm de diâmetro e 5 cm de altura) na profundidade de 0-20 cm. A coleta das amostras indeformadas na profundidade de 20-40 cm não foi possível devido à enorme pedregosidade encontrada nas áreas, o que impediu a amostragem dos anéis volumétricos.

3.5. Análises laboratoriais

Em laboratório as amostras deformadas foram secas ao ar, destorroadas e homogeneizadas, em seguida passadas em peneira de malha 2,0 mm para a obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), onde foram devidamente identificadas e armazenadas para a realização das análises químicas e textura. Já as amostras indeformadas foram refrigeradas até a realização das análises físicas.

As análises químicas realizadas seguiram as metodologias propostas por Donagema et al. (2011), no qual o pH foi determinado em água (1:2,5); condutividade elétrica (CE) através do método da pasta saturada, o teor de matéria orgânica (MO) a partir da sua oxidação a CO₂ por íons de dicromato em meio fortemente ácido, o teor de fósforo (P) pela espectrometria ultra violeta (UV) visível, os teores de sódio (Na) e potássio (K) foram extraídos pelo método do Mehlich 1 e a leitura foi realizada a partir de fotometria de emissão de chama, o Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) foram extraídos a partir de solução de KCl 1,0 mol.L⁻¹ e a leitura realizada através de espectrometria de absorção atômica, a acidez potencial (H+Al) a partir da extração com acetato de cálcio e titulação alcalimétrica do extrato. A partir das análises foram calculados a soma de bases (SB), saturação de bases (V%), capacidade de troca de cátions (CTC) e a porcentagem de saturação de sódio (PST).

Algumas amostras apresentaram uma elevada condutividade elétrica (> 4,0 dS.m⁻¹), sendo consideradas salinas segundo a classificação de Richards (1954), então a determinação dos cátions trocáveis e do P procedeu-se através das metodologias descritas por Olsen et al. (1954) e Thomas (1982). O P foi extraído a partir de solução de bicarbonato de sódio, e efetuada a determinação a partir de espectrometria ultra violeta (UV) visível (OLSEN et al., 1954). Já os cátions Ca, Mg, K e Na foram submetidos a uma lavagem com álcool 92,8° e extraídos com uma solução de acetato de amônio 1,0 mol.L⁻¹ (THOMAS, 1982), sendo que o Na e K foram determinados por fotometria de emissão de chama, e Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica (USSL STAFF, 1954).

As análises físicas consistiram em textura pelo método da pipeta, densidade do solo (Ds) e porosidade total (PT) pelo método gravimétrico da estufa proposto por Donagema et al. (2011). A macro (Ma) e microporosidade (Mi) foram estimadas através de um modelo matemático proposto por Stolf et al. (2011), utilizando-se os dados de densidade do solo e teor de areia encontrados a partir dos anéis volumétricos.

3.6. Análises estatísticas

As médias foram submetidas aos testes de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk) e da variância (Bartlett), foram também realizadas transformações quando necessário e análise de variância. O teste de média utilizado foi o proposto por Scott-

Knott, teste indicado para experimentos com muitos tratamentos, com variáveis instáveis e com alto coeficiente de variação.

Foi ainda realizada uma análise estatística entre as três coletas realizadas, para verificar o efeito do tempo sobre os atributos do solo influenciado pela inserção das densidades de plantas. Para essa análise, cada coleta foi considerada como um tratamento e cada bloco de consórcio foram as repetições, sendo assim essa segunda análise foi realizada considerando-se um experimento em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC com 3 tratamentos (testemunha, segunda coleta e terceira coleta) e 4 repetições (as médias dos diferentes blocos de consórcio implantados). Os procedimentos estatísticos foram semelhantes, onde foram avaliadas as médias dos atributos do solo das duas coletas comparando com a testemunha (Ex: primeira coleta x testemunha, segunda coleta x testemunha) e o teste de média utilizado foi o teste t. Foi utilizado o software R Core Team (2016) para a realização das análises estatísticas.

4. RESULTADOS

4.1. Atributos químicos do solo na segunda coleta

Na segunda coleta (novembro de 2016), logo após o término do ciclo das plantas herbáceas na profundidade de 0-20 cm, o pH do solo não apresentou diferença estatística e sua média variou entre 6,7 e 7,2 apresentando uma baixa alteração entre os tratamentos avaliados. Com relação a condutividade elétrica (CE), foram encontradas médias elevadas, variando de 1,8 a 5,2 dS m⁻¹, o que evidencia a presença de sais solúveis nos blocos de consórcios. No entanto entre os tratamentos avaliados não foi verificada diferença significativa (Tabela 5).

Com relação ao conteúdo de matéria orgânica do solo (MO), todas as densidades de plantas avaliadas apresentaram-se superiores a condição inicial do solo (6,5 g kg⁻¹), dentre os demais tratamentos não houve diferença estatística e o conteúdo de MO presente variou de 11,1 a 16,8 g kg⁻¹ (Tabela 5).

Tabela 5. Atributos químicos do solo da segunda coleta na profundidade de 0-20 cm após o cultivo de plantas herbáceas nas áreas modificadas pelo eixo norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

Trat	pH	CE	MO	Na	K	Mg	Ca	SB	CTC	PST	P
	H ₂ O	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----							%
1.1	6,9 ^{ns}	1,8 ^{ns}	16,8 a	1,8 ^{ns}	0,8 a	6,8 b	4,4 ^{ns}	13,7 b	13,7 b	12,7 ^{ns}	37,7 a
1.2	6,9	4,0	14,4 a	1,5	0,8 a	34,5 a	3,2	40,0 a	40,0 a	13,6	56,5 a
1.3	6,7	2,4	15,9 a	2,3	0,9 a	7,8 b	4,2	15,3 b	15,3 b	15,3	27,5 a
1.4	6,8	2,8	15,6 a	2,0	1,0 a	9,8 b	4,5	17,2 b	17,3 b	11,5	31,5 a
1.5	6,8	2,2	15,3 a	3,1	1,8 a	8,4 b	5,0	18,2 b	18,3 b	16,7	72,6 a
2.1	7,0	2,1	14,8 a	4,5	1,1 a	8,9 b	3,6	18,1 b	18,1 b	24,8	51,1 a
2.2	6,9	2,8	14,3 a	4,4	0,7 a	12,8 b	4,1	22,0 b	22,0 b	20,2	42,9 a
2.3	6,9	2,6	14,8 a	6,3	0,9 a	11,8 b	2,7	21,6 b	21,7 b	29,0	56,9 a
2.4	6,9	3,0	11,5 a	5,2	0,8 a	12,2 b	3,1	21,3 b	21,3 b	24,4	14,4 b
2.5	6,9	2,3	11,1 a	6,9	1,0 a	10,0 b	5,1	22,9 b	22,9 b	30,1	46,6 a
3.1	7,0	2,2	12,0 a	3,9	0,8 a	8,1 b	4,3	17,1 b	17,1 b	22,6	58,6 a
3.2	6,9	2,8	13,2 a	2,6	0,8 a	11,0 b	2,0	16,4 b	16,4 b	15,6	45,4 a
3.3	6,9	4,9	12,5 a	2,8	0,8 a	10,9 b	3,3	17,9 b	18,0 b	15,8	37,0 a
3.4	6,7	2,8	13,7 a	2,6	0,9 a	10,5 b	3,1	17,0 b	17,0 b	15,0	28,1 b
3.5	6,9	5,2	13,3 a	2,3	0,9 a	9,4 b	3,3	15,8 b	15,8 b	14,2	24,3 b
Test	7,2	3,0	6,5 b	1,8	0,2 b	3,4 c	3,6	9,0 c	9,0 c	19,8	5,8 c
CV(%)	5,9	6,6	15,1	53,7	13,2	36,5	36,5	15,2	15,1	43,8	33,7

*Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade segundo o teste de Scott-Knott; ns=não significativo. pH; condutividade elétrica (CE); teor de matéria orgânica (MO); teor de sódio (Na); teor de potássio (K); teor de magnésio (Mg); teor de cálcio (Ca); soma de bases trocáveis (SB); capacidade de troca de cátions (CTC); porcentagem de sódio trocável (PST); teor de fósforo (P). Tratamentos 100% *S. uniflora*: 1.1, 20 plantas; 1.2, 36 plantas; 1.3, 48 plantas; 1.4, 64 plantas; 1.5, 80 plantas. Tratamentos 70% *S. uniflora*, 15% *R. echinus* e 15% *T. procumbens*: 2.1, 28 plantas; 2.2, 52 plantas; 2.3, 70 plantas; 2.4, 92 plantas; 2.5, 114 plantas. Tratamentos 50% *S. uniflora*, 25% *R. echinus* e 25% *T. procumbens*: 3.1, 40 plantas; 3.2, 72 plantas; 3.3, 96 plantas; 3.4, 130 plantas; 3.5, 160 plantas e testemunha (condição inicial, sem plantas).

Dentre os cátions trocáveis o Na está presente em concentrações elevadas, visto que foram observados valores de porcentagem de sódio trocável de 29% e teor de 6,9 cmol_c dm⁻³, porém quando comparou-se as médias dos tratamentos avaliados não foi possível verificar diferença significativa. Outro cátion em que não foi verificada diferença significativa foi o Ca e seus valores variaram entre 2,7 e 4,5 cmol_c dm⁻³ (Tabela 5).

Os cátions trocáveis em que foram observadas diferenças significativas foram o K e o Mg. A principal semelhança entre eles está relacionada a condição inicial, em ambos houve diferença significativa em relação a testemunha. Para o K o teor inicial foi de 0,2 cmol_c dm⁻³ e para os demais tratamentos a variação foi de 0,9 a 1,8 cmol_c dm⁻³. Já para o Mg, a condição inicial foi de 3,6 cmol_c dm⁻³, todos os demais tratamentos foram estatisticamente superiores, com destaque para o tratamento 1.2 que apresentou um valor de 34,5 cmol_c dm⁻³. A presença marcante do Mg nos blocos de consócio refletiu nas

variáveis soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (CTC), obtendo resultados semelhantes visto que a acidez potencial (H+Al) com concentrações baixíssimas de H^+ e Al^{+3} tem pouca influência nos resultados dessas variáveis. Dessa forma a saturação por bases (V%) dos blocos de consórcio foram próximas de 100% (Tabela 5).

Já para o teor de P as densidades de plantas 2.4, 3.4, e 3.5 apresentaram teores menores em relação as demais densidades (14,4; 28,1 e 24,3 $mg\ dm^{-3}$, respectivamente). No entanto, todas as densidades de plantas foram superiores a testemunha que apresentou valor de 5,8 $mg\ dm^{-3}$ (Tabela 5).

Ainda na segunda coleta (novembro de 2016), na profundidade de 20-40 cm, observa-se as características químicas avaliadas com efeito semelhante à camada superficial. O pH variou entre os tratamentos de 6,7 a 7,8 e não foi encontrada diferença significativa, assim como a CE que variou entre 1,5 e 4,9 $dS\ m^{-1}$. Resultado semelhante a camada superficial foi também encontrado para o teor de MO, onde todos os tratamentos apresentaram-se superiores à testemunha (5,6 $g\ kg^{-1}$) (Tabela 6).

O teor de Na, também se encontra elevado na camada subsuperficial, a PST equivalente encontrada nos blocos de consórcio variou entre 14,1 a 33,9%, todavia não foi verificada diferença estatística entre os tratamentos, assim como para o teor do cátion no solo. Os cátions Ca e Mg também não apresentaram diferença estatística. Por consequência a SB e a CTC também não diferiram estatisticamente (Tabela 6).

O K foi o único dos cátions trocáveis onde foi verificada diferença significativa, na camada de 20-40 cm de profundidade, em que os tratamentos foram superiores a testemunha (Tabela 6). Na profundidade de 20-40 cm, também não foi verificada diferença estatística no teor de P (Tabela 6).

Tabela 6. Atributos químicos do solo da segunda coleta na profundidade de 20-40 cm após o cultivo de plantas herbáceas nas áreas modificadas pelo eixo norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco

Trat	pH	CE	MO	Na	K	Mg	Ca	SB	CTC	PST	P
	H ₂ O	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----							%
1.1	7,0 ^{ns}	2,4 ^{ns}	17,3 a	3,3 ^{ns}	0,8 a	10,9 ^{ns}	4,1 ^{ns}	19,2 ^{ns}	19,2 ^{ns}	16,5 ^{ns}	35,7 ^{ns}
1.2	7,1	3,7	14,4 a	3,5	0,5 a	9,8	3,4	17,0	17,0	23,0	31,3
1.3	6,8	3,6	14,9 a	3,0	0,6 a	5,8	3,5	12,8	12,9	26,1	41,2
1.4	7,8	1,5	16,2 a	1,9	0,7 a	4,8	4,6	12,,0	12,0	15,5	30,7
1.5	7,1	4,0	16,1 a	3,4	0,6 a	10,7	3,8	18,5	18,6	20,9	18,4
2.1	7,1	3,8	14,9 a	3,2	0,7 a	10,7	3,5	18,0	18,1	20,9	29,4
2.2	7,1	4,6	15,6 a	3,5	0,7 a	10,5	3,7	18,4	18,5	21,5	19,3
2.3	6,6	4,5	12,5 a	3,2	0,4 a	6,6	1,6	11,8	12,0	24,1	28,8
2.4	7,1	3,8	12,5 a	3,6	0,6 a	9,0	4,3	17,4	17,4	23,5	14,7
2.5	7,0	3,7	12,2 a	3,9	0,6 a	8,2	3,8	16,5	16,6	31,2	36,0
3.1	7,2	2,9	13,1 a	3,5	0,7 a	6,3	4,4	14,9	14,9	28,2	37,9
3.2	6,7	4,6	13,4 a	2,9	0,4 a	7,7	3,0	14,0	14,1	21,0	22,8
3.3	7,0	3,9	12,7 a	3,9	0,6 a	6,5	2,9	13,9	13,9	31,3	48,2
3.4	6,7	4,6	13,7 a	4,5	0,5 a	7,0	3,4	15,4	15,5	33,9	19,9
3.5	7,1	4,9	13,3 a	3,9	0,6 a	6,3	3,5	14,2	14,3	24,5	17,9
Test	7,0	3,4	5,6 b	1,6	0,2 b	3,6	4,2	9,7	10,7	14,1	21,8
CV(%)	6,9	29,8	36,4	49,48	14,6	53,4	39,5	29,5	29,0	56,4	31,5

*Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade segundo o teste de Scott-Knott; ns=não significativo. pH; condutividade elétrica (CE); teor de matéria orgânica (MO); teor de sódio (Na); teor de potássio (K); teor de magnésio (Mg); teor de cálcio (Ca); soma de bases trocáveis (SB); capacidade de troca de cátions (CTC); porcentagem de sódio trocável (PST); teor de fósforo (P). Tratamentos 100% *S. uniflora*: 1.1, 20 plantas; 1.2, 36 plantas; 1.3, 48 plantas; 1.4, 64 plantas; 1.5, 80 plantas. Tratamentos 70% *S. uniflora*, 15% *R. echinus* e 15% *T. procumbens*: 2.1, 28 plantas; 2.2, 52 plantas; 2.3, 70 plantas; 2.4, 92 plantas; 2.5, 114 plantas. Tratamentos 50% *S. uniflora*, 25% *R. echinus* e 25% *T. procumbens*: 3.1, 40 plantas; 3.2, 72 plantas; 3.3, 96 plantas; 3.4, 130 plantas; 3.5, 160 plantas e testemunha (condição inicial, sem plantas).

4.2. Atributos físicos do solo na segunda coleta

Os atributos físicos do solo analisados, densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi), não foram estatisticamente diferentes com relação aos tratamentos avaliados (Tabela 7).

A Ds variou entre 1,45 a 1,61 g cm⁻³. Para a Pt, houve uma variação entre os tratamentos de 32,6 a 42%. Da mesma forma a Mi apresentou uma variação de 21,8 a 27,5% e a Ma variou entre 8,8 e 18% (Tabela 7).

Tabela 7. Atributos físicos do solo da segunda coleta na profundidade de 0-20 cm após o cultivo de plantas herbáceas nas áreas modificadas pelo eixo norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

Densidades de plantas	Ds	Pt	Ma	Mi
	g.cm ⁻³	%		
1.1	1,53 ^{ns}	37,21 ^{ns}	12,7 ^{ns}	24,52 ^{ns}
1.2	1,46	37,9	16,2	21,8
1.3	1,60	35,5	9,7	25,8
1.4	1,45	40,2	17,9	22,3
1.5	1,48	42,0	14,8	27,2
2.1	1,42	40,2	18,0	22,2
2.2	1,55	36,4	12,0	24,4
2.3	1,46	41,3	15,9	25,4
2.4	1,48	39,1	15,0	24,1
2.5	1,50	38,6	14,3	24,3
3.1	1,47	40,6	13,1	27,5
3.2	1,52	38,7	12,7	25,9
3.3	1,61	32,6	8,8	23,8
3.4	1,59	32,9	9,7	23,2
3.5	1,53	35,5	13,7	21,8
Testemunha	1,55	39,6	12,8	26,7
CV(%)	6,6	14,3	34,0	16,2

*Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade segundo o teste de Scott-Knott; ns=não significativo. Densidade do solo (Ds); porosidade total (Pt); macroporosidade (Ma); microporosidade (Mi). Tratamentos 100% *S. uniflora*: 1.1, 20 plantas; 1.2, 36 plantas; 1.3, 48 plantas; 1.4, 64 plantas; 1.5, 80 plantas. Tratamentos 70% *S. uniflora*, 15% *R. echinus* e 15% *T. procumbens*: 2.1, 28 plantas; 2.2, 52 plantas; 2.3, 70 plantas; 2.4, 92 plantas; 2.5, 114 plantas. Tratamentos 50% *S. uniflora*, 25% *R. echinus* e 25% *T. procumbens*: 3.1, 40 plantas; 3.2, 72 plantas; 3.3, 96 plantas; 3.4, 130 plantas; 3.5, 160 plantas e testemunha (condição inicial, sem plantas).

4.3. Atributos químicos do solo na terceira coleta

Os atributos do solo na terceira coleta (junho de 2017) obtiveram efeitos semelhantes à da segunda coleta (novembro de 2016). O pH manteve-se próximo a neutralidade, variando entre 6,7 a 7,2, não sendo verificada diferença estatística. Os resultados da CE também tiveram efeito semelhante a segunda coleta, onde foi verificada a presença excessiva de sais solúveis no solo, com médias chegando até 4,1 dS m⁻¹ (Tabela 8).

Tabela 8. Atributos químicos do solo da terceira coleta na profundidade de 0-20 cm após o cultivo de plantas herbáceas nas áreas modificadas pelo eixo norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco

Trat	pH	CE	MO	Na	K	Mg	Ca	SB	CTC	PST	P
	H ₂ O	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----							%
1.1	7,2 ^{ns}	0,7 ^{ns}	8,6 ^{ns}	1,4 ^{ns}	0,2 ^{ns}	13,2 a	8,0 ^{ns}	22,8 a	22,8 a	6,1 ^{ns}	36,8 a
1.2	7,2	1,4	7,6	3,2	0,2	15,7 a	5,6	24,7 a	24,7 a	12,9	50,5 a
1.3	6,7	2,1	11,7	1,1	0,2	11,8 a	6,4	19,6 a	19,6 a	5,7	35,2 a
1.4	7,0	1,8	9,2	2,3	0,2	12,9 a	5,2	20,7 a	20,7 a	11,2	27,5 a
1.5	7,0	3,8	7,2	1,3	0,2	11,6 a	5,3	18,4 a	18,4 a	6,9	51,5 a
2.1	7,0	3,4	7,7	1,7	0,2	9,0 a	5,9	16,8 a	16,8 a	10,4	32,8 a
2.2	7,0	2,5	7,7	1,2	0,2	9,6 a	5,6	16,6 a	16,7 a	7,2	38,9 a
2.3	6,8	2,8	8,1	2,4	0,2	10,6 a	5,6	18,9 a	18,9 a	12,9	65,0 a
2.4	7,1	2,7	7,1	1,5	0,2	10,1 a	5,7	17,5 a	17,5 a	8,4	39,3 a
2.5	6,7	3,4	6,8	1,9	0,2	9,4 a	6,0	17,4 a	17,4 a	10,7	46,7 a
3.1	7,1	3,0	6,4	1,3	0,2	10,1 a	6,5	18,1 a	18,1 a	7,2	28,2 a
3.2	6,9	4,3	7,8	1,8	0,2	10,3 a	6,4	18,7 a	18,7 a	9,8	49,4 a
3.3	6,7	4,9	7,3	1,3	0,2	7,4 b	5,6	14,5 a	14,5 a	9,2	62,4 a
3.4	6,7	2,1	7,6	1,2	0,2	8,4 b	5,5	15,4 a	15,4 a	7,8	36,4 a
3.5	7,2	4,1	6,6	2,3	0,2	7,2 b	6,3	16,0 a	16,1 a	14,4	30,7 a
Test	7,2	3,0	6,5	1,8	0,2	3,4 c	3,6	9,0 b	9,0 b	19,8	5,8 b
CV(%)	4,6	48,5	15,9	33,6	10,2	24,0	22,0	8,4	8,3	32,7	28,1

*Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade segundo o teste de Scott-Knott; ns=não significativo. pH; condutividade elétrica (CE); teor de matéria orgânica (MO); teor de sódio (Na); teor de potássio (K); teor de magnésio (Mg); teor de cálcio (Ca); soma de bases trocáveis (SB); capacidade de troca de cátions (CTC); porcentagem de sódio trocável (PST); teor de fósforo (P). Tratamentos 100% *S. uniflora*: 1.1, 20 plantas; 1.2, 36 plantas; 1.3, 48 plantas; 1.4, 64 plantas; 1.5, 80 plantas. Tratamentos 70% *S. uniflora*, 15% *R. echinus* e 15% *T. procumbens*: 2.1, 28 plantas; 2.2, 52 plantas; 2.3, 70 plantas; 2.4, 92 plantas; 2.5, 114 plantas. Tratamentos 50% *S. uniflora*, 25% *R. echinus* e 25% *T. procumbens*: 3.1, 40 plantas; 3.2, 72 plantas; 3.3, 96 plantas; 3.4, 130 plantas; 3.5, 160 plantas e testemunha (condição inicial, sem plantas).

No entanto, para o conteúdo de matéria orgânico do solo (MO), não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados. Resultado diferente da segunda coleta, onde ocorreu aporte de matéria orgânica e as densidades de plantas diferiram do tratamento testemunha (condição inicial) (Tabela 8).

Com relação aos cátions trocáveis, apenas o teor de Mg apresentou diferença estatística, onde todas as densidades de plantas avaliadas foram superiores ao tratamento testemunha, contudo os tratamentos 1.2; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5; 2.1; 2.2; 2.3; 2.4; 2.5; 3.1 e 3.2 foram superiores os tratamentos 3.3; 3.4 e 3.5 (Tabela 8).

Para os teores de Ca, os níveis mantiveram-se semelhantes a segunda coleta, onde também não foi verificada diferença significativa. Já para o Na e o K, foi observada uma diminuição entre os teores nas duas coletas, mas também não foi verificada diferença estatística entre os tratamentos. A PST claramente foi mais baixa, porém quando comparada entre os tratamentos, não foi observada diferença estatística. Para a SB e CTC houve diferença significativa entre as densidades de plantas e a testemunha ($9,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 8).

Tabela 9. Atributos químicos do solo da terceira coleta na profundidade de 20-40 cm após o cultivo de plantas herbáceas nas áreas modificadas pelo eixo norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco

Trat	pH	CE	MO	Na	K	Mg	Ca	SB	CTC	PST	P
	H ₂ O	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----							%
1.1	7,1 ^{ns}	2,4 ^{ns}	12,5 ^{ns}	1,8 ^{ns}	0,3 ^{ns}	10,0 a	6,0 ^{ns}	18,1 ^{ns}	18,1 ^{ns}	7,9 ^{ns}	103,5 a
1.2	7,1	3,5	9,2	2,5	0,2	9,4 a	5,6	17,8	17,8	12,8	81,8 a
1.3	7,1	2,7	10,1	1,9	0,2	11,3 a	6,4	19,8	19,8	8,0	48,4 a
1.4	7,2	1,4	7,9	2,5	0,2	13,7 a	5,4	21,8	21,8	10,3	26,2 a
1.5	7,1	5,9	7,7	2,1	0,2	10,7 a	6,0	18,9	18,9	9,9	26,9 a
2.1	7,1	5,4	7,6	2,0	0,1	8,8 a	6,3	17,3	17,3	9,9	39,0 a
2.2	7,0	2,3	8,4	2,0	0,2	11,4 a	6,5	20,1	20,1	9,0	37,8 a
2.3	6,8	4,7	8,4	2,0	0,1	8,2 a	5,8	16,1	16,1	11,5	35,4 a
2.4	6,8	4,6	8,9	1,3	0,1	6,0 a	5,3	12,8	12,8	9,4	38,7 a
2.5	6,6	4,6	8,2	1,8	0,1	8,9 a	7,0	17,9	17,9	10,2	30,8 a
3.1	6,9	4,4	7,1	2,0	0,2	10,3 a	6,6	18,9	19,0	10,3	38,6 a
3.2	7,2	6,4	9,0	1,9	0,1	7,7 a	6,0	15,7	15,7	10,7	35,3 a
3.3	7,0	2,4	7,9	2,1	0,2	9,3 a	5,4	17,0	17,0	11,0	41,7 a
3.4	6,7	4,9	7,0	1,8	0,2	7,0 a	6,2	15,2	15,2	13,7	39,3 a
3.5	7,1	5,5	8,2	2,4	0,3	5,6 a	6,1	14,3	14,3	14,1	32,5 a
Test	7,0	3,4	5,6	1,6	0,2	3,6 b	4,2	9,7	10,3	14,6	21,8 b
CV(%)	5,5	33,7	33,1	53,1	16,3	40,7	26,2	26,5	26,6	53,6	17,8

*Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade segundo o teste de Scott-Knott; ns=não significativo. pH; condutividade elétrica (CE); teor de matéria orgânica (MO); teor de sódio (Na); teor de potássio (K); teor de magnésio (Mg); teor de cálcio (Ca); soma de bases trocáveis (SB); capacidade de troca de cátions (CTC); porcentagem de sódio trocável (PST); teor de fósforo (P). Tratamentos 100% *S. uniflora*: 1.1, 20 plantas; 1.2, 36 plantas; 1.3, 48 plantas; 1.4, 64 plantas; 1.5, 80 plantas. Tratamentos 70% *S. uniflora*, 15% *R. echinus* e 15% *T. procumbens*: 2.1, 28 plantas; 2.2, 52 plantas; 2.3, 70 plantas; 2.4, 92 plantas; 2.5, 114 plantas. Tratamentos 50% *S. uniflora*, 25% *R. echinus* e 25% *T. procumbens*: 3.1, 40 plantas; 3.2, 72 plantas; 3.3, 96 plantas; 3.4, 130 plantas; 3.5, 160 plantas e testemunha (condição inicial, sem plantas).

Corroborando com os resultados da coleta e profundidades anteriores, na camada de 20-40 cm o pH apresentou o mesmo efeito, variando próximo a 7,0 e a CE com valores médios altos, mas sem apresentar diferença estatística. O teor de MO também não diferiu estatisticamente, semelhante a camada superficial (Tabela 9).

Os cátions trocáveis Na, K e o Ca não diferiram estatisticamente entre os tratamentos avaliados, assim como a PST, semelhante à camada superior. Já para o teor de Mg foi verificada diferença significativa entre as densidades e o tratamento testemunha ($3,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 9).

Para o teor de fósforo (P), nos tratamentos que utilizaram plantas herbáceas foi superior ao encontrado na testemunha (Tabela 9).

4.4. Atributos físicos do solo na terceira coleta

Para a terceira coleta referente aos atributos físicos do solo, também não houve diferença estatística entre os tratamentos de plantas testados em nenhuma das variáveis analisadas (Tabela 10).

As médias de Ds, Pt, Ma e Mi foram muito semelhantes as médias da segunda coleta. Nenhuma das médias de Ds atingiram a densidade limite de $1,59 \text{ g cm}^{-3}$ (STOLF et al., 2011). As médias de Ds variaram entre 1,37 e $1,56 \text{ g cm}^{-3}$. Já a Pt oscilou entre 35,3 e 41,6%, a Ma entre 11,49 e 20,21% e a Mi entre 18,16 e 26,76% (Tabela 10).

Tabela 10. Atributos físicos do solo da terceira coleta na profundidade de 0-20 cm após o cultivo de plantas herbáceas nas áreas modificadas pelo eixo norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

Densidades de plantas	Ds	Pt	Ma	Mi
	g cm ⁻³	%		
1.1	1,51 ^{ns}	38,30 ^{ns}	13,77 ^{ns}	24,53 ^{ns}
1.2	1,44	35,30	17,15	18,16
1.3	1,56	35,36	11,49	23,88
1.4	1,53	36,13	14,13	22,00
1.5	1,45	36,77	16,50	20,28
2.1	1,45	39,76	16,75	23,01
2.2	1,52	36,99	13,37	23,62
2.3	1,47	36,34	15,20	21,14
2.4	1,37	41,60	20,21	21,39
2.5	1,46	41,11	16,16	24,95
3.1	1,49	38,87	12,11	26,76
3.2	1,53	35,67	12,31	23,36
3.3	1,45	37,69	15,97	21,72
3.4	1,50	37,31	13,98	23,32
3.5	1,48	37,17	15,80	21,37
Testemunha	1,55	39,58	12,83	26,74
CV(%)	5,9	9,8	31,0	16,03

*Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade segundo o teste de Scott-Knott; ns=não significativo. Densidade do solo (Ds); porosidade total (Pt); macroporosidade (Ma); microporosidade (Mi). Tratamentos 100% *S. uniflora*: 1.1, 20 plantas; 1.2, 36 plantas; 1.3, 48 plantas; 1.4, 64 plantas; 1.5, 80 plantas. Tratamentos 70% *S. uniflora*, 15% *R. echinus* e 15% *T. procumbens*: 2.1, 28 plantas; 2.2, 52 plantas; 2.3, 70 plantas; 2.4, 92 plantas; 2.5, 114 plantas. Tratamentos 50% *S. uniflora*, 25% *R. echinus* e 25% *T. procumbens*: 3.1, 40 plantas; 3.2, 72 plantas; 3.3, 96 plantas; 3.4, 130 plantas; 3.5, 160 plantas e testemunha (condição inicial, sem plantas).

4.5. Evolução temporal dos atributos do solo após o uso de plantas herbáceas

Com o objetivo de avaliar temporalmente as mudanças nos atributos do solo após o manejo da área (adubação, aração, uso de plantas herbáceas), foi realizado um comparativo entre as alterações do estado inicial da área (testemunha ou primeira coleta) e as duas coletas (segunda e terceira coleta).

Com relação ao teor de matéria orgânica, verificou-se que na segunda coleta obteve-se um maior teor (14,7 g kg⁻¹), sendo estatisticamente superior a testemunha (5,28 g kg⁻¹). A terceira coleta foi estatisticamente semelhante a testemunha e também a segunda coleta, com um teor de 7,8 g kg⁻¹ (Figura 4).

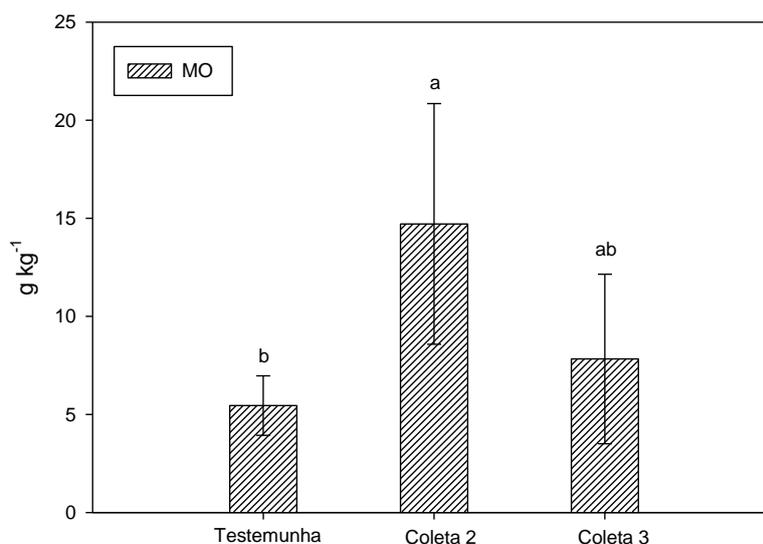


Figura 4. Médias e desvio padrão do teor de matéria orgânica nas diferentes coletas do experimento na camada de 0-20 cm de profundidade no eixo norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Testemunha, condição inicial (março de 2016); coleta 2, primeira geração (novembro de 2016); coleta 3, segunda geração (Jun de 2017). Médias seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade segundo o teste t.

Outra variável que sofreu influência significativa entre as coletas foi o teor de K em que na segunda coleta na profundidade de 0-20 cm atingiu o nível de $0,92 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, a partir de então, depois de cessar a irrigação e sem nova adubação, o teor voltou ao estágio inicial da testemunha, em torno de $0,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na terceira coleta (Figura 5).

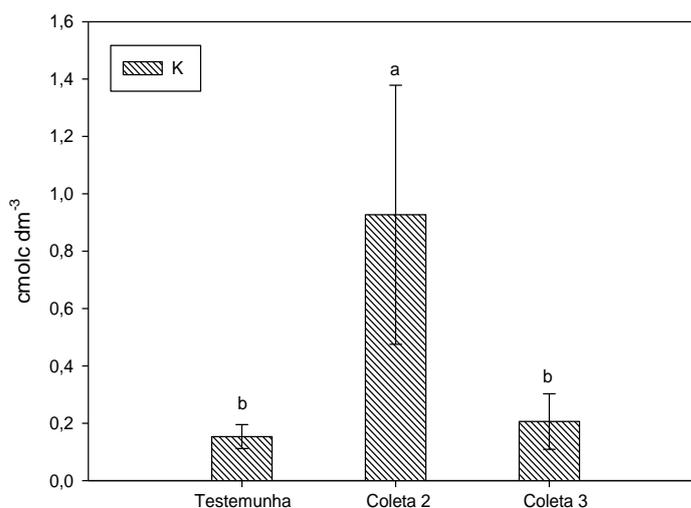


Figura 5. Médias e desvio padrão do teor de K nas diferentes coletas do experimento na camada de 0-20 cm de profundidade no eixo norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Testemunha, condição inicial (março de 2016); coleta 2, primeira geração (novembro de 2016); coleta 3, segunda geração (Jun de 2017). Médias seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade segundo o teste t.

Já com relação ao teor de Mg na camada 0-20 cm, verifica-se a manutenção do cátion no solo da área em recuperação entre a segunda e a terceira coleta, onde foram estatisticamente semelhantes com médias de 11,5 e 10,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente. A condição inicial, testemunha, foi estatisticamente inferior as demais coletas com 3,32 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Figura 6).

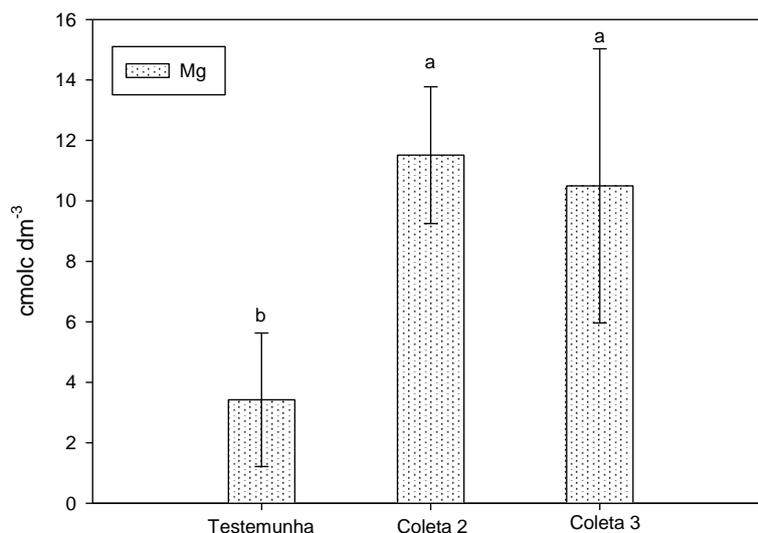


Figura 6. Médias e desvio padrão do teor de Mg nas diferentes coletas do experimento na camada de 0-20 cm de profundidade no eixo norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Testemunha, condição inicial (março de 2016); coleta 2, primeira geração (novembro de 2016); coleta 3, segunda geração (Jun de 2017). Médias seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade segundo o teste t.

A CTC na condição inicial (testemunha) na profundidade de 0-20 cm, o valor era de 9,11 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, já na segunda coleta houve um aumento significativo na capacidade de troca catiônica, onde foram observados valores de 19,76 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, valor esse que foi estatisticamente semelhante aos 18,24 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ da terceira coleta (Figura 7).

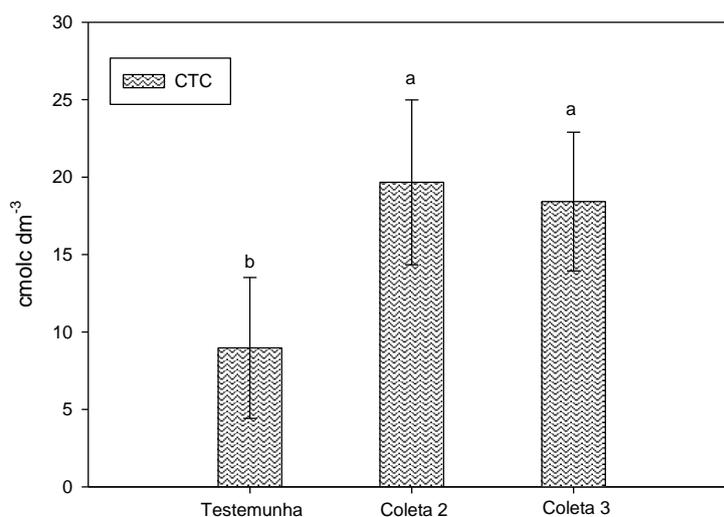


Figura 7. Médias e desvio padrão da capacidade troca de cátions nas diferentes coletas do experimento na camada de 0-20 cm de profundidade no eixo norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Testemunha, condição inicial (março de 2016); coleta 2, primeira geração (novembro de 2016); coleta 3, segunda geração (Jun de 2017). Médias seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade segundo o teste t.

O teor de P na camada superior na primeira coleta (testemunha) também era baixo, com média de 2,7 mg dm⁻³, havendo um incremento significativo, onde na segunda coleta o valor do teor de fósforo foi para 34,63 mg dm⁻³, e manteve-se estatisticamente estável na terceira coleta com o valor de 21,39 mg dm⁻³ (Figura 8).

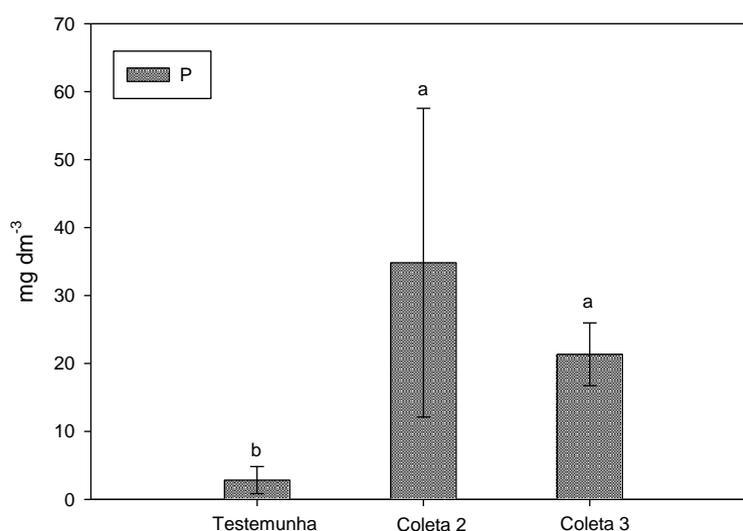


Figura 8. Médias e desvio padrão do teor de P nas diferentes coletas do experimento na camada de 0-20 cm de profundidade no eixo norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Testemunha, condição inicial (março de 2016); coleta 2, primeira geração (novembro de 2016); coleta 3, segunda geração (Jun de 2017). Médias seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade segundo o teste t.

Na camada de 20-40 cm o teor de K na condição inicial (testemunha) era de 0,16 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, na segunda coleta o teor de K era de 0,59 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, verificando diferença significativa entre as coletas. Já para terceira coleta, percebe-se uma diminuição significativa com relação a segunda coleta, atingindo o valor de 0,17 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, valor esse que é estatisticamente semelhante aos níveis de K encontrados na testemunha (Figura 9).

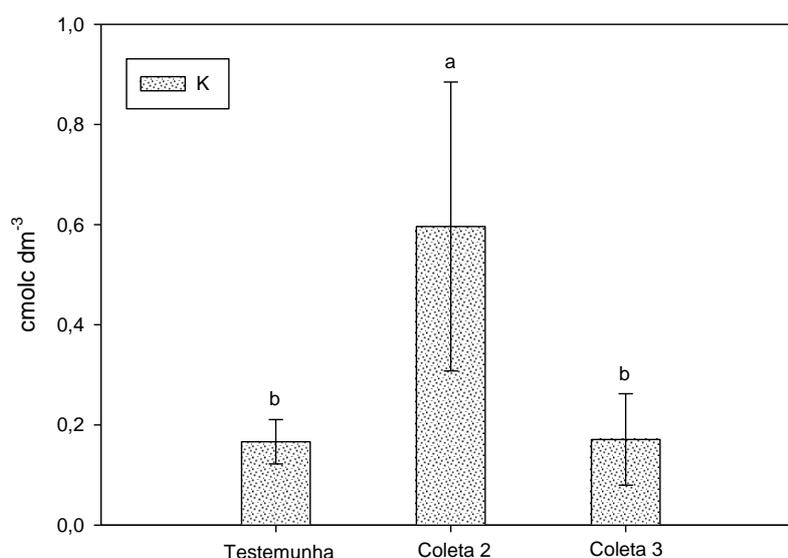


Figura 9. Médias e desvio padrão do teor de K nas diferentes coletas do experimento na camada de 20-40 cm de profundidade no eixo norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Testemunha, condição inicial (março de 2016); coleta 2, primeira geração (novembro de 2016); coleta 3, segunda geração (Jun de 2017). Médias seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade segundo o teste t.

Com relação ao teor de P na camada de 20-40 cm, foi observada diferença significativa entre a segunda e terceira coletas, onde foram estatisticamente semelhantes com valores médios de 15,46 e 21,19 mg dm^{-3} . A testemunha foi estatisticamente inferior das demais coletas com 5,82 mg dm^{-3} (Figura 10).

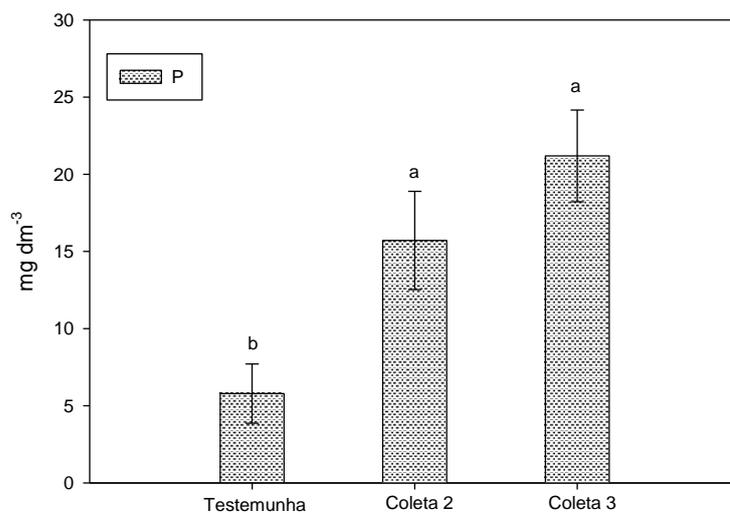


Figura 10. Médias e desvio padrão do teor de P nas diferentes coletas do experimento na camada de 20-40 cm de profundidade no eixo norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Testemunha, condição inicial (março de 2016); coleta 2, primeira geração (novembro de 2016); coleta 3, segunda geração (Jun de 2017). Médias seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade segundo o teste t.

5. DISCUSSÃO

5.1. Atributos químicos do solo

Na segunda coleta (novembro de 2016), logo após o término do ciclo da primeira geração das plantas herbáceas na profundidade de 0-20 cm (Tabela 5), as médias de pH do solo variaram em torno da neutralidade, elucidando o caráter básico do solo do entorno da obra de transposição do Rio São Francisco no eixo norte. Fenômeno como esse é comumente encontrado em solos do semiárido e afeta diretamente a disponibilidade de nutrientes, principalmente os micronutrientes ferro, cobre, manganês e zinco (LOPES, 1998).

O mesmo efeito foi observado para a profundidade de 20-40 cm na segunda coleta (Tabela 6) e também nas duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) da terceira coleta (Tabelas 8 e 9), onde não foi verificado nenhum tipo de alteração. Esse resultado evidencia a dificuldade de diminuir o pH do solo. Miranda et al. (2011) afirmam que as técnicas agronômicas para redução dos valores são mais complexas do que às referentes ao aumento do pH. Enquanto que para aumentar o pH é realizado a calagem, técnica comumente aplicada por produtores agrícolas, a redução no valor de pH geralmente é realizada por meio da gessagem e lavagem do solo.

Sá et al. (2015) objetivando avaliar os efeitos de doses de gesso e biofertilizantes nos atributos químicos de um solo salino-sódico verificaram diminuição significativa nos valores de pH em pouco mais de 60 dias após a aplicação do corretivo.

Os valores médios da condutividade elétrica em alguns tratamentos foram superiores a 4 dS m⁻¹ indicando solos salinos (SANTOS et al., 2013). Isto é uma característica comum em solos do semiárido (LOPES, 1998) devido às chuvas irregulares e escassas, drenagem deficiente, altos índices de evaporação, que favorecem o acúmulo de sais nos solos da região (PEDROTTI et al., 2015). Da mesma forma do pH, a condutividade elétrica foi uma variável onde não foi observada diferença em nenhuma das coletas e em nenhuma profundidade estudada (Tabelas 5, 6, 8 e 9). A presença de sais solúveis sugere a implementação de uma fonte de matéria orgânica externa, como por exemplo biofertilizante bovino. Sá et al (2015) utilizaram diferentes doses de biofertilizante e constataram uma diminuição da concentração de sais solúveis, o biofertilizante atuou promovendo a lixiviação dos sais ocorrendo a redução da salinidade. Sousa et al. (2012) também constataram efeitos benéficos da matéria orgânica sobre a salinidade do solo.

Com relação ao conteúdo de matéria orgânica (MO), a diferença significativa foi evidente em relação à testemunha na segunda coleta nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (Tabelas 5 e 6). Todas as densidades das plantas herbáceas avaliadas contribuíram para o aumento do teor de MO no solo, porém não foi possível determinar qual densidade de plantas se destacou, pois não foi encontrada diferença estatística entre as densidades. Longo, Ribeiro e Melo (2011), em um experimento avaliando diferentes fontes de adubação verde em gramíneas de cobertura não encontraram diferença significativa no teor de matéria orgânica após 15 meses do início da aplicação dos tratamentos. Em contrapartida, Pragna et al. (2012) afirmam que a matéria orgânica do solo é um excelente indicador de qualidade do solo, ideal para avaliação de sistemas de manejos recentes nos quais a alteração na matéria orgânica ainda não sejam em grandes magnitudes. Sendo assim, não foi observada diferença significativa nas profundidades estudadas na terceira coleta (Tabelas 8 e 9).

As médias elevadas da porcentagem de sódio trocável (PST) mostram que o Na aparece em elevada concentração em relação a CTC, alcançando médias de 30%. Sendo assim, os solos do entorno da obra da transposição no eixo norte, podem ser classificados como salino-sódicos segundo (RICHARDS, 1954), onde o solo apresenta um pH básico, elevada CE ($>4 \text{ dS m}^{-1}$) e PST acima de 15%. Altas porcentagens de Na no solo influenciam de forma negativa as propriedades físicas do solo, principalmente sua estrutura e sua porosidade devido o comportamento dispersivo dos coloides na presença de Na, fazendo com que ocorra uma migração ao longo do perfil do solo, podendo obstruir alguns poros, afetando a capacidade produtiva do solo (FREIRE; FREIRE, 2007). Esse efeito do teor de Na no solo foi observado durante todo o experimento, visto que não foi observada diferença significativa no teor de Na e na PST nas coletas e análises realizadas em duas profundidades (Tabelas 5, 6, 8 e 9).

O teor de Ca não apresentou diferença estatística em relação as densidades de plantas avaliadas em nenhuma das coletas e profundidades, em contrapartida teor de Mg nos tratamentos onde foram testadas diferentes densidades de plantas foram estatisticamente superiores, com destaque para o tratamento 1.2 na camada de 0-20 cm.

Para a camada de 20-40 cm de profundidade as variáveis obtiveram um efeito semelhante a primeira camada em relação as densidades de plantas avaliadas.

5.2. Atributos físicos do solo

Os atributos físicos do solo não sofreram nenhuma alteração significativa durante o experimento em nenhuma das coletas, as densidades das plantas herbáceas não influenciaram na Ds, Pt, Ma e Mi (Tabelas 7 e 10).

Estudos de recuperação de áreas degradadas usando como indicadores atributos físicos do solo, em sua maioria são mais longos, muitas vezes durando décadas, o pouco tempo do experimento pode não foi suficiente para observar alterações físicas no solo. Há necessidade da manutenção dos tratamentos por um período de tempo maior para que então consiga notar diferenças estatísticas entre os tratamentos avaliados (ALVES et al., 2007, 2011; CARNEIRO et al., 2009).

A Ds média do solo do entorno da obra foi de $1,50 \text{ g cm}^{-3}$, enquanto que a Ma foi de 14,22%. Stolf et al. (2011) enfatizam que o limite da macroporosidade do solo para o crescimento adequado de plantas deve ser de 10%. Portanto, o valor médio da Ma na área do entorno do PISF está adequado. Adicionalmente, Stolf et al. (2011) recomendam o uso da densidade limite para verificação do nível de compactação de solos. A densidade limite do solo pode ser obtida através de modelo matemático (STOLF et al, 2011) baseada na textura do solo. Para o presente estudo o valor médio de densidade limite foi de $1,59 \text{ g cm}^{-3}$, indicando que as densidades encontradas nos tratamentos estão próximas ao limite, essa informação poderá ser utilizada para a realização de novas ações que visem descompactar o solo e aumentar a aeração (Tabela 7).

Para a terceira coleta, as médias das variáveis foram muito semelhantes aos da segunda coleta, assim com a densidade crítica, não observando-se diferença significativa entre as três coletas realizadas.

A alta concentração de sódio na área dificulta a melhoria das condições físicas do solo, pois sua presença influencia na dispersão de argilas e contribui para a desestruturação do solo, tornando compacto e impermeável (RUIZ et al., 2004).

A pedregosidade presente na área em recuperação também influencia para uma maior compactação do solo, visto que no momento da amostragem, em alguns anéis volumétricos era comum de se encontrar a presença de pedras (LIMA; LEÓN; SILVA, 2013). A pedregosidade foi tão intensa na camada subsuperficial que impediu a coleta, indicando que esse será um fator limitante para o crescimento de plantas nas áreas alteradas pelo PISF, principalmente, àqueles que possuem crescimento radicular mais profundo, com plantas arbustivas e arbóreas.

5.3. Evolução temporal dos atributos do solo após o uso de plantas herbáceas

Com relação ao teor de matéria orgânica, observa-se que na segunda coleta obteve-se um maior teor ($14,7 \text{ g kg}^{-1}$), sendo superior a testemunha, mostrando que as plantas herbáceas proporcionaram um incremento de matéria orgânica ao solo nesse período. Todavia, o teor de MO na terceira coleta se assemelhou com a testemunha isso mostra que a primeira geração das plantas, que tiveram uma boa condição de desenvolvimento inicial, obtiveram assim um bom desempenho no aporte de MO, mas com o passar do tempo a tendência é a diminuição da matéria orgânica (Figura 4). Sendo assim é necessário a manutenção das técnicas de recuperação até alcançar o equilíbrio ecológico do solo (SILVA et al., 2016).

Os resultados mostram uma evolução temporal da matéria orgânica do estágio inicial para a primeira coleta, porém ela começa a degradar-se, podendo voltar ao estágio inicial do processo de recuperação (MARTINS et al., 2015). No caso do presente estudo, a semeadura, adubação e irrigação, favoreceu nitidamente a primeira geração das plantas, onde verificou-se um acúmulo do teor de MO. Já os indivíduos da segunda geração, que surgiram de forma espontânea (banco de sementes da primeira geração) não tiveram a mesma condição, apesar de terem crescido durante o período chuvoso, não foi realizado a irrigação e adubação de forma regular, o que não favoreceu o aporte nem a manutenção de matéria orgânica.

Outra variável que sofreu influência significativa entre as coletas foi o teor de K que na primeira coleta atingiu o nível de $0,92 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, a partir de então depois de cessar a irrigação e sem nova adubação, o teor voltou ao estágio inicial da testemunha, em torno de $0,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 5). A lixiviação do K é mais facilitada (WERLE; GARCIA; ROSOLEM, 2008) por ser monovalente, apresentando uma alta mobilidade, quando aliado ao solo arenoso das áreas estudadas. As alterações nos teores de K, P e Mg são em decorrência da adubação inicial, no entanto para o K, devido a sua alta mobilidade faz-se necessário adubações continuadas para favorecer a permanência na solução do solo. Isso pode ser verificado no trabalho, pois houve diferença estatística apenas na segunda coleta (novembro de 2016) (Tabelas 5 e 6), já na terceira (junho de 2017) (Tabelas 8 e 9) não houve diferença, devido a lixiviação do K promovida pelas chuvas da região. Efeito semelhante ocorreu na profundidade de 20-40 cm (Figura 9)

Já com relação ao teor de Mg, a adubação inicial promoveu alterações observadas na segunda e terceira coleta (Figura 6). O fato do Mg ser bivalente a sua lixiviação é dificultada, contribuindo para a manutenção do cátion no solo (ZUCARELI et al., 2013). O efeito da adubação foi verificado também nos trabalhos realizados por Kitamura et al. (2008) no estado do Mato Grosso do Sul em Latossolo Vermelho Distrófico, onde os tratamentos em que tinham a presença de adubos e corretivos químicos apresentaram mais rapidamente diferença estatística no teor de Mg, quando comparados a tratamentos com adubos verdes, plantas de cobertura ou lodo de esgoto. A adição de Mg no solo, influenciou diretamente na SB e CTC (Figura 7), visto que a acidez potencial baixa, facilita a manutenção das bases trocáveis no solo. Medeiros et al. (2008) verificaram que a CTC é influenciada pela adição de fertilizantes e corretivos, sendo o Ca e o Mg os elementos que tem a maior capacidade de alterar essas variáveis.

O teor de P na camada de 0-20 cm (Figura 8) apresentou diferença estatística entre as coletas em relação a testemunha. Como a mobilidade do P é baixa no solo, a adubação manteve-se por mais tempo e aliado ao aporte de matéria orgânica proveniente das plantas herbáceas (MARSCHNER, 2011), a decomposição da matéria orgânica no período entre a primeira e a segunda coleta fez com que as formas de P que estavam nas plantas fossem disponibilizadas ao solo (SÁNCHEZ-BLANCO et al., 2009) promovendo a manutenção do P. Da mesma forma ocorreu na profundidade de 20-40 cm (Figura 10).

6. CONCLUSÕES

A presença das plantas herbáceas no ambiente degradado proporcionou um aumento do teor de matéria orgânica, ajudando na manutenção do teor de K, Mg e P nas duas profundidades avaliadas.

Á área degradada do entorno do eixo norte do PISF tem dentre os principais problemas a elevada concentração de sais solúveis, um teor de Na e um pH elevados, podendo ser classificada como um solo salino-sódico.

Com relação aos atributos físicos do solo, o curto espaço de tempo do experimento não foi suficiente para verificar modificações na estrutura, no entanto foi possível verificar uma alta densidade do solo e uma baixa porcentagem de macroporos, caracterizando assim a área com o solo compactado.

As alterações dos atributos do solo devido às práticas de recuperação da área foram evidenciados na camada superficial em detrimento da camada subsuperficial, onde foram observadas maiores alterações nas características químicas do solo.

As práticas de recuperação da área degradada do PISF tais como preparo do solo, adubação e uso de plantas de cobertura melhoraram as condições iniciais da área para os atributos MO, K, Mg e P. Todavia a ausência dessas práticas evidencia a redução dos teores desses nutrientes com o tempo, sendo observado a volta da condição inicial. Desta forma, verifica-se que a recuperação dos solos das áreas alteradas pelo PISF deverá ocorrer continuamente até a estabilização do sistema ecológico.

7. REFERÊNCIAS

ALVES, M.; MACIEL, M.F.; RODRIGUES, J.; MARTINS, S. **Flora de Mirandiba**. 1 ed. Recife: EPNE, 2009. 358p

ALVES, M. C.; GUSTAVO, L. SANCHES, A.; EDUARDO, L.; SANCHES, A. Densidade do Solo e Infiltração de água como indicadores da Qualidade Física de um Latossolo Vermelho Distrófico em Recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 1, n. 3, p. 617–625, 2007.

ALVES, M. C.; SANTOS, E. B.; RODRIGUES, R. A. F.; ARRUDA, O. G. Garcia de Qualidade Física De Um Solo Degradado Em Recuperação Há 6 Anos. **Holos Environment**, Rio Claro, v. 11, n. 2, p. 158–169, 2011.

ALVES, M. C.; NASCIMENTO, V.; SOUZA, Z. M. Recuperação em área de empréstimo usada para construção de usina hidrelétrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 887–893, 2012.

ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 2505–2516, 2008.

ANDRADE, R. M. T. **The “third bank” of the lower São Francisco river: Culture, Nature and Power in the Northeast Brazil 1853-2003**. 2006, 27f. Tese (Doutorado em Energia e Pesquisa). Universidade da Califórnia, Califórnia, 2006.

BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; CARVALHO, L. B. Estimativa da área foliar de *Tridax procumbens* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 247–250, 2004.

BRASIL. **Relatório de Integração do Rio São Francisco com bacias hidrográficas do nordeste setentrional**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2004.

BRASIL. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2005.

BRASIL. **Projeto de Integração do Rio São Francisco**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2018. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/web/projeto-sao-francisco/o-andamento-das-obras>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

BRESSAN, S. B. et al. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 371–378, 2013.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S. AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147–157, 2009.

CARVALHO, J. N. **Espécies nativas da caatinga para recuperação de áreas degradadas**: prospecção, ecofisiologia da germinação e crescimento de plantas. 2016, 95f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal). Universidade Federal do Vale do São Francisco, Pernambuco, 2016.

COELHO, M. A. T. **Os Descaminhos do São Francisco**. 1. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2005. 272p.

CORREIA, R. C.; KIILL, L. H. P.; MOURA, M. S. B.; CUNHA, T. J. F.; JESUS JUNIOR, L. A.; ARAUJO, J. L. P. **A região semiárida brasileira**. In: EMBRAPA SEMIÁRIDO. Produção de caprinos e ovinos no Semiárido. 1 ed. Petrolina: Embrapa Semiárido. p. 21–48. 2011.

COSTA, J. A. S.; NUNES, T. S.; FERREIRA, A. P. L.; STRADMANN, M. T S.; QUEIROZ, L. P. **Leguminosas Forrageiras da Caatinga**: espécies importantes para as comunidades rurais do Sertão da Bahia. 1. ed. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana, 2002. 112p.

DCA/UFCG. **Dados Climatológicos do Estado de Pernambuco**, 2017. Disponível em: <<http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/dadospe.htm>>. Acesso em: 18 jul. 2017.

DIAS, C. T. V.; KIILL, L. H. P. Ecologia da polinização de *Raphiodon echinus* (Nees & Mart.) Schauer (Lamiaceae) em Petrolina, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 21, n. 4, p. 977–982, 2007.

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

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, L. M.; ALVARENGA, R. C.; NEVES, J. C. L. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 171–177, 2000.

FRAGOSO, R. O.; TEMPONI, L. G.; PEREIRA, D. C.; GUIMARÃES, A. T. B. Rehabilitation of a Degraded Area in the Field of Semideciduous Seasonal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 3, p. 699–711, 2016.

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 926–954.

GIULIETTI, A. M.; CONCEIÇÃO, A.; QUEIROZ, L. P. **Diversidade e caracterização das fanerógamas do Semiárido brasileiro**. Recife: Associação Plantas do Nordeste, 2006. 488p.

HERMÍNIA, A.; SOUSA, J.; CARLOS, S. Initial development of native and exotic species and lime requirement in degraded Cerrado areas of the mining triangle (Minas Gerais, Brazil). **Agronomia Colombiana**, Bogotá, v. 29, n. 2, p. 287–292, 2011.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G.; SANCHES, A.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um Solo Degradado com a Aplicação de Adubos Verdes e Lodo de Esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 405–416, 2008.

LIMA, R. P.; LEÓN, M. J.; SILVA, A. R. Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 1, p. 16–20, 2013.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í.; MELO, W. J. Uso da adubação verde na recuperação de solos degradados por mineração na floresta amazônica. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 139–146, 2011.

LOPES, A. S. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1998. 177p.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2008. 640p.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na Matéria Orgânica e na Biomassa Microbiana em Solos de Mata Natural Submetido a Diferentes Manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177–1182, 2000.

MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. Adelaide: The University of Adelaide, 2011. 643p.

MARTINS, C. M.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SOARES, E. M. B.; SANTOS, S. R. Frações da matéria orgânica em solos sob formações decíduais no norte de minas gerais. **Revista Caatinga**, Mossoró. 28, n. 4, p. 10–20, 2015.

MEDEIROS, J. C. et al. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 799–806, 2008.

MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA, E. E. M.; SANTOS, K. C. F.; FREIRE, M. B. G. S.;

ALMEIDA, B. G. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, n. 81, p. 484–490, 2011.

NEMA. **Relatório Técnico Anual N. 17**, Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PBA-09), Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional. Ministério da Integração Nacional. 2016.

NOVAK, E. et al. Chemical and Microbiological Attributes Under Different Soil Cover. **Cerne**, Dourados, v. 23, n. 1, p. 19–30, 2017.

OLSEN, S. R.; COLE, C. V.; WATANABE, F. S.; DEAN, L. A. **Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate**. Washington. USDA, 19p. (Circular, 939), 1954.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1308–1324, 2015.

PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. 1. ed. Belo Horizonte: Deflor, 2012. 88p.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCADANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 56, n. 1, p. 40–47, 2013.

PRAGANA, R. B.; NÓBREGA, R. S. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA FILHO, J. L. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos na região do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 851–858, 2012.

R CORE TEAM (2016). **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2016.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: Department of Agriculture, 1954. 160p.

ROMAN, P. The São Francisco Interbasin Water Transfer in Brazil: Tribulations of a Megaproject through Constraints and Controversy. **Water Alternatives**, Montpellier, v. 10, n. 2, p. 395–419, 2017.

RUIZ, H. A.; SAMPAIO, R. A.; OLIVEIRA, M.; VENEGAS, V. H. A. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1119–1126, 2004.

SÁ, F. V. S.; MESQUITA, V. F.; BERTINO, A. M. P.; COSTA, J. D.; ARAÚJO, E. L. Influência do gesso e biofertilizante nos atributos químicos de um solo salino-sódico e no crescimento inicial do girassol. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 1, p. 46–59, 2015.

SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; ÁLVAREZ, S.; NAVARRO, A.; BAÑÓN, S. Changes in leaf water relations, gas exchange, growth and flowering quality in potted geranium plants irrigated with different water regimes. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdã, v. 166, n. 1, p. 467–476, 2009.

SANTOS, H. D.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. D.; OLIVEIRA, V. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. D.; CUNHA, T. D.; OLIVEIRA, J. D. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

SILVA, H. R. F.; FONTES, P. C. R. Adubação potássica e seu efeito residual sobre a produtividade e a qualidade de tubérculos de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 7, p. 842–848, 2016.

SILVA, A. M.; CANUTO, D. S. O.; ALVES, M. C.; BUZETTI, S.; MORAES, M. L. T.; SAKAMOTO, A. Y. Características Químicas de um Latossolo Vermelho em recuperação sob Plantio de *Pinus* spp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p. 1049–1060, 2016.

SOUSA, F. Q.; ARAÚJO, J. L.; SILVA, A. P.; PEREIRA, F. H. F.; SANTOS, R. V.; LIMA, G. S. Crescimento e respostas fisiológicas de espécies arbóreas em solo salinizado tratado com corretivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, n. 83, p. 173–181, 2012.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: Microbiological indicators. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Uppsala, v. 49, n. 1, p. 1–24, 1999.

STOLF, R.; THURLER, Á. M.; BACCHI, O. O. S.; REICHARDT, K. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 447–459, 2011.

THOMAS, G. W. Exchangeable cations. In: PAGE, A. L. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 159–165.

USSL STAFF. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: Department of Agriculture, 1954. 160p.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 743–755, 2009.

VIANA, L. B. F. **Entre o abstrato e o concreto**: Legados do Embate sobre o Projeto de Integração do São Francisco ou da Transposição. 2011, 200f. Dissertação (Mestrado em Ciência Política). Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2011.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de Potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2297–2305, 2008.

YADA, M. M.; MINGOTTE, F. L. C.; MELO, W. J.; MELO, G. P.; MELO, V. P.; LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í. Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração de estanho e em fase de recuperação em ecossistema Amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, V. 39, n. 3, p. 714-724, 2015.

ZHAO, Q.; BAI, J.; LU, Q.; ZHANG, G. Effects of salinity on dynamics of soil carbon in degraded coastal wetlands: Implications on wetland restoration. **Physics and Chemistry of the Earth**, Bristol, v. 97, n. 1, p. 12–18, 2016.

ZUCARELI, C.; BRZERZINSKI, C. R.; ABATI, J.; HENNING, F. A.; RAMOS JÚNIOR, E. U.; NAKAGAWA, J. Lixiviação de íons potássio , cálcio e magnésio para determinação do vigor em sementes de milho doce. **Informativo Abrates**, Maringá, v. 23, n. 3, p. 56–60, 2013.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área do entorno do Projeto de Integração do Rio São Francisco no eixo norte, apresenta uma alta concentração de sais solúveis, um elevado teor de sódio, baixo conteúdo de matéria orgânica e uma elevada densidade do solo. Todos esses problemas aliados à condição de semiárido dificulta ainda mais a atuação das técnicas de recuperação.

Para trabalhos futuros poderão ser testadas técnicas que visem, diminuir o pH, a CE e a PST. A combinação de tratamentos de plantas herbáceas com técnicas de correção do solo como a gessagem pode ajudar a diminuir o teor de Na no solo e favorecer a adsorção dos demais cátions trocáveis.

Poderão ser utilizadas também além de plantas herbáceas, plantas arbustivas, de preferência leguminosas que favoreçam a fixação de nitrogênio no solo, e melhore sua estrutura. Podem ser utilizadas ainda plantas halófitas que toleram salinidade e auxiliam na remoção de sais do solo.

Para a recuperação de uma área tão alterada como essa do entorno dos canais do eixo Norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco serão necessárias décadas de estudos e manejo, devido ao estado da degradação, o clima da região e as características salino-sódicas do solo.