

PEDRO ALCANTARA DA SILVA ABREU

**IRRIGAÇÃO POR SULCOS COM EFLUENTE DE FOSSA SÉPTICA
BIODIGESTORA COMO FONTE DE NITROGÊNIO NA CULTURA DO MILHO**

Botucatu

2019

PEDRO ALCANTARA DA SILVA ABREU

**IRRIGAÇÃO POR SULCOS COM EFLUENTE DE FOSSA SÉPTICA
BIODIGESTORA COMO FONTE DE NITROGÊNIO NA CULTURA DO MILHO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia: Irrigação e Drenagem.

Orientador(a): Prof. Dr. Luís Henrique Basso

Coorientador(a): Prof. Dr. Wilson Tadeu Lopes da Silva

Botucatu

2019

A162i

Abreu, Pedro Alcantara da Silva

Irrigação por sulcos com efluente de fossa séptica
biodigestora como fonte de nitrogênio na cultura do milho /
Pedro Alcantara da Silva Abreu. -- Botucatu, 2019
126 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Luís Henrique Basso

Coorientador: Wilson Tadeu Lopes da Silva

1. Irrigação com águas residuais. 2. Águas residuais
Purificação. 3. Irrigação por sulcos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**Título: "IRRIGAÇÃO POR SULCOS COM EFLUENTE DE FOSSA SÉPTICA
BIODIGESTORA COMO FONTE DE NITROGÊNIO NA CULTURA DO
MILHO"**

AUTOR: PEDRO ALCANTARA DA SILVA ABREU

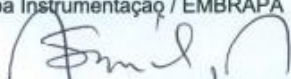
ORIENTADOR: LUÍS HENRIQUE BASSOI

COORDINADOR: WILSON TADEU LOPES DA SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA
(IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. LUÍS HENRIQUE BASSOI
Embrapa Instrumentação / EMBRAPA



Prof. Dr. RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN
Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Dr. AILDSON PEREIRA DUARTE
Centro de Grãos e Fibras / Instituto Agronômico de Campinas - IAC

Botucatu, 30 de julho de 2019.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e toda minha família por todo apoio e confiança.

A Faculdade de Ciências Agronômicas UNESP, ao programa de Pós-Graduação em Agronomia: Irrigação e Drenagem, pela estrutura e por todo conhecimento transmitido.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luís Henrique Bassoi e coorientador Prof. Dr. Wilson Tadeu Lopes da Silva, pela dedicação e por todo conhecimento transmitido.

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

A Embrapa Instrumentação, por toda estrutura cedida.

A equipe de trabalho, por toda contribuição, Pedro Bonfim, Renê do Oeste, Ladislau Rabelo.

Aos amigos da Pós-Graduação em Agronomia: Irrigação e Drenagem, Bruno Ricardo, Camila Nunes, Evanize Castro, Fernanda Oldoni, Henrique Oldoni, Irineu Kuhn, Marcela Pacola, Marcelo Andrini, Thassio Monteiro, Valdemiro Pitoro.

Aos amigos da graduação: Brenno Brito, David Santana, Laelson Freires, Lourival Neto, Robson Argolo, Romeu Leite, Vanessa França e Warley Souza.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização do efluente de esgoto tratado em fossa séptica biodigestora na cultura do milho, utilizando irrigação por sulco, e avaliando se o efluente doméstico tratado causou efeitos no solo e na produção da cultura. O experimento foi conduzido no Laboratório de Referência Nacional em Agricultura de Precisão (LANAPRE) pertencente a Embrapa Instrumentação, na cidade de São Carlos, SP. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), com quatro tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram compostos por parcelas adubadas com NPK (ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio), EfPK (efluente, superfosfato simples e cloreto de potássio), Ef (efluente) e PK (superfosfato simples e cloreto de potássio). Nos tratamentos NPK e PK a irrigação foi feita somente com água e nos tratamentos EfPK e Ef a irrigação foi feita com efluente doméstico tratado e complementada com água. As fontes do efluente doméstico tratado e da água, foram, respectivamente, a fossa séptica biodigestora e a água para irrigação de poço artesiano, ambos localizados no local do experimento. Foram avaliados os parâmetros de planta (altura de planta, diâmetro de colmo e índice de área foliar), características de produção da espiga (comprimento de espiga; diâmetro de espiga, sabugo e comprimento de grão no ápice, parte média e base da espiga; massa de espiga, massa de grãos, produtividade de grãos, massa média de grão, massa de 1000 grãos, número de grãos por espiga, número de fileiras de grãos por espiga, número médio de grãos por fileira), matéria verde e seca totais, índice relativos de clorofila, acúmulo de nitrogênio em diferentes partes da planta (colmo+pendão, folha, sabugo, palha e grão) e efeitos do efluente nos atributos químicos do solo. O uso do EfPK viabilizou valores de parâmetros da planta, características de produção da espiga, e matéria verde e seca totais estatisticamente iguais a adubação com NPK. Os índices relativos de clorofila, o tratamento NPK resultou em valores superiores aos demais tratamentos. No acúmulo de nitrogênio na planta foram encontrados os maiores valores no tratamento NPK. Quanto aos efeitos nos atributos químicos do solo, somente o tratamento EfPK viabilizou o aumento da soma de base e da capacidade de troca de cátions). Os resultados desta pesquisa mostraram que a irrigação por sulco é adequada para distribuição do efluente da fossa séptica

biodigestora e o efluente tratado como fonte de nitrogênio é uma técnica viável para substituir fontes químicas de N.

Palavras chaves: Agricultura irrigada. Irrigação por sulco. Fontes de nitrogênio. Tratamento anaeróbico. Efluente de esgoto tratado. Reuso agrícola.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the application of treated wastewater derived from biodigester septic tank tank, for corn (*Zea mays* L.) production by furrow irrigation system, in order to verify the effects of the treated domestic effluent in both soil properties and crop parameters. The field experiment took place at the National Reference Laboratory in Precision Agriculture (LANAPRE), which belongs to Embrapa Instrumentation center and is located at the city of São Carlos, State of Sao Paulo, Brazil. It was adopted a randomized block design (RBD) with three replications and four treatments. The treatments correspond to the combinations of different fertilizers sources of nitrogen, phosphorus and potassium as follow: urea, simple superphosphate and potassium chloride (NPK); treated effluent, simple superphosphate and potassium chloride (EfPK); simple superphosphate and potassium chloride (PK) and only the treated effluent (Ef). Irrigation was performed using only water on NPK and PK plots and domestic effluent supplemented by water on EfPK and Ef plots. The sources of treated domestic effluent and water were a biodigester septic tank and an artesian well, respectively, both located at the experimental site. The following parameters were evaluated: crop growth (plant height, stalk diameter and leaf area index), yield traits (ear weight, length and diameter; cob length and diameter; kernels length at the top, middle and the bottom of ear; kernels total, mean and a thousand grains weight; kernels yield; total and mean number of kernels on ear; number of kernels rows on ear), total fresh and dry matter, chlorophyll relative indexes, nitrogen accumulation in different parts of the plant (tassel, leaf, cob, husk and kernels) and the effects of the effluent in soil chemical properties. There were no statistically significant differences in the plant growth parameters, yield traits and total fresh and dry matter from treatment EfPK and NPK. Higher nitrogen accumulation was related to the NPK treatment. Only the EfPK treatment allows increasing in sum of exchangeable bases and cation exchange capacity. This research showed that the furrow irrigation system is suitable for the application of effluent derived from biodigester septic tank and the fertilization with treated wastewater is a feasible alternative practice to chemical sources of N.

Keywords: Irrigated agriculture. Furrow Irrigation. Sources of nitrogen. Anaerobic treatment. Treated sewage effluent. Agricultural reuse.

.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	Reúso da água.....	15
2.2	Reúso da água na agricultura.....	17
2.3	Legislação do uso de águas residuária.....	18
2.4	Qualidade do efluente.....	20
2.6	Efeitos do efluente no solo.....	23
2.7	Cultura do Milho.....	25
2.8	Importância econômica.....	26
2.9	Fases fenológicas do milho.....	27
2.10	Irrigação por superfície.....	29
2.11	Irrigação por sulco.....	29
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1	Local do estudo.....	32
3.2	Caracterização do município de São Carlos.....	32
3.3	Caracterização do efluente das fossas sépticas biodigestoras e do solo das parcelas.....	32
3.4	Delineamento Experimental.....	33
3.5	Dados climáticos.....	34
3.6	Composição do efluente.....	35
3.7	Análise da água.....	36
3.8	Irrigação.....	37
3.9	Determinação da DTA, CTA e CRA.....	42
3.10	Manejo de irrigação.....	43
3.11	Calculo da lâmina de irrigação.....	45
3.12	Fertilidade do solo.....	46
3.13	Física do solo.....	47
3.14	Adubação.....	47
3.15	Semeadura e tratos culturais.....	52
3.16	Parâmetros avaliados da planta.....	53

3.17	Parâmetros avaliados na espiga.....	53
3.18	Avaliação da classificação do grão.....	56
3.19	Índice de área foliar (IAF).....	56
3.20	Matéria seca total.....	57
3.21	Acúmulo de nitrogênio nas diferentes partes da planta de milho.....	57
3.22	Índice relativo de clorofila.....	58
3.23	Calibração do Clorofilômetro.....	59
3.24	Análise estatística.....	59
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
4.1	Irrigação.....	60
4.1.1	Determinação da equação de infiltração.....	60
4.1.2	Determinação da DTA, CTA e CRA do solo.....	60
4.1.3	Manejo de irrigação.....	61
4.1.4	Lâminas de irrigação.....	64
4.1.5	Umidade do solo.....	65
4.2	Altura de planta e diâmetro de colmo.....	69
4.3	Produção do grão.....	72
4.4	Componentes de espiga.....	74
4.4.1	Diâmetro de espiga, sabugo e comprimento de grão.....	74
4.4.2	Comprimento da espiga, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e número médio de grãos por fileira.....	79
4.5	Classificação do grão.....	83
4.6	Índice de área foliar (IAF).....	86
4.7	Matéria seca total.....	88
4.8	Acúmulo de nitrogênio no milho.....	92
4.9	Índice de clorofila.....	97
4.10	Uso do clorofilômetro para detecção do teor de nitrogênio na folha de milho.....	101
4.11	Teor foliar de nitrogênio no milho.....	103
4.12	Efeito na fertilidade do solo.....	105
5	CONCLUSÕES.....	110
	REFERÊNCIAS.....	111

1 INTRODUÇÃO

O elemento água é de fundamental importância para existência da vida na Terra, no entanto, este recurso está se exaurindo com o passar dos anos, devido ao aumento da demanda pelo crescimento populacional (SOUZA FILHO, 2013). A água é um recurso utilizado pelo homem para inúmeras atividades, e em regiões que esse bem é escasso ocorre a limitação do desenvolvimento social e econômica da região, tornando-se motivos de conflitos e guerras em alguns locais do mundo (DUARTE et al., 2008).

Antigamente não existia preocupação com o uso da água, sendo considerado por muitos como um recurso inesgotável, mas atualmente se tem noção da situação de escassez, sendo necessário o seu uso com consciência e também o seu reuso. Cerca de 70% da água captada no mundo é utilizada na agricultura (produção de alimentos de origem vegetal e animal, produção de madeira), mas em países com menor nível de desenvolvimento, esse percentual pode chegar a 90% (FAO, 2018).

O Brasil possui as maiores reservas de água potável, e mesmo com a alta quantidade e qualidade, existem regiões com escassez desse recurso, limitando o desenvolvimento da vida e da agricultura local como no Semiárido. Em regiões de alta disponibilidade hídrica o despejo de esgotos sem tratamento prévio acaba impossibilitando o uso das grandes reservas de água (SILVA, 2009).

Inúmeras remessas de esgoto sem nenhum tipo de tratamento são lançadas todos os dias em corpos hídricos. Esse procedimento é muito agressivo ao meio ambiente acarretando em graves impactos de saúde pública. Isso torna cada vez mais importante a destinação correta de águas residuárias.

Uma das opções para esse problema é o reúso da água, pois tal medida diminui o despejo de esgoto em corpos hídricos, além de diminuir a captação de água de melhor qualidade, que será destinada a atividades que exijam esse tipo de água (SOUZA FILHO, 2013). Tais medidas podem ser um alento para regiões áridas e semiáridas que são assoladas por longos anos por períodos de secas (BEZERRA E FILHO, 2009).

O reuso de água residuária tratada vem se difundido pelo mundo tanto em regiões que sofrem com falta de raros recursos hídricos como em regiões onde a reserva desse recurso é alta (PLETSCH, 2012). Pesquisas indicam que o efluente tratado na agricultura é utilizado desde a Grécia Antiga (CETESB, 2012). Em períodos

de estiagem a utilização do efluente tratado torna-se uma fonte de água e nutrientes para serem depositados no solo e absorvidos pelas culturas, gerando ganhos econômicos, sociais e ambientais (SHAER-BARBOSA et al. 2014).

Apesar de ser uma prática antiga, os estudos do uso da água residuária na irrigação no Brasil são recentes (BONINI et al., 2014). Além de diminuir o uso de água de melhor qualidade, o reuso de água pode evitar que os esgotos sejam depositados diretamente nos corpos hídricos sem nenhum tratamento prévio, mantendo a qualidade nos corpos hídricos (MARTÍNEZ et al., 2013).

A utilização de águas residuárias para irrigação tem de ser feita seguindo parâmetros de segurança para não oferecerem riscos nem ao produtor e nem ao consumidor. Deve ser realizado um tratamento correto do efluente para que fique dentro dos padrões de qualidade microbiológica para o tipo de cultura que se pretende irrigar (CUBA et al., 2015).

A utilização de água residuária em culturas nas quais sua utilização é possível surge como uma alternativa para o produtor quanto a aspectos econômico, social e ambiental, pelo fato dessa água apresentar nutrientes em sua composição, principalmente nitrogênio e potássio, e pela possibilidade de diminuição das doses de adubos químicos utilizados pelos produtores. Para o cultivo do milho estes dois nutrientes são requeridos para a obtenção de uma produtividade elevada. O uso do efluente tratado funciona basicamente como um biofertilizante que é aplicado parceladamente ao solo (a depender da necessidade de irrigação) depositando água e nutrientes e evitando a lixiviação de nutrientes no solo quando aplicados de uma única vez (COSTA et al., 2012).

Diante do exposto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar reuso do efluente de esgoto tratado pela fossa séptica biodigestora, como fonte primária de nitrogênio, na cultura do milho irrigada por sulcos, com vistas à sua produtividade de grãos e forragem.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Reúso da água

A maior parte da superfície terrestre é coberta por água, sendo um recurso de extrema importância para sobrevivência da vida no planeta. No entanto, esse recurso é consumido em altas quantidades tanto pelo homem como pela indústria, e em muitas vezes de forma indevida, sendo descartada sem a cogitação do seu reúso (CARVALHO et al. 2014).

A água pode ser utilizada inúmeras vezes e de incontáveis formas, desde que passe por um correto tratamento que garanta uma qualidade que seja compatível ao uso pretendido; que a sua utilização não cause danos ao meio ambiente; que seja aceita pela opinião pública; e que seja economicamente viável (MARECOS DO MONTE e ALBUQUERQUE, 2010).

A crescente demanda populacional e as mudanças climáticas estão causando reduções na disponibilidade hídrica em muitas regiões do globo. O descarte de água pode ser evitado por meio de práticas de reutilização, evitando que a mesma em muitas ocasiões cause a contaminação do meio de descarte (SILVA e SANTANA, 2014). Isso pode levar a economia de grandes volumes de água de melhor qualidade, desde que a água tratada esteja dentro dos padrões a que se destina (BENASSI, 2007).

O processo de reúso da água residuária não é uma prática recente, sendo realizado ao redor do mundo há alguns séculos. Desde a Grécia Antiga, era feito tratamento de esgotos e destinados a agricultura. Atualmente, o reúso da água é um tema mundial e de grande importância, pela alta demanda hídrica em diversos setores (CUNHA, 2011).

Os métodos de reutilização da água são cada vez mais apontados como uma das maneiras mais viáveis para economizar recursos hídricos. No entanto, essas técnicas enfrentam algumas barreiras, como a rejeição pela população sobre o consumo dessa água, a aprovação do mercado e o interesse político em tornar essa tecnologia viável para o uso cotidiano (COSTA, 2010).

Os esgotos gerados pelos setores residencial, industrial e comercial aparecem como um grande problema, pois sem o tratamento correto, acabam poluindo fontes hídricas responsáveis pelo abastecimento. Muitos desses geradores de esgotos são

responsáveis pelo alto consumo de água e por gerar elementos poluentes (DORIGON e TASSARO, 2010).

No Japão, Estados Unidos e países da União Europeia, o tratamento e uso de efluente é algo real e concreto por existir uma legislação específica vigorando há anos, acarretando no desenvolvimento das atividades por meio da implantação de sistemas de tratamento. No Brasil o reúso da água é algo recente e caminha de forma lenta (SILVA e SANTANA, 2014). Com uma gestão inteligente pode-se suprir as demandas requeridas sem que ocorra sérios danos ao meio ambiente (DORIGON e TESSARO, 2010).

Segundo Lavrador (1987) a reutilização da água pode ser feita através de medidas planejadas ou não planejadas, ou seja, por meio da intenção de realiza-la:

- Reúso indireto planejado: após a utilização da água é feito o tratamento e o efluente é depositado em um curso d'água, sofrendo um tratamento natural e com um certo tempo a água que o recebeu é capitada novamente.
- Reúso direto planejado: difere do anterior pois após o uso da água e seu tratamento, é levada ao um local para reúso. O efluente tratado utilizado na irrigação é um exemplo disso.
- Reúso indireto não planejado: após a utilização da água é feita descarga diretamente no solo ou em corpos d'água, onde será diluído e posteriormente e utilizado novamente.

Segundo Rodrigues (2005) o reúso também pode ser classificado através do descarte ou não do efluente em corpos hídricos:

- Reúso direto: após a utilização, a água passará por tratamento e é destinada ao uso novamente como água de melhor qualidade.
- Reúso indireto: após a utilização a água passa por tratamento e é destinada a um corpo hídrico para ser realizado um novo tratamento de ordem natural, quando então ela poderá ser reutilizada como água de melhor qualidade.

Existe também o reuso não potável, onde a água utilizada é tratada e é direcionada para fins agrícolas (fertirrigação de plantas), industriais (limpeza, uso em caldeira, resfriamento de máquinas), urbanos (limpeza de rua e irrigação de parques e jardins), aquicultura e recarga de aquíferos (atendendo os critérios de qualidade da resolução do CONAMA nº 396/05).

2.2 Reúso da água na agricultura

O aumento da população mundial causa uma maior demanda hídrica e de alimentos. Em consequência, recorre-se a expansão de novas fronteiras agrícolas para suprir a necessidade mundial de alimentos. Em muitos desses locais a necessidade de irrigação é essencial para o correto desenvolvimento da planta, mas pode acarretar em uma maior utilização de água. Segundo Souza Filho (2013), a limitação de recursos hídricos é crescente em muitos locais do mundo, e estimativas indicam que existem mais de 1 bilhão de pessoas sem acesso a nenhum tipo de água de melhor qualidade.

O uso de efluente tratado na agropecuária, principalmente na irrigação de culturas agrícolas, aparece como uma alternativa atraente e de ótima rentabilidade para destinar esse recurso no meio ambiente, além de favorecer a utilização dos nutrientes presentes nas águas residuárias. A não utilização de água de melhor qualidade na agricultura faz com que este recurso seja preservado e destinado para utilização doméstica e industrial, as quais necessitam de uma água de melhor qualidade (SILVA, 2008).

O uso do efluente tratado tem benefícios positivos, independente da utilização para disponibilizar nutrientes presentes na água de reúso à cultura ou para reduzir o uso da água. Pode gerar ganhos na produção agrícola e trazer benefícios ambientais (USEPA, 2012).

Segundo Costa (2010), a decisão do uso da água residuária tem de ser feita de forma cautelosa e bem planejada, por ser tratar de uma atividade que pode conter riscos à saúde pública, como contaminação de alimentos, do solo e consequentemente do lençol freático. Isso afetará não somente quem consumirá o produto, mas a população local que depende diretamente do lençol freático que pode sofrer contaminação, e o aumento significativo de salinidade em camadas do solo.

O uso das águas residuárias além da preservação dos recursos hídricos, gera benefícios econômicos para quem a utiliza. O uso do efluente na irrigação tem a vantagem de possibilitar a reciclagem de nutrientes. Segundo Bezerra e Filho (2009), há uma considerável redução do uso de fertilizantes químicos quando se utiliza água residuária na irrigação, gerando uma diminuição nos custos do produtor e diminuindo as possibilidades de contaminação do lençol freático pelo insumo.

Segundo Marecos do Monte e Albuquerque (2010), a partir da decisão do uso de efluentes na irrigação, análises microbianas e bioquímicas devem ser realizadas para definir as características da água residuária, e categorizá-la quanto as normas de saúde pública, levando em consideração o tipo de cultura, o solo, o sistema de irrigação e a forma em que se consumirá o produto. Os resultados das análises são de grande importância na decisão do uso dessa água, pois estão relacionados à possibilidade de salinização do solo, de contaminação por metais pesados e de contaminação biológica (PLETSCH, 2012).

Existem resultados sobre a fertilização de culturas agrícolas com o uso de águas residuárias, como os encontrados para a horticultura (SANDRI et al., 2006), o algodão (FIDELES FILHO et al., 2005), plantas forrageiras (AZEVEDO et al., 2007). A irrigação do milho forrageiro com água residuária promoveu resultados significativos, com um aumento de 144% da produtividade em relação ao uso da água de melhor qualidade (AZEVEDO et al. 2007).

Em todo mundo o uso de efluentes é cada vez maior. No México, desde 1982 o uso de efluente é regulamentado; atualmente, 90% do esgoto produzido é destinado a agricultura, e em alguns locais do país o efluente utilizado não sofre nenhum tratamento (JIMÉNEZ e ASANO, 2008). Existem inúmeros projetos de uso de efluentes em países europeus, um exemplo são 60 ha de um campo de golfe irrigado com água residuária na Espanha (SOUZA FILHO, 2013).

2.3 Legislação do uso de águas residuária

Os recursos hídricos pertencentes ao território brasileiro são regidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, com a resolução CONAMA n°430/11 (CONAMA, 2011), que alterou as de n°20/86 e n°353/05. A resolução atual visa a correta utilização desse recurso e dita condições de lançamentos de efluentes nos cursos d'água. No entanto, o Brasil não possui uma legislação que regule o uso do efluente tratado no país (LIMA, 2015).

Historicamente, o Brasil é um país atrasado em termos de reutilização de água. Em 1985 a Inglaterra propôs a primeira legislação sobre tratamento de água que incluía o reúso da água (EPA, 1980). No mesmo período no Brasil, o uso da água era regulamentado por um alvará de 1804, que tratava esse bem com um recurso infinito

e permitia desvios de rios, causando grandes impactos ambientais desde aquela época (REBOUÇAS et al., 2006).

Os primeiros avanços quanto ao uso da água no país, aconteceram somente em 1934, com a criação do Código das Águas, onde determinou-se que para ser feito um desvio em um corpo hídrico era necessário a autorização por outorga, e a classificação das águas do território nacional; no entanto, a água ainda era tratada com um bem inesgotável (CUNHA, 2008).

Com o passar dos anos, houve um avanço quanto aos aspectos de proteção ambiental. Em 1965 foi criado o primeiro código florestal com a determinação de áreas de preservação permanentes (APPs) para corpos hídricos; no entanto, a questão do reúso da água já avançava no mundo, diferente do que acontecia no Brasil (ALMEIDA, 2011).

Apenas em 1981, com a criação do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), é que se iniciou uma atenção quanto ao reúso da água no Brasil. Em 1986, através do lançamento da resolução nº 20 do CONAMA (CONAMA, 1986), classificou-se a água em doce, salobra e salina, e definiram-se parâmetros para lançamentos de efluente em corpos hídricos (PASCHOLATO et al., 2004). Em 2005 a resolução de nº 20 foi substituída pela resolução nº 357 do CONAMA (CONAMA, 2005), também classificando a água e a qualidade do efluente para o lançamento em corpos hídricos. Em 2008 foi lançada a resolução nº 396, que trata sobre a deposição de água em corpos hídricos subterrâneos, além da qualidade do efluente para deposição em lençóis freáticos (CONAMA, 2008).

A última resolução que trata sobre efluente tratado foi lançada em 2011, a de nº 430 (CONAMA, 2011), a qual complementa a resolução nº 357. Apesar de tratar sobre a qualidade do efluente a ser lançado em corpos d'água, nenhuma dessas resoluções tratam da reutilização da água como uma fonte para a agricultura. Apesar de não existir uma legislação estabelecida e critérios para a reutilização da água e as resoluções do CONAMA apenas estabelecerem parâmetros, existem ações no Brasil por meio de pesquisas, realizadas principalmente por universidades, que dão uma base para regulamentar leis para o reúso no país (ALMEIDA, 2011).

2.4 Qualidade do efluente

A qualidade do efluente tratado é classificado por parâmetros químicos, físicos e biológicos varia de acordo com o tratamento que recebe e pelo uso ao qual será destinado. A água residuária é mais utilizada no Brasil para fins urbano, industrial e agrícola (HESPANHOL, 2003).

Para a utilização do efluente tratado na agricultura, deve ser levado em consideração a textura do solo ao qual será aplicado e a cultura que será utilizada (D' CASTRO FILHO, 2005). A Tabela 1, proposta por Kellner e Pires (1998), avalia parâmetros da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e coliformes termotolerantes. O efluente tratado é dividido em quatro grupos conforme a sua utilização (A: Irrigação de culturas não comestíveis; B; Irrigação de forragens e plantas cítricas; C: Irrigação de vegetais não consumidos crus e de campos de esportes; D: Irrigação não restrita) e cada um contém um risco de contaminação. Aumentando o potencial de contato direto das pessoas com o efluente, ou de consumo de alimentos, maior será a necessidade de utilização de um efluente de melhor qualidade (nível de DBO e de coliformes fecais).

Tabela 1 - Parâmetros de avaliação da qualidade do efluente para utilização na agricultura

Métodos de reúso	DBO (mg L ⁻¹)	Coliformes termotolerantes (CF.100 mL ⁻¹)
D	25	100
C	35	1000
B	45	10.000
A	60	50.000

Fonte: Kellner e Pires (1998).

O valor da DBO é muito importante na avaliação da qualidade do efluente, sendo um dos principais requisitos para ser tomada a decisão se uma água residuária pode ser descarregada em um corpo hídrico. Segundo a resolução do CONAMA nº 430/11, o limite da DBO para deposição de efluente tratado em corpos d'água é de 120 mg L⁻¹ (CONAMA, 2011).

Países onde a pratica do reúso já é estabelecida por meio de uma legislação, possuem parâmetros de qualidade definidos e são rígidos quanto a qualidade do

efluente utilizada em cada grupo de risco. Segundo Sarikaya et al. (1998), Israel utiliza a maior parte dos esgotos produzidos e utiliza cinco parâmetros de avaliação da qualidade do efluente (Tabela 2). No grupo de maior risco (culturas sem restrições, vegetais de consumo cru, parques e gramados), os valores de DBO e coliformes termotolerantes são menores que os apresentados na Tabela 1.

Tabela 2 - Parâmetros de avaliação da qualidade do efluente para utilização na agricultura em Israel

Culturas	Parâmetros			
	DBO total (mg L ⁻¹)	Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	Oxigênio disponível (mg L ⁻¹)	Coliformes termotolerantes .100 mL ⁻¹
Algodão, beterraba, cereais, irrigação florestal	60	50	0,5	-
Forragem verde, frutas cítricas, nozes.	45	40	0,5	-
Olerícolas, legumes, campos de esportes	35	30	0,5	250
Irrigação sem restrições,	15	15	0,5	12

Fonte: Sarikaya et al. (1998).

O efluente tratado costuma ser rico em nitrogênio (N) e sódio (Na) na sua composição, e esses dois elementos em excesso podem causar sérios prejuízos ao solo e aos corpos hídricos. A maior parte do nitrogênio do efluente está na forma de nitrogênio amoniacal, e quando presente no solo, sofre mineralização e origina o amônio (NH⁺⁴) e nitrato (NO⁻³). O NO⁻³ é utilizado para identificar a contaminação de lençóis freáticos (BARROS, 2011). Segundo a resolução do CONAMA nº 430/11, o valor máximo de N que o efluente pode apresentar é de 20 mg L⁻¹ (CONAMA, 2011). O sódio em excesso no solo também pode causar sérios problemas a longo prazo, tanto na parte física como na química. De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), o valor máximo de Na que um efluente deve conter é de 69 mg.L⁻¹ (SÃO PAULO, 2005).

2.5 Fossa séptica biodigestora

A ausência do tratamento de esgoto sanitário doméstico gera vários problemas a população. A falta de destino correto a ser dado ao efluente afeta principalmente a saúde daqueles que convivem de perto com esse problema, além de gerar danos ao meio ambiente. Tanto no meio urbano como no rural, a falta de tratamento de esgoto ocasiona várias doenças, que geram grandes gastos de saúde pública (COSTA e GUILHOTO, 2014).

Em áreas de zona rural é incomum encontrar locais de tratamento de esgoto e dejetos animais, sendo comum o uso de fossas rudimentares que acabam contaminando o solo e o lençol freático. A procura por medidas práticas para o tratamento dos efluentes no campo é fundamental, destinando o esgoto para um local correto e aproveitando-se do reuso da água. No Brasil, a reutilização tem sido incentivada como forma de diminuir a escassez de água potável em regiões de baixa disponibilidade hídrica e a destruição de mananciais causada pela deposição de esgotos e resíduos (BERTONCINNI, 2008).

Atualmente, umas das medidas encontradas para tratamento de esgoto na zona rural é o uso de fossa séptica (IBGE, 2011). Os decanto-digestores, como as fossas sépticas também são conhecidas, possuem uma câmara que é responsável em receber o que será tratado, realizando a sedimentação da parte sólida que sofrerá a digestão em um processo anaeróbico (NUVOLARI, 2003).

A eficiência de remoção de um sistema de tratamento baseia-se na diminuição das impurezas que causam redução da qualidade da água, por possuir características patogênicas. Diante disso, um tratamento de efluente tem como objetivo gerar melhorias ambientais e de saúde e economia do recurso hídrico (COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAÍBA, 2014).

Existem mais de 11.500 fossas sépticas biodigestoras instaladas em propriedades rurais por todo país (SILVA et al., 2017). A fossa séptica é formada por três caixa d'água de 1000 litros para uma família de cinco pessoas, ligadas entre si por tubos. As duas primeiras caixas são denominadas de módulos de fermentação e é o local em que acontece o tratamento da água residuária. A última caixa é o local onde é depositado o efluente tratado e é conhecido como caixa coletora. A água tratada no sistema é advinda somente de vasos sanitários (fezes e urina) sendo caracterizada como água negra, a utilização de água cinza (pias de cozinha, chuveiro,

áreas de serviço) com presença de detergentes e moléculas de gordura prejudicam o tratamento da água (SILVA et al., 2017).

Para o correto funcionamento da fossa séptica biodigestora o processo de digestão tem que ocorrer de forma anaeróbica. Para isso, é necessário vedar as caixas impedindo a entrada de oxigênio no meio. Essa vedação gera vantagens, pois devido a não exposição dos dejetos, não ocorre a proliferação de insetos e animais peçonhentos nos arredores da mesma (LEONEL et al., 2013). Todo mês deve ser adicionado uma mistura de cinco litros de esterco bovino e cinco litros de água, os microrganismos presentes que habitam no rúmen desses animais e estão presentes nas fezes são os responsáveis por fazer o tratamento da água residuária (SILVA et al., 2017).

A utilização da fossa séptica biodigestora é uma importante tecnologia para regiões onde os recursos hídricos são escassos, pois permite a reutilização da água oriunda do esgoto sanitário, principalmente na agricultura, e possibilita a obtenção de um retorno econômico e alimentar (SOARES et al. 2016).

O efluente que foi tratado pela fossa séptica é também conhecido como biofertilizante. Pode ser utilizado na irrigação de várias culturas, preservando os recursos hídricos potáveis e não minimizando os gastos com fertilizantes químicos, por ser rico em cálcio, magnésio, enxofre, potássio e principalmente nitrogênio (FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL, 2010).

2.6 Efeitos do efluente no solo

O solo é um sistema heterogêneo que é formado por matérias em estado líquido, gasoso e sólido, todos interagindo entre si. É o habitat de uma grande quantidade de espécies (fungos, bactérias, insetos, etc.) e o aumento ou a diminuição da população dessas espécies é essencial para a qualidade do solo (CAVINATTO e PAGANINI, 2007).

O uso de efluentes tratados na irrigação pode causar alterações na estrutura do solo, que são indicados pelos seus aspectos químicos e físicos (SILVA, 2009). Após anos de aplicação do efluente em um solo, é possível avaliar tais alterações, dependendo também das características desse solo e do clima local (ERTHAL et al., 2010).

A qualidade física é um importante parâmetro na avaliação de um solo, além de influenciar diretamente na parte química e biológica do solo. A alteração da parte física do solo pode ser potencialmente problemática por alterar processos como retenção de água, crescimento de raízes, troca de gases entre superfície e solo e a evaporação (STRECK et al., 2008).

Segundo Koupai et al. (2006), a quantidade de sais e sólidos (principalmente matéria orgânica) no efluente tratado utilizado na irrigação, podem causar alterações na parte física do solo. Os autores constataram que o uso da água residuária resultou em obstrução dos poros do solo possivelmente pelos sólidos presentes, causando a queda da condutividade hidráulica desse solo. O entupimento dos poros do solo pode resultar em diminuição da infiltração da água, tornando o solo mais propício a encharcamento. A utilização do efluente tratado rico em sais também pode gerar sérios problemas com a dispersão da argila do solo, principalmente por se ter altos valores de razão de adsorção de sódio (RAS) e potencial de sódio trocável (PST) (SANTOS, 2004)

Existe a necessidade de manutenção de uma alta qualidade da parte física do solo, para que se mantenha o nível de produtividade das culturas. Alterações na parte física do solo refletem diretamente na produtividade pois alteram a porosidade, armazenamento de água, densidade e resistência a penetração das raízes, o que afeta a absorção de água e de nutrientes (BAYER e MIELNICZUK, 2008).

As alterações químicas acontecem com mais frequência em comparação com as físicas, pois o uso do efluente pode promover um desequilíbrio nutricional no solo, alteração do pH, diminuição da matéria orgânica do solo e acúmulo de metais pesados (SANTOS et al. 2006).

Na literatura existem vários trabalhos que confirmam que o uso do efluente tratado pode melhorar a fertilidade do solo. Varallo et al. (2012) constaram que com o uso do efluente tratado foi possível diminuir a acidez potencial do solo ($H^+ + Al^{+3}$), manter o valor de CTC e aumentar a saturação de bases (V). Fonseca et al. (2007) conseguiram substituir em até 81% a fertilização nitrogenada química pela orgânica, utilizando o efluente tratado.

Outro parâmetro que varia com a utilização do efluente tratado é o pH do solo, responsável por medir a quantidade de prótons presentes da solução desse meio. Em trabalhos realizados por Duarte et al. (2008), não foi verificado a alteração do pH do solo com a utilização de água residuária. Varallo et al. (2012) constataram uma leve

acidificação do solo com o uso do efluente. Entretanto, Fonseca et al. (2005) verificaram que o efluente aumentou o pH do solo. Isso passa diretamente pelo valor do pH do efluente tratado e pelo processo de nitrificação no solo.

O uso de efluentes não pode ser feito quando elementos como cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel e zinco aparecem em altas concentrações. A aplicação destes elementos em um solo pode ocasionar na absorção dos mesmos pelas plantas e o acúmulo desses metais pesados nos alimentos. A depender da quantidade de metais pesados em um solo, pode ocorrer a contaminação do meio ambiente, prejudicando a fauna e a flora local, elevando a concentração nos alimentos, e contaminando o homem e animais (LIMA, 2015).

2.7 Cultura do Milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie que pertence à família Poaceae, o seu centro de origem é o continente americano, com maior precisão o México. Segundo Goodman (1987) e Fornasieri Filho (2007), a teoria mais aceita para a origem do milho é que a espécie seja descendente direta do teosinto, por meio de seleção praticada pelo homem.

Estudos indicam que o milho começou a ser cultivado em 2500 A.C, existindo vestígios de evolução desde 5000 A.C. (VAN HEERWAARDEN et al., 2011). O milho em seu estado selvagem se caracteriza por não necessitar da presença humana para se desenvolver, mas ao passar pela evolução e atingir o estágio de domesticação, necessita de um manejo na cultura para evitar sérios problemas relacionados a sua sobrevivência (PATERNIANI e CAMPOS, 2005).

O milho foi disseminado primeiramente pelo continente americano através dos povos pré-colombianos, e o seu cultivo era amplamente realizado antes do descobrimento desse continente. Após a chegada de Cristóvão Colombo, a cultura foi levada por ele primeiramente a Espanha, e aos demais países europeus e aos continentes africano e asiático (TEXEIRA, 2008; ZARILLO et al. 2008)

Após um longo período de domesticação o milho resultou em uma planta que se caracteriza por um ciclo anual variando entre 100 e 180 dias, dependendo do genótipo utilizado, pode variar de um a quatro metros de altura (MAGALHÃES E DURÃES, 2006). Caracteriza-se por ter alta qualidade nutricional, por ser composta

por boa parte dos aminoácidos, e por ser destinada à alimentação humana e animal (BARROS e CALADO, 2014).

Durante milhares de anos a cultura está sendo desenvolvida em quase todos os países, por ser uma planta que possui uma ampla adaptabilidade, muito devido à alta heterogeneidade genética. Isso possibilita aos melhoristas a obtenção de diferentes tipos de linhagens/cultivares que atende a variadas condições de precipitação, radiação, temperatura e outros aspectos que influenciam na cultura do milho. O resultado disso é que existem plantios de milho desde a linha do Equador até as latitudes 58° norte (Rússia e Canadá) e 42° sul (Argentina), e em altitudes que ultrapassam os 3.600m (FANCELLI, 2015; SEFFRIN, 2017).

Segundo Fancelli (2015), o milho é uma planta pertencente ao grupo C4 e, portanto, responde ao aumento da radiação solar, refletindo em altos rendimentos da cultura. Apesar de ser cultivado em vários locais do mundo a temperatura é um fator que interfere diretamente na germinação e no desenvolvimento do milho. A faixa ideal para a germinação está entre 25° e 30° C, e quando cultivado abaixo de 15°C ou acima de 42°C, a germinação tende a ser irregular, comprometendo o desenvolvimento da planta. Em baixas temperaturas, pode ocasionar no alongamento do ciclo de produção, enquanto que em altas temperaturas ocorre o contrário, tornando o ciclo menor ou precoce.

Além de temperatura, o milho necessita de água durante o seu cultivo. Em cultivos de sequeiro são necessárias precipitações entre 400 e 600 mm durante todo o ciclo da cultura. Na fase vegetativa a planta possui uma certa tolerância ao estresse hídrico, mas a falta de umidade no solo pode gerar perdas de produção na cultura, por meio da diminuição do vigor vegetativo e da altura da planta, e interferir em processos fisiológicos relativos à síntese de proteínas (FANCELLI, 2015). O período reprodutivo do milho, quando a planta mais necessita de água, é crítico quanto ao déficit hídrico, e caso ele ocorra, pode refletir diretamente na produção de grãos (SILVA et al. 2012).

2.8 Importância econômica

O milho é o cereal mais cultivado no mundo. A safra 2017/2018 obteve uma produção de 1,07 bilhão de t.ha⁻¹ e há uma estimativa de 1,1 bilhão de t.ha⁻¹ para safra 2018/2019 (FIESP, 2019). O maior produtor mundial de milho é os Estados Unidos da

América, seguido pela China e pelo Brasil em segundo e terceiro lugares, respectivamente (FIESP, 2019).

O Brasil pode ter duas safras de milho por ano. No entanto, essa alta produção do milho safrinha depende diretamente da correta escolha do período de cultivo, sendo realizado logo após a cultura de verão, aproveitando os períodos de chuva para o desenvolvimento da cultura. Erros quanto a escolha do período de plantio pode acarretar em sérios problemas durante a colheita, podendo coincidir com chuvas torrenciais e com a perda da cultura (DUARTE et al., 2011).

Na safra 2017/2018 o Brasil teve uma área semeada de milho de 16.616,4 milhões de ha, com uma estimativa de 17.072,1 milhões de ha para safra de 2018/2019. Na última safra, as regiões Centro-Oeste e Sul foram responsáveis por 72% das áreas cultivadas com milho (CONAB, 2019).

O milho tem uma cadeia produtiva de grande importância econômica no cenário do agronegócio brasileiro. Na safra 2017/2018 a produção de milho correspondeu a 36,5% da produção de grão de culturas de verão no país, e para a safra 2018/2019 a estimativa é que essa contribuição suba para 41% da produção de grãos (CONAB, 2019).

O milho pode ser utilizado de diversas formas, por isso a cultura tem uma grande importância econômica, utilizada na alimentação animal por meio da produção de ração para animais monogástricos e ruminantes, e até na indústria para produção de outros produtos. O grão destinado ao consumo animal chega até a 85% da produção do país, alimentando principalmente suínos, aves e bovinos. A porcentagem restante é destinada ao consumo humano pelo uso direto ou pelo beneficiamento do grão gerando uma gama de produtos (MÔRO e FRITSCHÉ-NETO, 2015).

2.9 Fases fenológicas do milho

A planta de milho segue um ciclo de desenvolvimento padrão, dividido em uma fase vegetativa e uma reprodutiva, ambas subdivididas em estádios. No entanto, a duração dessas fases pode variar entre cultivos de milho, dependendo do genótipo, fornecimento de água, nutriente e eventos climáticos (MAGALHÃES e DURÃES, 2006).

Segundo Fancelli (2015) o ciclo do milho caracteriza-se por ter as etapas de germinação e emergência, e crescimento dentro da fase vegetativa. Durante a fase reprodutiva acontece o florescimento, frutificação e a maturidade.

Na fase vegetativa acontecem os seguintes estádios, segundo Fancelli (2015):

- Estádio V0: Ocorre o processo de germinação e emissão da radícula, processo de grande importância para o desenvolvimento da planta.
- Estádio V4: Período em que a planta já possui quatro folhas desdobradas por inteiro, e ocorre a diferenciação floral que irá formar a panícula e a espiga.
- Estádio V8: Nesse período a planta está com oito folhas totalmente desdobradas. Nesse estágio a inflorescência masculina está em desenvolvimento e inicia a definição do número de fileiras de grãos da espiga.
- Estádio V12: Nesse período a planta está com doze folhas totalmente desdobradas. Colmo e pendão estão em um avançado desenvolvimento.

Na fase reprodutiva acontece os seguintes estádios, segundo Fancelli, (2015):

- Estádio Vt: Início da fase vegetativa, caracterizada pelo aparecimento da inflorescência masculina (“pendoamento”).
- Estádio R1: Surge a espiga na planta com seus estilos-estigmas (“embonecamento”) prontos para receberem o grão de pólen produzido pela inflorescência masculina. Nessa fase acontece a fecundação que originará os grãos de milho
- Estádio R2: A planta já fecundada, está com os grãos em desenvolvimento. Começa a acumular sólidos solúveis no endosperma.
- Estádio R3: Caracteriza-se pelo grão continuar acumulando reservas, o que contribui para aumentar a sua massa.
- Estádio R4: Os grãos estão passando do estado pastoso para o farináceo, e ocorre a formação do dente no grão. O embrião já está em avançado estágio de desenvolvimento.
- Estádio R5: Todas as estruturas da semente já se encontram formadas, mas não possuem condições de desempenhar as funções.
- Estádio R6: É o período quando o grão atinge a sua maturidade fisiológica, com a maior massa de matéria seca e, conseqüentemente, o grão tem um maior vigor.

2.10 Irrigação por superfície

A irrigação por superfície é o método mais utilizado há 6000 anos, e a condução da água na área a ser irrigada é feita pela gravidade (MANTOVANI et al. 2013).

Segundo dados do IBGE (2017), em estudos que apontam os números sobre o uso da irrigação no país, apenas 2% dos estabelecimentos rurais que praticam a irrigação, utilizam a irrigação por superfície. No entanto, apesar de ser um sistema antigo, a irrigação por superfície ainda é muito utilizada. Em termos de área irrigada representa 22% do total de terras irrigadas no Brasil, atrás apenas da irrigação por aspersão com 48% (convencional com 16%, autopropelido com 11,3% e pivô central com 20,7%). Mas se comparado com os sistemas de aspersão separadamente, a irrigação por superfície tem o maior percentual de área irrigada no país. O estado com maior percentual de área irrigada por superfície é o Rio Grande do Sul, com 79,7%, por utilizar da irrigação por inundação na cultura do arroz.

A irrigação por superfície se divide nos sistemas por sulco, faixa e inundação.

2.11 Irrigação por sulco

Segundo Mantovani et al. (2013) a irrigação por sulco consiste em aplicar água em pequenos canais ou sulcos através de sifões, bacias auxiliares e tubos janelados. É largamente utilizada nos cultivos em linhas (milho, feijão, etc.) por melhor adaptação quanto a confecção dos canais. Os sulcos podem ser do tipo simples, comuns, em contornos, em corrugação, em ziguezague e em nível.

Na irrigação por sulco, a água percorrerá os canais e infiltrará no solo através de movimentos laterais e verticais no perímetro molhado, umedecendo o solo para fornecimento de água para as culturas. Comparado com o sistema de inundação, a irrigação por sulco necessita de uma menor quantidade de água, pelo fato de molhar apenas de 30 a 80% do solo dependendo da cultura que está sendo cultivada e do espaçamento utilizado. Uma menor área molhada resulta em diminuição da evaporação e menor formação de crostas em todo o solo (TESTEZLAF, 2017). O manejo correto da irrigação nesses sistemas possibilita atingir boa distribuição da aplicação de água, ou seja, uma maior eficiência de irrigação.

O sistema de irrigação por sulcos necessita de algumas condições para ser empregado. A topografia é de grande importância para a correta distribuição da água,

e o percentual de declividade ao longo do sulco pode variar entre 0 e 2 %. Em áreas com valores superiores, deve ser realizado a sistematização do terreno. A vazão da água aplicada no início do sulco deve estar dentro da faixa de 0,2 a 2 L.s⁻¹, pois vazões altas causam erosão no solo, prejudicando a eficiência de irrigação e também carreando nutrientes do solo (TESTEZLAF, 2017).

Segundo Testezlaf (2017), o comprimento do sulco também é um parâmetro importante a ser definido em um projeto de irrigação por sulco. Comprimentos superestimados podem causar aumento de perdas por percolação no início do sulco, diminuindo a eficiência de aplicação e a uniformidade de distribuição. Sulcos com comprimento abaixo do ideal podem causar a não utilização de áreas com potencial de produção, aumento do custo do projeto e a dificuldade quanto a utilização de maquinário agrícola.

Segundo SCALOPPI (2003), as principais vantagens da utilização da irrigação por sulco em comparação aos outros sistemas de irrigação são as seguintes:

- Por não ocorrer o molhamento da parte aérea das plantas, não há perda de produtos fitossanitários aplicados nas plantas, em relação ao sistema de aspersão.
- Não são necessários profissionais especializados para aplicação da lâmina necessária para as culturas.
- Por não necessitar de pressurização em muitas situações, pois aproveita a declividade do terreno para a não utilização de tubos (somente em caso de utilização de tubo janelados), a irrigação por sulco tem menor custo comparado aos demais sistemas.
- A qualidade física e biológica da água gera menor influência em relação aos demais sistemas de irrigação, que são mais susceptíveis a entupimentos dos emissores pela água de baixa qualidade.

No entanto, o sistema de irrigação por sulcos tem algumas desvantagens que se tornam limitantes para o uso pelos produtores:

- Necessita de uma grande demanda hídrica para a correta utilização, e em muitos sistemas a água escoar no final dos sulcos, sem nenhum tipo de aproveitamento.
- Tem um maior potencial de erosão, muitas vezes por declividade ou vazões elevadas.

- Dependendo do espaçamento utilizado, os sulcos podem dificultar o trânsito de máquinas agrícolas para a realização de tratos fitossanitários. O transporte excessivo de máquinas dentro dos sulcos pode afetar a confecção dos mesmos e gerar compactação, o que afeta a infiltração da água no solo.
- O custo inicial do sistema pode ser alto pela necessidade da construção dos sulcos e pela sistematização da área.
- A falta de conhecimento para um correto manejo de irrigação é um problema para os produtores em relação ao quanto e quando irrigar.
- A utilização de águas com grandes quantidades de sais pode ser prejudicial, pois proporciona um acúmulo de sais devido ao maior volume de água utilizado e por umedecer uma área maior.

Segundo Soares e Oliveira (2001) o sistema de irrigação por sulco, apresenta quatro fases: avanço, reposição, depleção e recessão. Durante as fases, a água é distribuída no perfil do solo ficando prontamente disponível para ser utilizada pela cultura. A fase de avanço inicia no momento que a água é liberada no sulco e dura até a água atingir o final do sulco. A água ao chegar no final do sulco, inicia a fase de reposição e a mesma dura até o momento em que a vazão no início do sulco é cortada. Nesse momento inicia a fase de depleção, um período curto, que termina no aparecimento de qualquer superfície de solo. A última fase, a de recessão inicia no momento em que aparece a primeira área de superfície de solo e vai até o desaparecimento da água na superfície do solo.

No Brasil a área irrigada por sulcos diminuiu consideravelmente entre 2006 e 2017. No ano de 2006 a área irrigada por sulco no país era de 256.668 ha (IBGE, 2006), representando 5,76% da área total. Em 2017 esse valor caiu para 89.740 ha (IBGE, 2017), representando 1,3% da área irrigada no país. Atualmente os estados que mais utilizam a irrigação por sulco são a Bahia (22.173 ha), Tocantins (17.554 ha), São Paulo (13.864 ha), Rio Grande do Sul (10.205 ha) e Pernambuco (9.534 ha) (IBGE, 2017). Esses cinco estados são responsáveis por 81,7% da área irrigada por sulcos no país.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do estudo

O experimento foi realizado na área experimental do Laboratório Nacional de Referência em Agricultura de Precisão (LANAPRE), pertencente à Embrapa Instrumentação, em São Carlos, SP. A área encontra-se a 860 m de altitude e nas coordenadas geográficas de 21°57'13.9" S e 47°51'10.9" O. O local possui duas fossas sépticas biodigestoras (FSB) instaladas.

3.2 Caracterização do município de São Carlos

O município de São Carlos está inserido no bioma Cerrado e a maior parte do solo é classificado como um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (SARTORELLI et al. 2007). Segundo Koeppen, o clima é classificado como verão quente e inverno seco (Cwa) ou verão úmido e inverno seco (Aw) (VIANELLO & ALVES, 1991). As estações do ano são bem definidas, com um período chuvoso entre outubro e fevereiro e um período seco que vai de março a setembro (SARTORELLI et al. 2007).

3.3 Caracterização do efluente das fossas sépticas biodigestoras e do solo das parcelas

O efluente foi coletado na caixa de saída da fossa séptica biodigestora e enviada para o laboratório para determinação através de análises de coliformes totais (CTo) e termotolerantes (CTe) por meio da metodologia de tubos múltiplos (APHA, 2005). Os resultados encontrados foram determinados em número mais provável (NMP).

Foi realizado a espectrometria de emissão óptica de plasma para as análises quantitativas de fósforo e potássio. O nitrogênio foi determinado pelo método e Kjeldhal (SILVA et al., 2012).

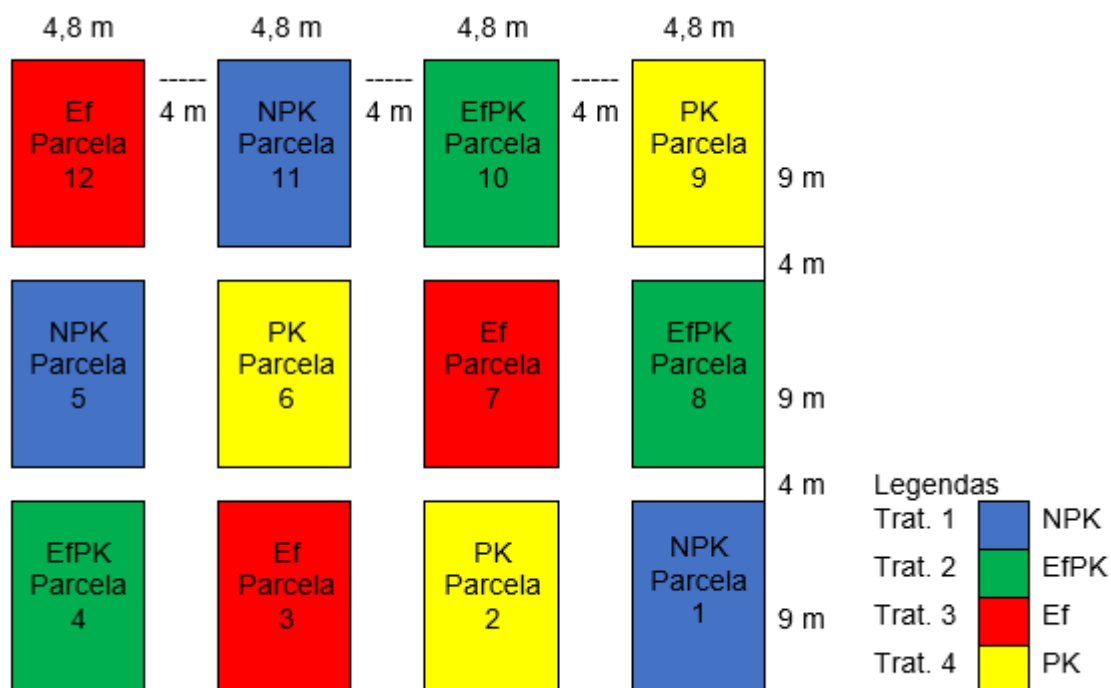
3.4 Delineamento Experimental

O delineamento do experimento foi do tipo blocos casualizados (DBC), com quatro tratamentos e três repetições. Os tratamentos utilizados foram:

- NPK (tratamento 1): parcelas adubadas exclusivamente com adubo químico. Foram utilizados ureia $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$, superfosfato simples $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$, $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ e cloreto de potássio (KCl);
- EfPK (tratamento 2): parcelas adubadas com efluente e PK mineral. Foram utilizados o efluente como fonte de nitrogênio, o superfosfato simples e cloreto de potássio;
- Ef (tratamento 3): parcelas adubadas somente com efluente;
- PK (tratamento 4): parcelas adubadas com PK mineral. Foram utilizados superfosfato simples e cloreto de potássio.

A Figura 1 apresenta o delineamento do experimento no campo.

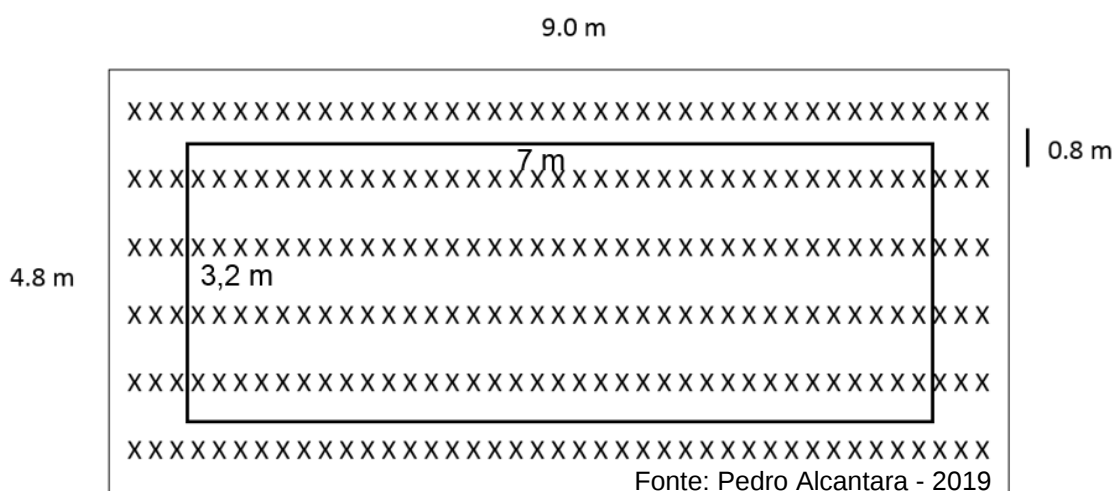
Figura 1 - Disposição das parcelas no campo, em blocos casualizados com quatro tratamento e três repetições



Fonte: Pedro Alcantara - 2019

Cada parcela experimental possuiu uma área de 43,2 m², sendo 9,0 m de comprimento e 4,8 m de largura. Foram utilizadas seis fileiras simples de plantas por parcela, com espaçamento entre fileiras de 0,8 m e entre plantas de 0,2 m, resultando em 5 plantas.m⁻¹ linear e 62.500 plantas ha⁻¹. A área útil da parcela que foi utilizada para realizar as avaliações constou das quatro fileiras centrais, descontando-se um metro do início e final da linha, o que gerou uma área útil de 22,4 m² por parcela (sete metros de comprimento x 3,2 metros de largura) (Figura 2).

Figura 2 - Área total e útil da parcela



3.5 Dados climáticos

Os dados de evapotranspiração de referência (ET_o) foram estimados pelo método de Penman-Monteith FAO (PM-FAO 56), publicado no Boletim 56 da FAO (ALLEN et al.,1998). Os dados meteorológicos foram coletados na estação agrometeorologia automática localizada na Embrapa Pecuária Sudeste, distante 1.657 m do experimento, e localizada nas coordenadas geográficas 21°57'42" S, 47°50'28" O, a 860 m de altitude. Os valores de precipitação também foram coletados diariamente junto a um pluviômetro instalado na área experimental (Figura 3).

Figura 3 - Pluviômetro instalado na área experimental



Fonte: Pedro Alcantara - 2019

3.6 Composição do efluente

A análise em laboratório do efluente doméstico tratado realizado antes do experimento gerou os seguintes dados sobre a caracterização físico-química (Tabela 3).

Tabela 3 - Composição do efluente tratado utilizado na fertirrigação da área experimental

Parâmetros	Unidades	Composição do efluente
Coliformes totais	(UFC.100 mL ⁻¹)	1,2 x 10 ⁴
Escherichia coli	(UFC.100 mL ⁻¹)	4,5 x 10 ³
Fósforo Total	(mg P.L ⁻¹)	7
Nitrogênio Amoniacal	(mg N-NH ³ .L ⁻¹)	187
Nitrogênio Total Kjeldahl	(mg N. L ⁻¹)	339
Potássio	(mg K. L ⁻¹)	67,0
pH	-	7,52

3.7 Análise da água

Foi realizada coleta de amostras de água no poço artesiano da fonte de irrigação do experimento e realizada análises laboratoriais quanto as características físico, químico e microbiológico da água (Tabela 4).

Tabela 4 - Composição da água utilizada na irrigação da área experimental

Parâmetros Físico-químicos					
Parâmetro	Unidade	Método de Referência	Limite de Quantificação	Valor Máximo Possível	Resultado
Substâncias Inorgânicas que Representam Risco à Saúde					
Bário	mg Ba.L ⁻¹	SMEWW 3111 D	0,7	0,7	<0,07
Cádmio	mg Cd.L ⁻¹	SMEWW 3111 B	0,001	0,005	<0,001
Chumbo	mg Pb.L ⁻¹	SMEWW 3111 B	0,01	0,01	<0,01
Cobre	mg Cu.L ⁻¹	SMEWW 3111 B	0,06	2	<0,002
Cromo	mg Cr.L ⁻¹	SMEWW 3111 B	0,01	0,05	<0,01
Níquel	mg Ni.L ⁻¹	SMEWW 3111 B	0,004	0,07	<0,004
Nitrato	mg N-NO ₃ ⁻ .L ⁻¹	USEPA 300.0	0,01	10	<0,01
Nitrito	mg N-NO ₂ ⁻ .L ⁻¹	USEPA 300.0	0,01	1	<0,01
Mercúrio	mg Hg.L ⁻¹	USEPA 245.1	0,0005	0,001	<0,0011
Desinfetantes e Produtos Secundários da Desinfecção					
Cloro Residual Livre	mg Cl ₂ .L ⁻¹	SMEWW 4500-Cl G	0,05	5	<0,05
Padrão Organoléptico de Potabilidade					
Amônia	mg NH ₃ .L ⁻¹	USEPA 350.2	0,05	1,5	0,06
Cor Aparente	uH	SMEWW 2120 E	1,0	15	5,0
Ferro	mg Fe.L ⁻¹	SMEWW 3111 B	0,1	0,3	0,3
Manganês	mg Mn.L ⁻¹	SMEWW 3111 B	0,08	0,1	<0,08

pH	-	SMEWW 4500- H ⁺ B	0 a 14	6,0 a 9,5	6,78
Sódio	mg Na.L ⁻¹	SMEWW 3111 B	0,02	200	1,87
Turbidez	NTU	SMEWW 2130 B	0,5	5	4,6
Zinco	mg Zn.L ⁻¹	SMEWW 3111 B	0,05	5	1,41
Alumínio	mg Al.L ⁻¹	SMEWW 3500-Al B	0,02	0,2	<0,04
Cloreto	mg Cl ⁻ .L ⁻¹	USEPA 300.0	0,01	250	0,75
Dureza	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	SMEWW 2340 C	0,5	500	30,0
Sulfato	mg SO ₄ ²⁻ .L ⁻¹ 1	USEPA 300.0	0,01	250	0,04
Parâmetros Microbiológicos					
Parâmetro	Expressão do resultado	Método de Referência	Limite de Quantificação	Valor Máximo Possível	Resultado
Coliformes Totais	Ausência/ Presença	SMEWW 9222 B	-	Ausência em 100 mL	Ausência
<i>E.coli</i>	Ausência/ Presença	SMEWW 9222 D	-	Ausência em 100 mL	Ausência

3.8 Irrigação

A irrigação utilizada no cultivo do milho foi o sistema de irrigação por sulcos. A escolha da irrigação por sulco foi feita por ser um método de baixo custo, visando esse projeto ser direcionado ao pequeno produtor rural. Além disso, a condução do efluente por sulco é recomendada por não haver dispersão de nenhum tipo de aerossóis. A água utilizada na irrigação foi captada de um poço artesiano localizado no LANAPRE. O efluente utilizado na irrigação foi conseguido através da fossa biodigestora também localizadas no LANAPRE (Figura 4).

Figura 4 - Fossa séptica biodigestora instalada no Laboratório de Referência Nacional em Agricultura de Precisão (LANAPRE), Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP



Os sulcos foram confeccionados de forma manual com o auxílio de enxada, após a emergência das plântulas, para não causar nenhum problema à germinação das sementes e emergência das plantas. Em cada parcela foram feitos cinco sulcos de irrigação entre as seis fileiras de milho (Figura 5). Os sulcos foram feitos em formato triangular com largura de 30 cm e profundidade de 15 cm.

Figura 5 - Sulcos feitos após a emergências das plantas, para condução da irrigação na área experimental



Os tratamentos NPK e PK receberam em suas parcelas exclusivamente água para irrigação. Os tratamentos EfPK e Ef receberam efluente durante a fertirrigação e

água para irrigação. A soma dos volumes de água e de efluente foi a mesma para os quatro tratamentos.

Para definir a lâmina de irrigação, foi realizado o estudo de infiltração para determinar a equação de infiltração da água no solo, utilizando-se um infiltrômetro de sulco para analisar a infiltração lateral e vertical da água no solo. Foram construídos três sulcos com comprimento de 1 m, sendo utilizado o central para a determinação da equação de infiltração. Os sulcos laterais foram construídos para não favorecer a infiltração lateral. O sulco (central) foi coberto com uma lona plástica (Figura 6A), e após a adição de água (Figura 6B), a lona foi retirada e o tempo referente a infiltração da água no solo foi registrado regularmente. A água foi adicionada constantemente para que o seu nível no sulco não abaixasse além do estabelecido por piquete (Figura 6C).

A equação de infiltração foi determinada pela equação potencial de Kostiakov (Eq. 4), a partir das seguintes equações 1, 2, 3.

$$n = \frac{\frac{\sum xy - \frac{\sum x \cdot \sum y}{N}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}} \quad (1)$$

$$a = y - n * x \quad (2)$$

$$k = \text{antilog}(a) \quad (3)$$

$$I = K * T^n \quad (4)$$

Figura 6 - Sulco coberto por uma lona plástica para evitar a infiltração de água (A). Adição de água no sulco com a lona (B). Retirada da lona, início do registro do tempo e da infiltração de água em intervalos de tempos determinados (C)



Para a realização da irrigação foi utilizado um tubo janelado de PVC com diâmetro de duas polegadas, com cinco saídas com conectores para condução da água para o sulco, uma carreta agrícola acoplada a um trator (Figura 7A) com bomba hidráulica e uma mangueira com diâmetro de duas polegadas para conectar o tubo janelado à bomba de sucção (Figura 7B). A bomba da carreta agrícola foi acoplada ao sistema de tomada de potência do trator (TDP) na rotação de 700 rpm. A água que foi succionada pela bomba chegou ao tubo janelado pela mangueira (Figura 7C) e saiu pelos conectores de saída a uma vazão de $0,71 \text{ m.s}^{-3}$, dentro da faixa limite de $0,2$ a 2 m.s^{-3} para a vazão não erosiva (TESTEZLAF, 2017). Inicialmente, mesmo com

a vazão dentro da faixa ideal, estava ocorrendo erosão no início do sulco. Para evitar que acontecesse isso foram colocados anteparos (câmara de ar de bicicleta) nas saídas dos conectores (Figura 7C).

Figura 7 - Utilização da carreta pipa agrícola (A), bomba de sucção (B) e tubo janelado de duas polegadas conectado a uma mangueira, com anteparos na saída dos conectores (C)



Foi realizado teste de vazão na saída de cada conector (Figura 8). A variação de vazão da linha estava abaixo do valor aceitável de 10%.

Figura 8 - Teste de vazão do tubo janelado



Fonte: Pedro Alcantara - 2019

3.9 Determinação da DTA, CTA e CRA

Para determinar a disponibilidade total de água no solo (DTA), capacidade total de água no solo (CTA) e a capacidade real de água no solo (CRA) na camada de 0 a 25 cm, foram utilizadas as equações 5, 6 e 7, respectivamente.

$$DTA = \frac{(CC - PMP)}{10} \quad (5)$$

DTA = disponibilidade total de água do solo, em mm.cm⁻¹,

CC = capacidade de campo do solo, em % a base de volume,

PMP = ponto de murcha permanente, em % a base de volume.

$$CTA = DTA * Z \quad (6)$$

CTA = capacidade total de água do solo, em mm,

DTA = disponibilidade total de água do solo, em mm.cm⁻¹,

Z = espessura da camada de solo a ser irrigado, em cm.

$$CRA = CTA * f \quad (7)$$

CRA = capacidade real de água do solo, em mm,

CTA = capacidade total de água do solo, em mm,

f = fator de depleção (valor de 0,6 para o milho), adimensional.

3.10 Manejo de irrigação

O manejo de irrigação baseou-se na evapotranspiração diária da cultura (ET_c). O valor de ET_c foi obtida em função da ET_o diária e pelo coeficiente de cultivo da cultura (K_c) (Equação 8). Os valores de K_c usados nesse experimento foram (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores de k_c utilizados nas diferentes fases do milho

Fases	K_c	Intervalos
Fase 1	0,86	4 de outubro a 24 de outubro
Fase 2	1,03	25 de outubro a 27 de novembro
Fase 3	1,23	27 de novembro a 6 de janeiro
Fase 4	0,97	07 de janeiro a 04 de fevereiro

Fonte: Andrade e Albuquerque (2015)

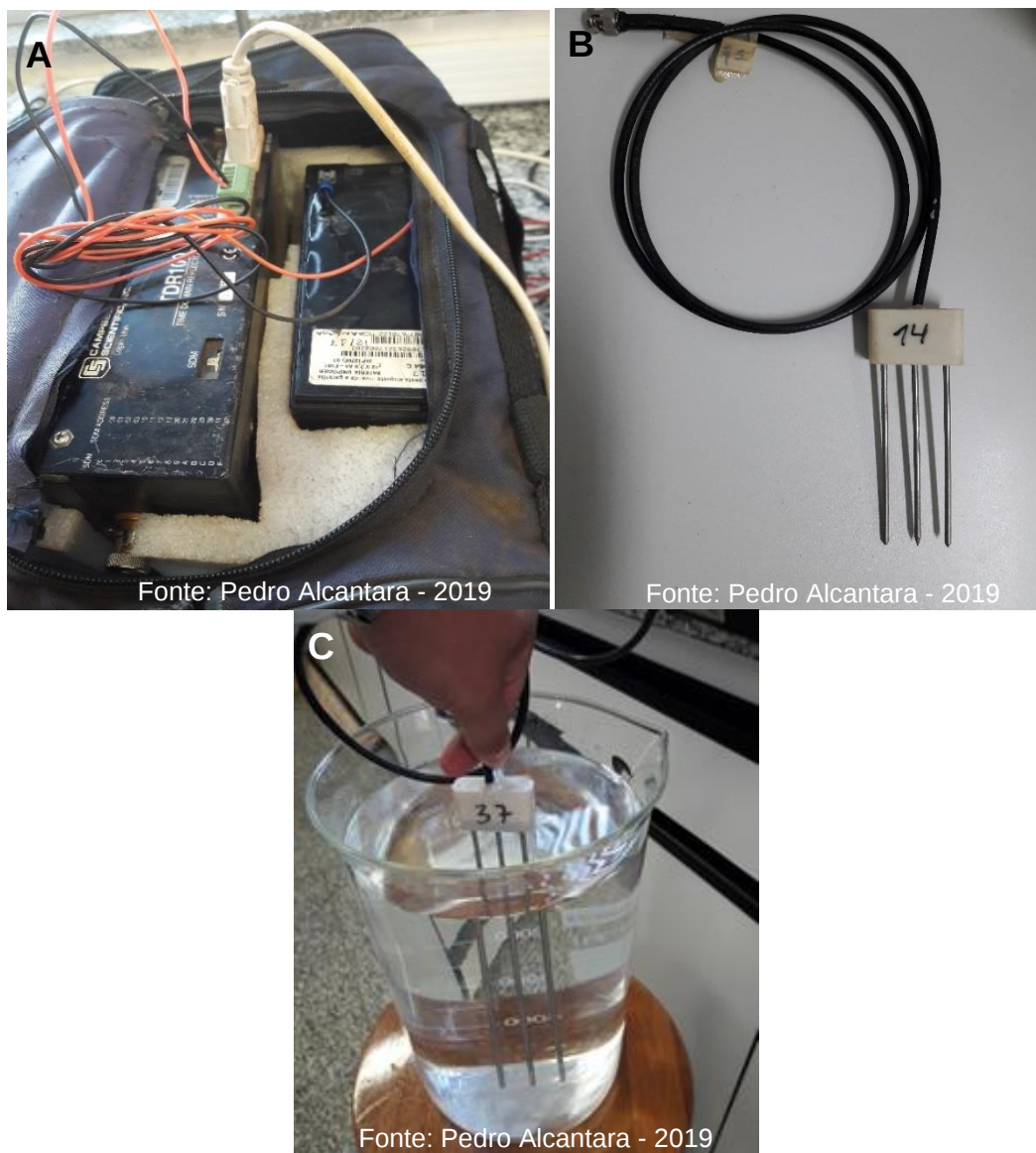
$$ET_c = ET_o * K_c \quad (8)$$

A irrigação foi realizada quando o somatório diário da ET_c atingisse ou chegasse perto da CRA do solo. Na ocorrência de chuvas era feita a correção da ET_c pela precipitação (P) (Equação 9).

$$ET_{ccorrigida} = ET_c - P \quad (9)$$

A medida da umidade do solo foi realizada a partir da fase reprodutiva do milho, com o auxílio do equipamento TDR 100 (Figuras 9A e 9B), com sondas previamente calibradas (Figura 9C) e instaladas no final do sulco central (área útil) de cada parcela, a 0,2 m de profundidade. A escolha por instalar as sondas no final do sulco foi pelo fato desse ser o ponto crítico para que se atinja a infiltração da lâmina de irrigação necessária para alcançar a capacidade de campo do solo. Foram realizadas 15 medidas em diferentes datas com a TDR 100 (13, 17, 19, 21, 24, 26, 28 de dezembro de 2018; 2, 4, 9, 10, 12, 18, 21 e 25 de janeiro de 2019).

Figura 9 - Equipamento TDR 100 (A), sonda de TDR (B), processo de calibração das sondas de TDR (C)



Foi utilizado também para medida da umidade do solo a 0,2 m de profundidade o sensor portátil HydroSense 2 (HS2) (Figura 10), em 16 pontos na área útil de cada parcela (4 pontos por fileira), distribuídos de forma equidistantes.

Figura 10 - Utilização do HydroSense 2 em campo para monitorar a umidade do solo no cultivo do milho



Fonte: Pedro Alcantara - 2019

3.11 Cálculo da lâmina de irrigação

Para determinar a lâmina de irrigação de acordo com a demanda de ETc da cultura, foram utilizadas as equações 10, 11, 12.

$$I = K * To^n \quad (10)$$

I = lâmina de CRA a ser infiltrada, em mm,

To = tempo de oportunidade, em minutos.

$$Ti = To + Ta \quad (11)$$

Ti = tempo de irrigação, em minutos,

To = tempo de oportunidade, em minutos,

Ta = tempo de avanço, em minutos.

O teste de avanço em campo foi realizado antes da primeira irrigação. O tempo necessário para a água chegar ao final do sulco foi de dois minutos.

$$Lm = \frac{q * Ti}{C * L} * 60 \quad (12)$$

Lm = lâmina média aplicada, por sulco, em mm.

q = vazão constante aplicada, por sulco, em minutos.

T_i = tempo de irrigação, em minutos.

C = comprimento do sulco, em metros.

L = espaçamentos entre sulcos, em metros.

3.12 Fertilidade do solo

Antes do início do experimento, foram coletadas 12 amostras de solo na camada de 0-20 cm (uma por parcela) para a determinação da quantidade de nutrientes que deveriam ser adicionados. Após o término do experimento, outras 12 amostras (uma por parcela) foram coletadas para quantificar os efeitos do uso do adubo químico e orgânico no solo. Cada amostra foi composta por subamostras coletadas em 20 pontos, determinados pelo caminhar em ziguezague. As subamostras foram colocadas em um balde plástico para a composição de uma amostra composta (ARRUDA et al., 2014). De cada amostra composta, foram retiradas 500 gramas para secagem ao ar e à sombra, passagem por peneira de 2 mm e obtenção de amostra de terra fina seca ao ar (TFSA) para envio aos laboratórios. As amostras coletadas antes e depois do experimento foram enviadas, respectivamente, ao Laboratório de Solo da Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP, e ao Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais da FCA UNESP campus de Botucatu. Em ambos os laboratórios as análises químicas foram feitas pela metodologia de Raij et al. (2001). Foram realizadas as seguintes análises: pH da solução do solo em CaCl_2 , quantificação da matéria orgânica do solo (M.O.) em g.dm^{-3} , fósforo em resina (P) em mg.dm^{-3} , alumínio trocável (Al^{+3}) em mmolc.dm^{-3} , acidez potencial do solo ($\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$) em mmolc.dm^{-3} , potássio (K) em mmolc.dm^{-3} , cálcio (Ca) em mmolc.dm^{-3} , magnésio (Mg) em mmolc.dm^{-3} , soma de bases (SB) em mmolc.dm^{-3} , capacidade de troca de cátions do solo (CTC) em mmolc.dm^{-3} , saturação de bases (V%) em mmolc.dm^{-3} , enxofre (S) em mg.dm^{-3} , boro (B) em mg.dm^{-3} , cobre (Cu) em mg.dm^{-3} , ferro (Fe) em mg.dm^{-3} , manganês (Mn) em mg.dm^{-3} , e zinco (Zn) em mg.dm^{-3} .

3.13 Física do solo

A granulometria do solo foi realizada antes do experimento na camada de 0-20 cm, sendo determinada pelo método do analisador de raios gama, na Embrapa Instrumentação. O tratamento NPK obteve 32% de areia, 5,4% de silte e 62,6 % de argila. O tratamento EfPK obteve 31,7% de areia, 6,4% de silte e 61,9 % de argila. O tratamento Ef obteve 31,9% de areia, 5,4% de silte e 62,7 % de argila. E o tratamento PK obteve 30,4% de areia, 5,7% de silte e 63,9 % de argila. Os solos de todos os tratamentos foram classificados como franco-arenosos.

3.14 Adubação

A recomendação de adubação foi realizada de acordo com o Boletim 100 (RAIJ et al., 1997), a partir dos resultados de análises de solo realizadas antes do experimento (Tabela 6).

Tabela 6 - Resultados de análises de solo na camada de 0-20 cm realizadas antes do experimento

	pH	M.O.	P	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S	Bo	Cu	Fe	Mn	Zn
	CaCl ₂	g. dm ⁻³	mg. dm ⁻³	-----mmol.c.dm ⁻³ -----							%	-----mg.dm ⁻³ -----					
Parcela 1	5,1	28	6	0	28	3	22	10	35	63	56	21	0,56	0,9	45	1,7	1,6
Parcela 2	5,3	25	9	0	21	3,1	25	12	40	61	66	3	0,43	0,8	36	1,5	1,4
Parcela 3	5,1	28	8	0	24	1,8	21	9	32	56	57	7	0,45	0,8	57	2,1	1,3
Parcela 4	4,8	26	9	2	30	3,5	18	8	30	60	49	8	0,42	0,9	78	2,4	1,7
Parcela 5	4,8	25	9	2	33	2,8	17	8	28	61	46	11	0,52	0,9	74	2,4	1,5
Parcela 6	5	23	7	2	26	3,6	21	10	35	61	57	15	0,49	0,8	44	0,7	12
Parcela 7	5,2	24	6	0	23	1,9	22	11	35	58	60	4	0,38	0,9	38	1,7	1,4
Parcela 8	5,4	21	16	0	23	2,9	26	12	41	64	64	12	0,4	0,8	35	1,9	2
Parcela 9	5,3	25	15	0	31	2,8	25	12	40	71	56	4	0,36	0,8	36	1,2	1,8
Parcela 10	5,1	25	13	1	26	3,5	21	10	34	60	58	15	0,34	0,9	44	1,7	1,4
Parcela 11	4,8	26	8	2	33	2,5	19	9	30	64	48	10	0,42	0,9	58	2,2	1,2
Parcela 12	5,3	25	8	0	23	1,2	24	12	37	60	62	22	0,44	0,7	45	1,8	1,2

pH: índice de acidez da solução do solo, M. O.: matéria orgânica do solo, Al³⁺: Alumínio trocável, H⁺+Al³⁺: Acidez potencial, P: fósforo, Ca: cálcio, Mg: magnésio, SB: soma de bases, CTC: capacidade de troca de cátions, V(%): saturação de bases, S: enxofre, Bo: boro, Cu: cobre, Fe: ferro, Mn: manganês, Zn: zinco.

Como cada tratamento possuiu uma adubação específica, a aplicação dos fertilizantes foi realizada de modo diferenciado. As aplicações do nitrogênio e do potássio foram feitas na semeadura e em cobertura nos tratamentos NPK e PK, enquanto que o fósforo foi aplicado na semeadura nos mesmos tratamentos, como recomenda o Boletim 100. A exceção do fósforo fica para os tratamentos EfPK e Ef, pois o efluente tem uma quantidade pequena desse nutriente em sua composição; nesse caso o P também foi adicionado em cobertura nos tratamentos EfPK e Ef, mas em baixas quantias.

O efluente tratado da fossa séptica biodigestora, considerado como fertilizante, teve um limite de produção. Assim, para cada parcela dos tratamentos EfPK e Ef, foi aplicado um volume total de 1.730 litros, que continha 0,586 kg de N por parcela, equivalendo a 135 kg ha⁻¹ de N. A recomendação de adubação realizada nas parcelas de acordo com cada tratamento foi de 135 kg ha⁻¹ de N, 121 kg ha⁻¹ de P e 133,3 kg ha⁻¹ de K.

Para o tratamento NPK foram utilizados como fonte de nitrogênio a ureia (45% de N); de fósforo o superfosfato simples (18% de fósforo); e de potássio o cloreto de potássio (60% de potássio). As doses de fertilizantes aplicadas para o cultivo do milho estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 -Doses de fertilizantes aplicadas na adubação de semeadura e de cobertura do milho nas parcelas do tratamento NPK

	Ureia (kg ha ⁻¹)	Superfosfato simples (kg ha ⁻¹)	Cloreto de potássio (kg ha ⁻¹)
Semeadura	51,1	672,22	83,3
25DAP (29/10/2018)	55,5		41,7
32 DAP (05/11/2018)	55,5		
40 DAP (13/11/2018)	111,1		83,3
48 DAP (20/11/2018)	26,8		13,8
Total	300	672,22	222,1

Para o tratamento EfPK a fonte de nitrogênio exclusivo foi o efluente tratado. Como também contém fósforo e potássio na sua composição, mas em baixas quantias, foi necessário a suplementação com superfosfato simples e cloreto de

potássio. O valor de 339 mg.L^{-1} de N do efluente gerou 135 kg ha^{-1} , 7 mg.L^{-1} de P do efluente gerou $2,7 \text{ kg ha}^{-1}$ e 67 mg.L^{-1} de K do efluente gerou $27,1 \text{ kg ha}^{-1}$. As quantias de adubo aplicadas pelo efluente e as suplementadas pelo adubo químico para o cultivo do milho estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Quantia de fertilizantes aplicadas na adubação de semeadura e de cobertura do milho nas parcelas do tratamento EfPK

	Nitrogênio do efluente (kg ha^{-1})	Fósforo do efluente (kg ha^{-1})	Superfosfato simples (kg ha^{-1})	Potássio do efluente (kg ha^{-1})	Cloreto de potássio (kg ha^{-1})
Semeadura	23	0,5	655,5	4,7	76,7
25 DAP (30/10/2018)	25	0,5		5	33,33
32 DAP (06/11/2018)	25	0,5		5	66,7
40 DAP (13/11/2018)	25	0,5		5	
43 DAP (16/11/2018)	25	0,5		5	
48 DAP (20/11/2018)	12	0,3		2,4	
Total	135	2,8	657,22	27,1	176,73

Para o tratamento Ef a fonte de nitrogênio exclusivo foi o efluente tratado doméstico. Apesar de ser composto por baixas quantias de fósforo e potássio na sua composição, não foi feita a suplementação com fósforo e potássio. As quantias de adubo aplicadas pelo efluente para o cultivo do milho estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Quantia de fertilizantes aplicadas na adubação de semeadura e de cobertura do milho nas parcelas do tratamento Ef

	Nitrogênio do efluente (kg ha ⁻¹)	Fósforo do efluente (kg ha ⁻¹)	Potássio do efluente (kg ha ⁻¹)
Semeadura	23	0,5	4,7
25 DAP (29/10/2018)	25	0,5	5
32 DAP (05/11/2018)	25	0,5	5
40 DAP (13/11/2018)	25	0,5	5
43 DAP (16/11/2018)	25	0,5	5
48 DAP (20/11/2018)	12	0,2	2,4
Total	135	2,7	27,1

Para o tratamento PK não foi utilizada nenhum a fonte de nitrogênio. A fonte de fósforo foi o superfosfato simples e de potássio o cloreto de potássio. As quantias de adubo aplicadas para o cultivo do milho estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Quantia de fertilizantes aplicadas na adubação de semeadura e de cobertura no milho nas parcelas do tratamento PK

	Superfosfato simples (kg ha ⁻¹)	Cloreto de potássio (kg ha ⁻¹)
Semeadura	672,22	83,3
25DAP (29/10/2018)		41,7
40 DAP (13/11/2018)		83,3
48 DAP (20/11/2018)		13,8
Total	672,22	222,1

As adubações de cobertura para o milho foram realizadas entres as fases fenológicas na emergência de 4 (V4) e 8 (V8) folhas (ESCOSTEGUY et al.,1997; SANTOS et al. 2010; GOTT et al. 2014).

3.15 Semeadura e tratos culturais

A semeadura do milho foi realizada no dia 04 de outubro de 2018, respeitando o zoneamento agrícola determinado no estado de São Paulo. Na cidade de São Carlos o período de semeadura do milho estabelecida pelo Ministério da Agricultura, corresponde ao período de 11 a 20 de setembro a 21 a 31 de dezembro (MAPA, 2019). A semeadura foi realizada de forma mecanizada com semeadora de quatro linhas de arrasto acoplada a um trator (Figura 11).

Figura 11 - Plantio do milho na área experimental com o auxílio de semeadora de quatro linhas



A cultivar utilizada foi a P4285VYHR, milho híbrido da marca Pioneer, com gene RR, resistente a aplicação de glifosato. Essa cultivar é adaptada a cultivos de terras altas (acima de 700m de altitude), como se caracteriza o município de São Carlos. Este híbrido se caracteriza por ser de dupla aptidão, para produção de grãos e silagem.

Durante o ciclo de cultivo do milho, foi realizado somente dois tratos culturais. Com 36 dias após plantio (DAP) foi realizado uma aplicação de glifosato nas parcelas para realizar o controle de plantas daninhas. Foi necessário durante a fase reprodutiva da cultura cobrir as espigas com sacos de papel para evitar ataques de pássaros que incidiram na área de cultivo (Figura 12).

Figura 12 - Espigas de milho cobertas com sacos de papel devido ao ataque de pássaros



A colheita das espigas ocorreu no dia 4 de fevereiro do 2019, com 120 dias de ciclo, período em que o milho atingiu a maturidade fisiológica. A escolha por retirar as espigas do campo aos 120 dias se deu para evitar maior ataque de pragas a cultura. Os grãos foram secos a pleno sol e a determinação da umidade do grão foi realizada pelo método da estufa até o grão atingir 13% de umidade (SILVA et al. 2008).

3.16 Parâmetros avaliados da planta

Foram analisadas 16 plantas por parcela de forma aleatória, resultando em 196 plantas analisadas. Os parâmetros avaliados foram à altura de planta (cm), medida entre a superfície do solo e a inserção do pendão da planta, e o diâmetro do colmo (mm), medido entre o primeiro e segundo internódio do colmo.

3.17 Parâmetros avaliados na espiga

Foram coletadas 50 espigas por parcela de forma aleatória (Figura 13A), resultando em 600 espigas analisadas. Os parâmetros avaliados foram:

- massa (g) da espiga sem palha, determinada com uma balança de precisão (Figura 13B);
- comprimento de espiga (cm), determinado com um escalímetro na escala de 1:100 (Figura 13C);
- diâmetro da espiga (mm), com medidas no ápice, na parte média e na base da espiga (Figura 13D);

- diâmetro do sabugo (mm), com medidas no ápice, na parte média e na base do sabugo;
- comprimento do grão (mm), a partir da diminuição dos valores de raio da espiga (Equação 14) pelo raio do sabugo (Equação 14), e estimativa do comprimento no ápice, na parte média e na base do grão (Equação 15).

$$\text{raio da espiga} = \frac{\text{diâmetro da espiga}}{2} \quad (13)$$

$$\text{raio do sabugo} = \frac{\text{diâmetro do sabugo}}{2} \quad (14)$$

$$\text{comprimento do grão} = \text{raio da espiga} - \text{raio do sabugo} \quad (15)$$

- número de grãos por espiga, pela contagem;
- número de fileiras de grãos por espiga, pela contagem (Figura 13E);
- número médio de grãos por fileira, pela divisão do número de grãos por espiga pelo número de fileiras por espiga (Equação 16).

$$\text{número médio de grãos por fileira} = \frac{\text{número de grãos}}{\text{número de fileiras de grãos por espiga}} \quad (16)$$

- massa de grãos por espiga (g), pela medida da massa por balança de precisão (Figura 13F);
- produtividade (kg ha^{-1}) a 13% de umidade, com base na massa de grãos por espiga e área útil de cada planta (Equação 17)

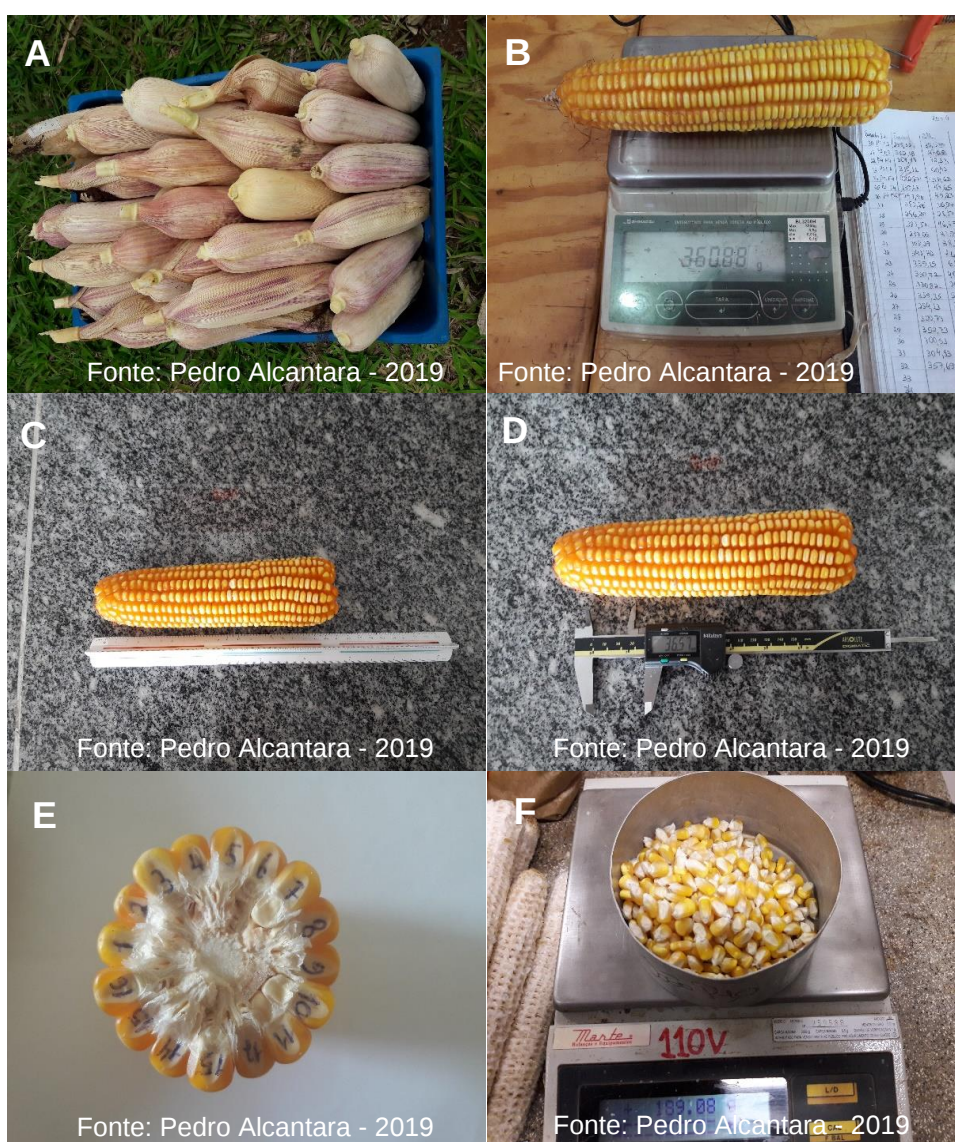
$$\text{Produtividade} = \frac{(\text{massa de grãos}(\text{kg}) * 10000)}{\text{área útil da planta}(\text{m}^2)} \quad (17)$$

- massa média de grão (g), pela divisão de massa de grãos por espiga pelo número de grãos por espiga (Equação 18)

$$\text{Massa média de grão} = \frac{\text{massa média de grãos por espiga}}{\text{número de grãos por espiga}} \quad (18)$$

- massa de 1000 grãos (g), pela contagem de mil grãos e a determinação de sua massa com a balança de precisão.

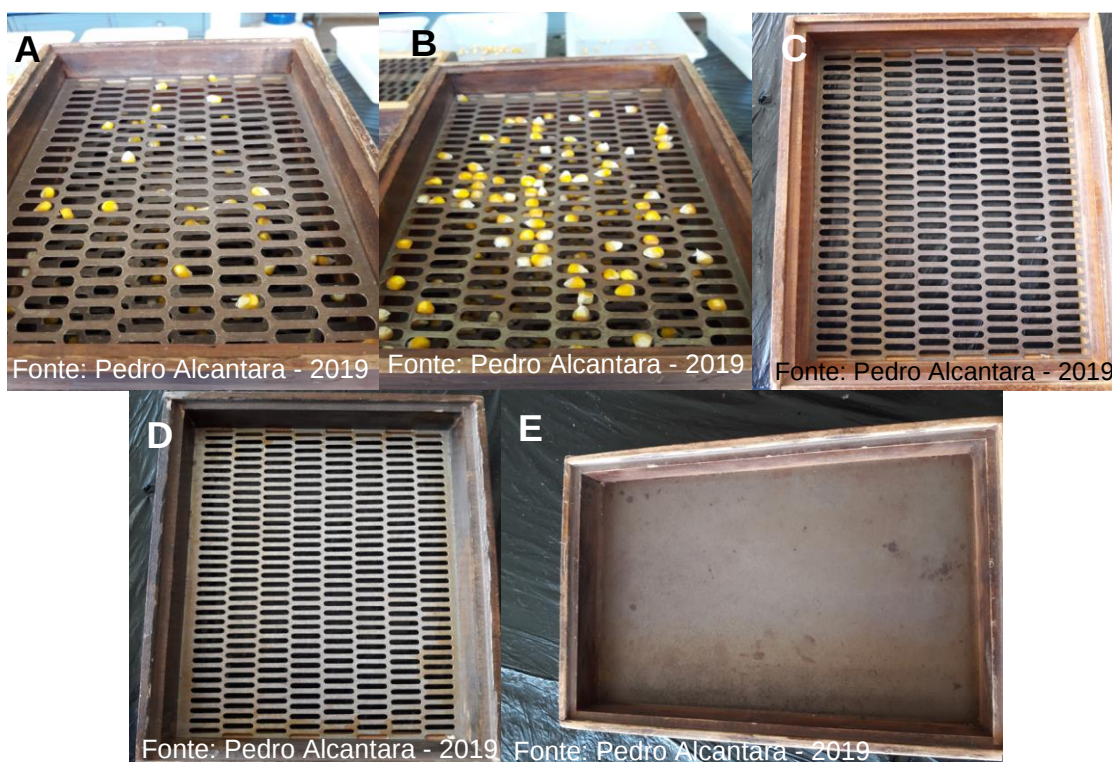
Figura 13 - Colheita de espigas (A), determinação da massa da espiga em balança de precisão (B), medição do comprimento da espiga com o auxílio de um escalímetro (C), medição do diâmetro da espiga com um paquímetro digital (D), contagem do número de fileiras de grãos por espiga (E), e determinação da massa de grãos após a debulha para estimar a produtividade do milho (F)



3.18 Avaliação da classificação do grão

A classificação dos grãos foi realizada no laboratório de sementes, no Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal da FCA UNESP campus de Botucatu. A classificação da espessura dos grãos foi feita por meio de peneiras de crivos oblongos ou retangulares (SILVA et al., 2008). As peneiras utilizadas tinham a espessuras de crivo de 20mm (Figura 14A), 17mm (Figura 14B), 14mm (Figura 14C) e 10,5 mm (Figura 14D). As sementes que foram retiradas do fundo não tiveram nenhuma classificação (Figura 14E). As massas das sementes retidas em cada peneira foram determinadas em balança de precisão, e transformadas em percentual.

Figura 14 - Peneiras de crivo retangular de 20 mm (A), 17 mm (B), 14 mm (C), 10,5 mm (D) e caixa de fundo responsável por reter os grãos que não foram classificados (E)



3.19 Índice de área foliar (IAF)

Na fase reprodutiva (R3), o índice de área foliar foi estimado com o uso de um ceptômetro (AccuPAR LP-80), que mede a interceptação de luz pelas folhas. A

captação da radiação fotossinteticamente ativa foi feita com um sensor acima do dossel e outro abaixo, de forma instantânea. A avaliação foi feita em 16 plantas por parcela na área útil, quatro plantas por linha, com um total de 196 plantas analisadas, em condições de céu limpo.

3.20 Matéria seca total

Para a quantificação da matéria seca total, foram coletadas 16 plantas por parcela no final do experimento, sendo quatro plantas equidistante em 2,3 m uma da outra, resultando em um total de 196 plantas analisadas. As plantas foram separadas em folha, colmo + pendão (Figura 15A), palha (Figura 15B) e sabugo (Figura 15C). As amostras foram armazenadas em sacos de papel, secas em estufas de ventilação forçada a 65°C por 72 horas. A matéria seca (g) foi determinada com o uso de uma balança de precisão.

Figura 15 - Medição da massa do colmo (A), medição da massa da palha (B) e medição da massa do sabugo (C)



3.21 Acumulo de nitrogênio nas diferentes partes da planta de milho

A determinação do acumulo de nitrogênio foi feito na folha, colmo + pendão, palha, sabugo e grãos de milho. As amostras foram trituradas em moinho Wiley TE-

680 (Figura 16), armazenadas em sacos de papel e enviadas para análise quanto ao teor de nitrogênio na matéria seca no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais da FCA UNESP campus de Botucatu.

O nitrogênio acumulado nas diferentes partes da planta foi calculado utilizando a equação 19.

$$NA = \frac{N * P}{1000} \quad (19)$$

NA = Nitrogênio acumulado na parte da planta, em kg ha⁻¹,

N = teor de nitrogênio na parte da planta, em g.kg⁻¹,

P = produtividade da parte da planta, em kg ha⁻¹.

Figura 16 - Utilização do moinho para preparação das amostras para análise de nitrogênio nas diferentes partes da planta



Fonte: Pedro Alcantara - 2019

3.22 Índice relativo de clorofila

O índice relativo de clorofila foi determinado com o uso do equipamento portátil ClorofiLOG modelo CFL 1030 Falker (Figura 17). As análises foram realizadas nos estádios fenológicos V11, R2 e R3, sendo analisadas 16 plantas por parcela, sendo feita uma medida por planta na folha adjunta a espiga. As análises geraram valores de índice relativo de clorofila A, B e total. O equipamento fez as medições através da emissão de comprimentos de onda nos valores de 635, 660 e 880 nm. Um sensor foi o responsável por captar a radiação que foi transmitida na folha durante a análise fornecendo as medidas de absorbância das clorofilas (BARBIERI JÚNIOR et al., 2012).

Figura 17 - Utilização do ClorofiLOG modelo CFL 1030 Falker para medida do índice relativo de clorofila A, B e total



3.23 Calibração do Clorofilômetro

Para realizar a calibração do equipamento ClorofiLOG modelo CFL 1030 Falker para leituras do teor de nitrogênio na folha, foram realizadas medidas do índice relativo de clorofila quando a cultura alcançou 100% de pendoamento nas parcelas (estádio R1). Foram utilizadas 30 plantas por parcela, com três medidas em uma folha, o que totalizou 90 medidas por parcela. Todas as folhas medidas em cada parcela foram coletadas, armazenadas em sacos de papel, secas em estufa de circulação forçada a 65°C por 72 horas, trituradas por um moinho da marca Tecnal do tipo Wiley TE-680, e analisadas para a determinação do teor de nitrogênio na matéria seca no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais da FCA-UNESP campus de Botucatu. Os valores médios do índice relativo de clorofila e do teor de nitrogênio na folha por parcela, em um total de 12 pontos, foram utilizados para a determinação da curva de calibração.

3.24 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância. Os resultados de atributos da planta, espiga, índices relativos de clorofila foram submetidos a níveis de significância pelo teste F a 1 e 5%. Foi utilizado software SPSS Statisc 16.0 para os testes de homogeneidade e normalidade dos dados. Foi utilizado o software SISVAR (FERREIRA e FURTADO, 2008) para fazer a análise de variância e o teste de médias (teste de Tukey). As análises de regressão e seu nível de significância foram realizados pela planilha eletrônica Excel.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Irrigação

4.1.1 Determinação da equação de infiltração

Na Tabela 11 estão os dados coletados no teste de infiltrômetro de sulco para se definir a equação de infiltração para determinação das lâminas de irrigação.

Tabela 11 - Dados do teste para gerar a equação de infiltração

Tempo (x)	Infiltração (y)	Log(x)	Log(y)	x*y	x*x
0	0	0	0	0	0
3	10	0.477121	1	0.477121	0.227645
8	20	0.90309	1.30103	1.174947	0.815572
13	30	1.113943	1.477121	1.645429	1.24087
23	46	1.361728	1.662758	2.264224	1.854303
33	61	1.518514	1.78533	2.711048	2.305885
48	83	1.681241	1.919078	3.226433	2.826572
63	104	1.799341	2.017033	3.62933	3.237626
93	144	1.968483	2.158362	4.2487	3.874925
123	182	2.089905	2.260071	4.723335	4.367703
153	217	2.184691	2.33646	5.104444	4.772877
183	252	2.262451	2.401401	5.433051	5.118685
Soma		17.36051	20.31864	34.63806	30.64266
Média		1.578228	1.84715	3.148915	2.785697

A equação determinada foi $I = 4,963 * T^{0,791}$.

4.1.2 Determinação da DTA, CTA e CRA do solo

A curva de retenção gerou valores de umidade para os pontos de potencial matricial de capacidade de campo (6 KPa) e ponto de murcha permanente (1.500 KPa) de 28 e 18,2 % de água retida em volume ($\text{dm}^3.\text{dm}^{-3}$), respectivamente. A

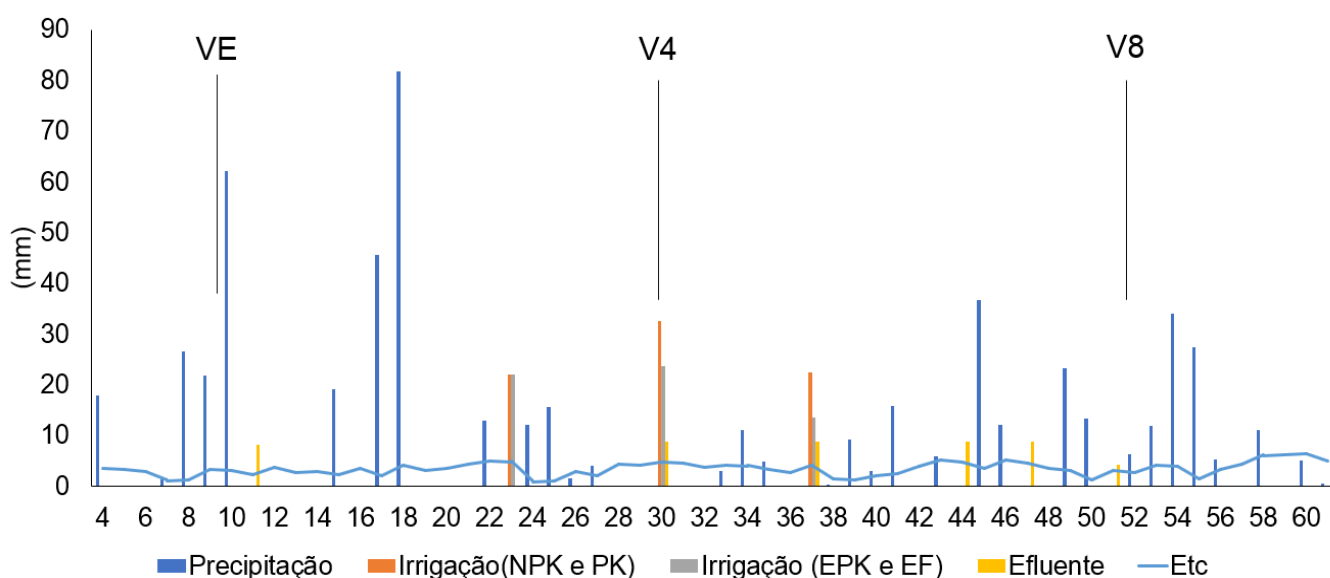
disponibilidade total de água no solo (DTA) foi de $0,98 \text{ mm.cm}^{-1}$ de solo. Para a camada superficial de 25 cm, a capacidade total de água no solo (CTA) foi de 24,5 mm, e a capacidade real de água no solo foi de 14,7 mm. O armazenamento de água para a camada superficial de 25 cm, na capacidade de campo do solo, foi de 70 mm (28%), na capacidade real de água do solo foi de 55,3 mm (22%) e o ponto de murcha permanente foi de 45,5 mm (18%).

4.1.3 Manejo de irrigação

O manejo de irrigação realizado nos meses de outubro e novembro foi diferente entre os tratamentos que recebiam efluente e água (EfPK e Ef) e os tratamentos que somente receberam água (NPK e PK). Essa diferença ocorreu devido a necessidade de aplicar o efluente em estádios fenológicos da cultura previamente determinados e não ter a necessidade da aplicação da água devido ao conteúdo adequado de água no solo.

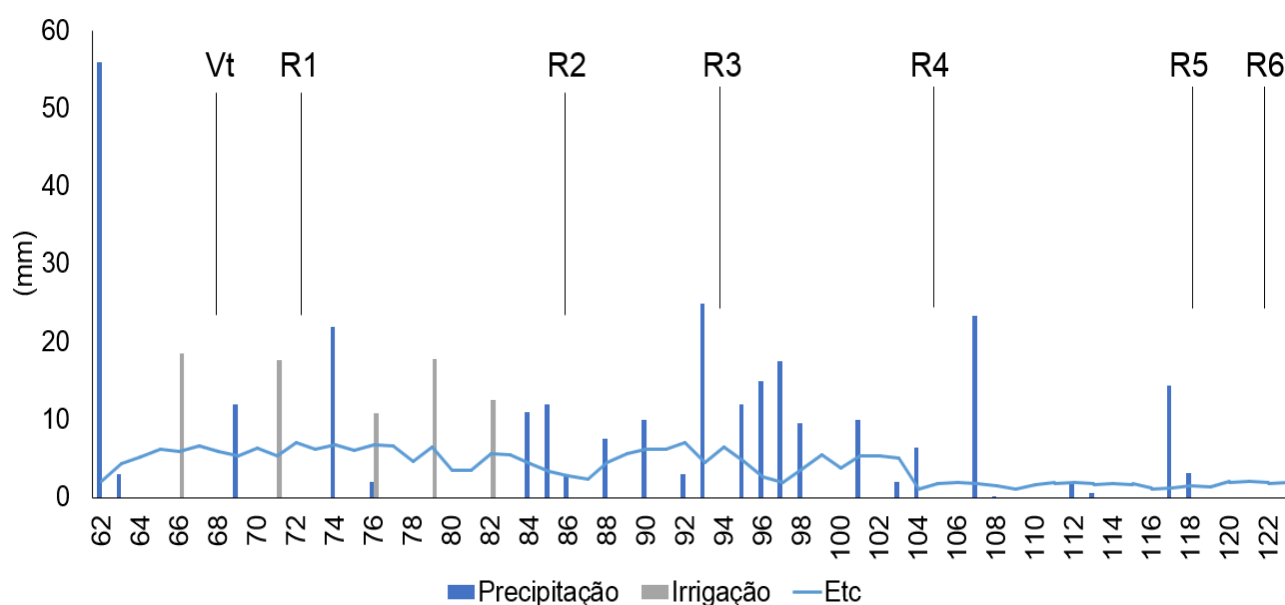
A evapotranspiração da cultura, a precipitação e as lâminas de irrigação e de efluente, ocorridas em outubro e novembro de 2018, estão apresentadas na figura 18.

Figura 18 - Evapotranspiração da cultura (ETc), precipitação (mm) e lâmina de irrigação e de efluente, em outubro e novembro de 2018



Em dezembro de 2018 e janeiro de 2019, o manejo de irrigação realizado foi o mesmo para todos os tratamentos (Figura 19), pois não houve a necessidade da aplicação do efluente. As irrigações realizadas nesses dois meses foram compostas exclusivamente por água. Apesar do manejo ter sido diferente em outubro e novembro, os valores de conteúdo de água no solo no início de dezembro foram próximos em todos os tratamentos, devido à alta pluviosidade em novembro de 2018.

Figura 19 - Evapotranspiração da cultura (ETc), precipitação (mm) e lâmina de irrigação em dezembro (A) de 2018 e janeiro (B) de 2019 em todos os tratamentos



A precipitação total durante o experimento foi de 847,4 mm (outubro de 2018, 323,8 mm; novembro de 2018, 241,1 mm; dezembro de 2018, 141,5 mm; e janeiro de 2019, 141 mm). No entanto, a maior parte dessa chuva foi acumulada nos meses de outubro e novembro (Figura 18), quando a planta estava na fase vegetativa. Os meses de outubro e novembro corresponderam a 66,7% da precipitação total, enquanto que dezembro e janeiro foram responsáveis por 16,7% e 16,6% (Figura 19), respectivamente.

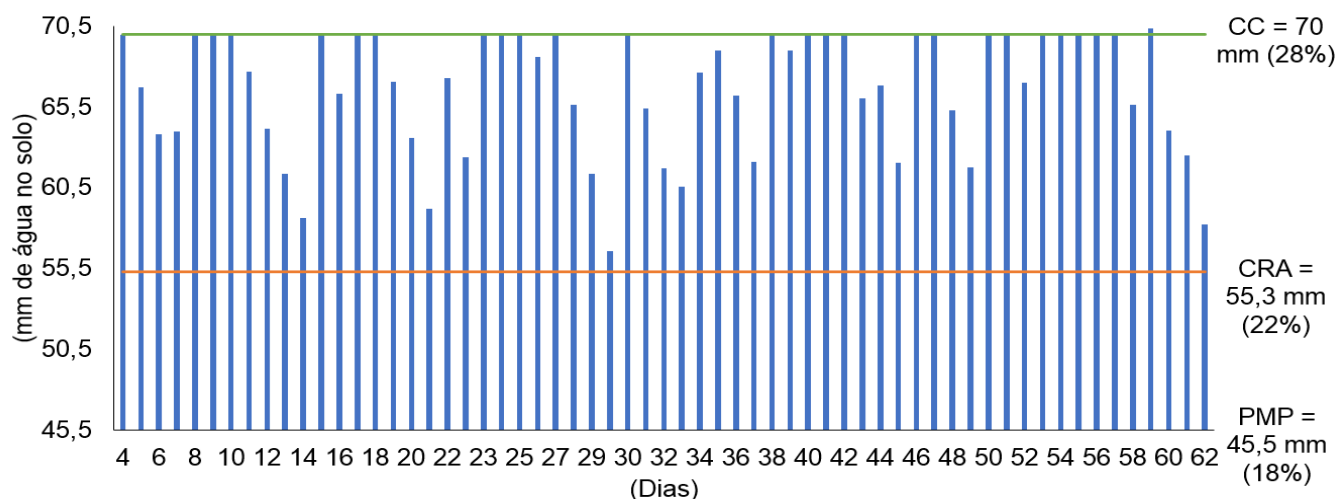
Os meses com menores índices de precipitação foram dezembro de 2018 e janeiro de 2019, a menor precipitação no mês de dezembro de 2018 foi o período mais crítico para cultura, pois essa encontrava-se na fase reprodutiva, e quando se utiliza

o maior valor de K_c (1,23), o que acarretou em um valor mensal médio de ET_c de 5,3 mm.dia⁻¹. Por esse motivo, em dezembro de 2018 foi realizada a maior parte das irrigações, com as maiores lâminas utilizadas para suprir a cultura com água (Figura 20).

Nos tratamentos EfPK e Ef, em outubro e novembro de 2018, foram realizadas sete irrigações sendo quatro somente para aplicação do efluente (11 de outubro de 2018; 13, 16 e 20 de novembro de 2018), duas para aplicação de água e efluente (30 de outubro de 2018 e 06 de novembro de 2018) e uma para aplicação de água (23 de outubro de 2018). Nos tratamentos NPK e PK foram realizadas três irrigações nos meses de outubro e novembro de 2018, utilizando somente água para suprir a demanda de ET_c da cultura. Pela alta pluviosidade nos dois meses em nenhuma das irrigações foi necessário aplicar a lâmina total, pelo fato do nível hídrico do solo não ter alcançado ou ultrapassado os 14,7 mm de capacidade real de água no solo. A alta precipitação no mês de novembro de 2018 fez com que o cultivo do milho não necessitasse de irrigação durante 29 dias. Nos dias 23 e 30 de outubro e 6 de novembro de 2018, é possível observar o armazenamento de água no solo até a profundidade de 25 cm, antes e após a irrigação nas parcelas de todos os tratamentos.

Na Figura 20 é possível observar que o armazenamento de água no solo até a profundidade de 25 cm, em todos os tratamentos manteve-se ideal, entre a CC e a CRA do solo, nos meses de outubro e novembro de 2018.

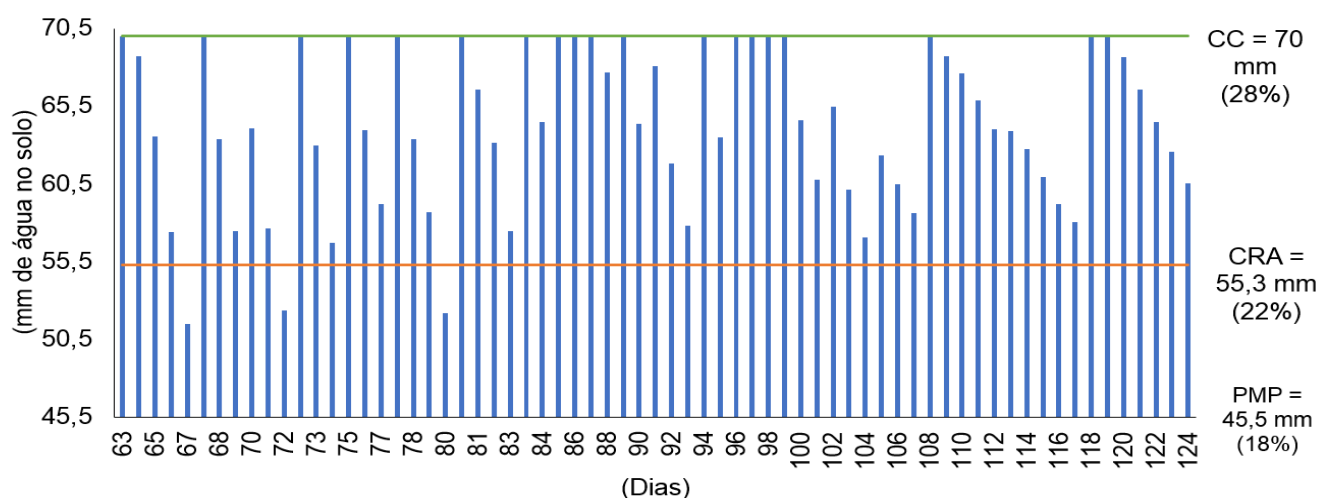
Figura 20 - Armazenamento de água no solo (mm), até a profundidade de 25 cm, em outubro e novembro de 2018



CC: capacidade de campo; CRA: capacidade real de água; PMP: ponto de murcha permanente.

Nos meses de dezembro de 2019 foram realizadas as cinco últimas irrigações no experimento (Figura 21). Por ser o período de maior Kc (1,23) e menor precipitação, a quantidade de água no solo caiu de forma rápida, chegando a ultrapassar o CRA, diferente do que foi observado nos meses de outubro e novembro de 2018. Em dezembro de 2018 foi necessária a utilização de maiores lâminas de irrigação que as utilizadas nos meses anteriores. No mês de janeiro de 2019, apesar de uma pluviosidade próxima a do mês de dezembro de 2018, não foi necessária realizar nenhuma irrigação pois as chuvas foram bem distribuídas e pela menor ETc da cultura nesse período. Nos dias 05, 10, 15, 18 e 21 de dezembro é possível observar o armazenamento de água no solo, até a profundidade de 25 cm, antes e após a irrigação nas parcelas de todos os tratamentos.

Figura 21 - Armazenamento de água no solo (mm), até a profundidade de 25 cm, nos meses de dezembro de 2018 e janeiro de 2019



CC: capacidade de campo; CRA; capacidade real de água; PMP: ponto de murcha permanente.

No total foram realizadas 12 irrigações para as parcelas dos tratamentos EfPK e Ef, enquanto que, os tratamentos NPK e PK tiveram oito irrigações.

4.1.4 Lâminas de irrigação

A Tabela 12 apresenta as datas de irrigações com os respectivos armazenamentos de água no solo até 25 cm de profundidade, e as respectivas lâminas de irrigação.

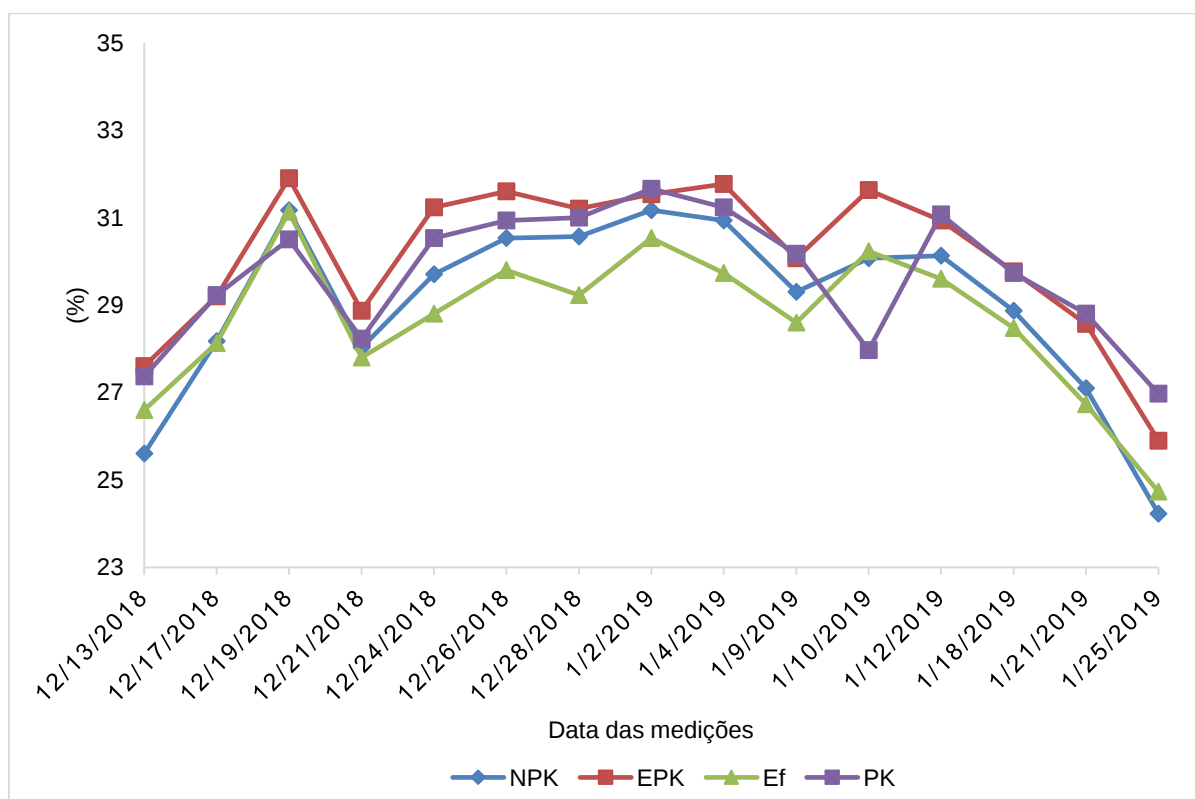
Tabela 12 - Armazenamentos de água no solo até 25 cm de profundidade, e as respectivas lâminas de irrigação

Data	Armazenamento (mm)	Necessário para atingir a CRA	Lâmina (mm)	
			Efluente	Água
11/10/2018	67,70	2,3	8,3	-
23/10/2018	62,37	7,62	-	22,01
30/10/2018 (Parcelas EfPK e Ef)	56,56	13,44	8,9	23,77
30/10/2018 (Parcelas NPK e PK)	56,56	13,44	-	32,66
06/11/2018 (Parcelas EfPK e Ef)	62,13	7,88	8,9	13,53
06/11/2018 (Parcelas NPK e PK)	62,13	7,88	-	22,42
13/11/2018	62,06	7,90	8,9	-
16/11/2018	65,32	4,68	8,9	-
20/11/2018	67,00	3,00	4,2	-
05/12/2018	51,47	18,52	-	43,07
10/12/2018	52,36	17,64	-	41,24
15/12/2018	59,21	10,79	-	27,63
18/12/2018	52,16	17,83	-	41,65
21/12/2018	57,45	12,54	-	30,94

4.1.5 Umidade do solo

A Figura 22 apresenta a variação da umidade do final do sulco medida pelo sensor TDR 100 ao longo das avaliações. A variação de umidade entre as medidas foi de 24,23 a 31%, mostrando que a umidade do final do sulco nesse período não chegou à umidade da CRA (22%).

Figura 22 - Variação da umidade do final do sulco na camada de 0-20 cm medida pela TDR 100 ao longo das avaliações



A Tabela 13 apresenta a análise de variância da umidade solo, medida pelo TDR até a profundidade de 20 cm em 15 datas, no final do sulco de cada parcela. Não houve efeito significativo entre tratamentos e nem entre blocos. Indicando que a umidade no final do sulco (considerado o ponto crítico da irrigação por sulco, por se ter a necessidade de infiltrar uma lâmina ideal) foi uniforme.

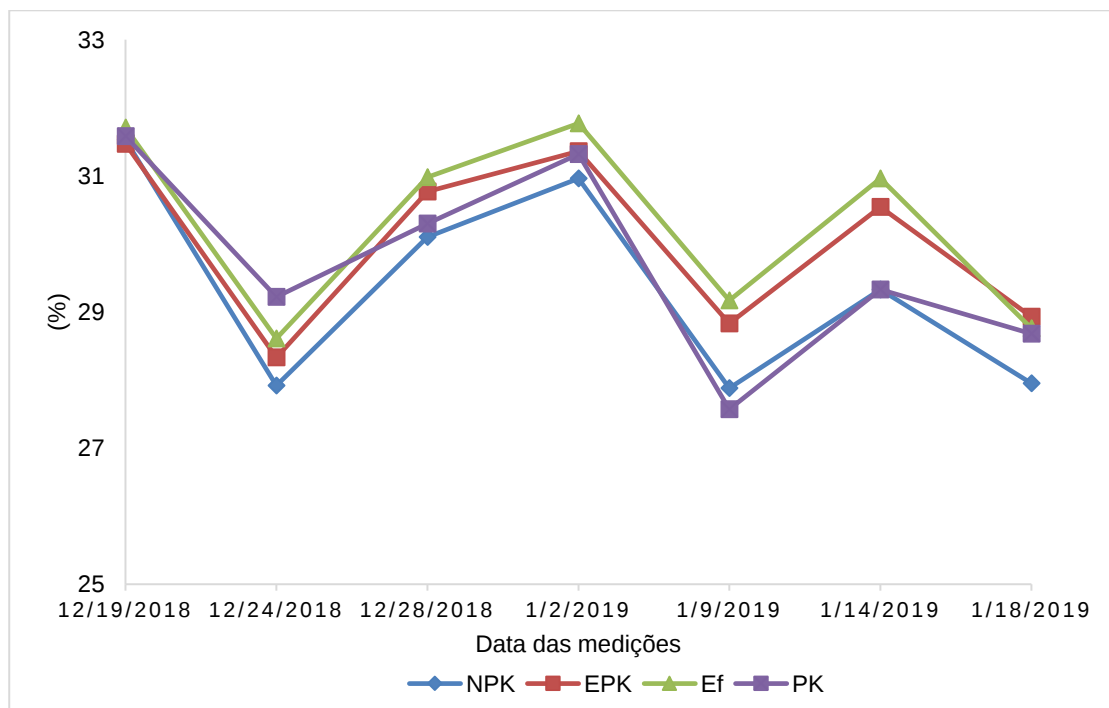
Tabela 13 - Análise de variância da umidade do solo pela TDR 100 em 15 datas

F.V.	G.L.	Quadrados médios							
		1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
Tratamento	3	2,44 ^{NS}	1,13 ^{NS}	0,98 ^{NS}	0,63 ^{NS}	3,32 ^{NS}	1,70 ^{NS}	2,35 ^{NS}	0,77 ^{NS}
Bloco	2	0,89 ^{NS}	1,14 ^{NS}	0,23 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,39 ^{NS}	0,49 ^{NS}	0,23 ^{NS}	0,33 ^{NS}
Erro	6	2,43	2,12	0,50	1,33	3,52	2,85	3,68	3,64
C.V. (%)		5,82	5,08	2,28	4,09	6,24	5,50	6,29	6,11
Média geral		26,79	28,68	31,17	28,23	30,07	30,72	30,50	31,22
		9º	10º	11º	12º	13º	14º	15º	
Tratamento	3	2,22 ^{NS}	1,61 ^{NS}	6,86 ^{NS}	1,43 ^{NS}	1,25 ^{NS}	3,21 ^{NS}	4,50 ^{NS}	
Bloco	2	0,09 ^{NS}	0,64 ^{NS}	7,20 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,81 ^{NS}	3,61 ^{NS}	4,55 ^{NS}	
Erro	6	3,72	3,20	3,91	4,24	3,74	2,55	2,84	
C.V. (%)		6,23	6,06	6,60	6,77	6,62	5,75	6,62	
Média geral		30,92	29,53	29,97	30,43	29,21	27,80	25,46	

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

A Figura 23 apresenta a variação da umidade dentro da parcela ao longo das avaliações pelo sensor HydroSense 2. Assim como a TDR 100 a umidade variou entre 27,57 e 31,58% próximo a umidade de capacidade de campo, não chegando em nenhum momento a umidade da CRA.

Figura 23 - Variação da umidade dentro da parcela experimental medida sensor HydroSense2 ao longo das avaliações



A Tabela 14 apresenta a análise de variância da umidade solo medida em sete datas pelo sensor HydroSense2 (HS2), em 16 pontos dentro de cada parcela. Não houve efeito significativo entre tratamentos nem entre blocos. Isso indica que os tratamentos nas datas avaliadas estavam com valores de umidade do solo próximos. Esses resultados encontrados pelo HS2 também indicam que houve uniformidade na aplicação de água nas parcelas.

Tabela 14 - Análise de variância da umidade do solo pelo HydroSense2 em sete datas

F.V.	G.L.	Quadrados médios						
		19/12/18	24/12/18	28/12/18	02/01/19	09/01/19	14/01/19	18/01/19
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Tratamento	3	0,03 ^{NS}	0,90 ^{NS}	0,50 ^{NS}	0,33 ^{NS}	1,73 ^{NS}	1,45 ^{NS}	0,57 ^{NS}
Bloco	2	0,05 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,11 ^{NS}	2,73 ^{NS}	0,10 ^{NS}	1,39 ^{NS}
Erro	6	0,08	0,72	0,49	0,63	1,01	0,73	0,32
C.V.		0,88	2,99	2,30	2,54	3,54	2,82	1,98
Média geral		31,57	28,52	30,58	31,35	28,36	30,32	28,58

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

4.2 Altura de planta e diâmetro de colmo

No resumo da análise de variância de altura de plantas de milho e diâmetro de colmo (Tabela 15), verifica-se que houve efeito significativo a 1% em todas as variáveis entre tratamentos, e que não houve efeito significativo entre blocos.

Tabela 15 - Análise de variância para as variáveis altura de milho e diâmetro de colmo

F.V.	G.L.	Quadrados médios	
		Altura da planta (cm)	Diâmetro do colmo (mm)
Tratamento	3	1576,89**	33,77**
Bloco	2	42,92 ^{NS}	0,82 ^{NS}
Erro	6	13,26	0,21
C.V. (%)		2,23	2,07
Média geral		163,07	22,42

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

A maior altura de plantas foi observada para os tratamentos com utilização do NPK e EfPK (Tabela 16), que diferiram dos demais tratamentos analisados. O uso do efluente fez com que o tratamento EfPK alcançasse uma altura de planta igual a encontrada no NPK. Resultado semelhante foi encontrado por Moretti (2017) com a utilização de efluente tratado de suínos. O N é um elemento essencial para o desenvolvimento da cultura, o que pode ser confirmado pelo tratamento PK, onde a ausência de N acarretou na menor altura de planta encontrada. A aplicação correta de N leva a uma maior altura de planta de milho por esse nutriente ser requerido em grandes quantidades, acarretando em melhora de processos bioquímicos das plantas, pelo o nitrogênio ser responsável por constituir moléculas de proteínas, coenzimas, enzimas, clorofila e ácidos nucleicos (LOURENTE et al., 2007; SANTOS et al., 2010).

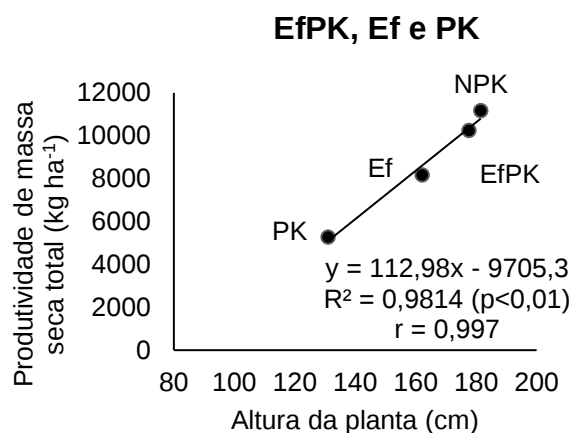
Tabela 16 - Valores médios e resultados da aplicação do teste de Tukey para variável altura do milho (cm)

Tratamentos	Altura de planta (cm)
NPK	181,49 a
EfPK	177,57 a
Ef	162,18 b
PK	131,03 c

Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Segundo Cruz et al., (2008), a característica morfológica altura de planta não influencia a produtividade de grão, tanto que por meio do melhoramento genético, os genótipos de menor porte tornaram-se os mais produtivos. No entanto, a altura de planta é interessante quando se trata da produção de biomassa seca, como a produção de silagem para alimentação de animais. Na figura 24 é possível observar que a análise de regressão apresentou uma correlação positiva e significativa ($p < 0,01$), e o modelo linear ajustou-se aos valores de produtividade de massa seca (kg ha^{-1}) do milho em função da altura da planta. Com o aumento da altura de plantas é possível ter incrementos de produtividade de massa seca do milho, o que é comprovado pelo alto coeficiente de Pearson apresentado por essas duas variáveis (r igual a 0,997).

Figura 24 - Produtividade de matéria seca total (kg ha^{-1}) em função da altura de planta (cm). Valores médios referentes aos tratamentos NPK, EfPK, Ef e PK



Os maiores valores de diâmetro de colmo foram encontrados nos tratamentos NPK e EfPK (Tabela 17), diferindo estatisticamente do Ef e PK, como encontrado em relação à variável altura da planta. Piazzoli et al. (2012) encontraram resultados semelhantes utilizando doses de nitrogênio na adubação de cobertura, onde o aumento da aplicação de N ocasionou um maior diâmetro de colmo.

O colmo é uma estrutura que dá suporte às folhas e ao mesmo tempo acumula fotoassimilados que posteriormente serão utilizados na produção de grãos. Colmos com diâmetros maiores tendem a acumular mais nutrientes dar maior sustentação às plantas, evitando o acamamento (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

Apesar da utilização da mesma dose de nitrogênio nos tratamentos NPK, EfPK e Ef, percebe-se que o último apresentou o menor valor de diâmetro de colmo, evidenciando que a ausência de fósforo e potássio afetou a expansão secundária do colmo. Levando em consideração que o solo do tratamento Ef sem a suplementação de adubos químico desses nutrientes continha baixos e médios teores de fósforo e potássio, respectivamente. Em trabalho realizado por Pelá et al. (2010), a diminuição de doses de fósforo acarretou em menores valores de diâmetro de colmo. Viana (2007), realizando trabalho com a gramínea trigo, mesma família do milho, constatou que a utilização de adubação potássica gerou colmos mais resistentes evitando o acamamento. O potássio é de grande importância no milho por ser o nutriente responsável pela ativação de mais de 60 enzimas, atuando no transporte de íons e no aumento das células causando a expansão vertical e lateral do colmo (PRADO, 2008).

Tabela 17 - Valores médios e resultados da aplicação do teste de Tukey para variável diâmetro do colmo (mm)

Tratamentos	Diâmetro de colmo (mm)
NPK	25,87 a
EfPK	24,16 a
Ef	21,44 b
PK	18,19 c

Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.3 Produção do grão

A Tabela 18 contém os resultados da análise de variância para as variáveis massa de espiga (g), massa de grãos (g), produtividade (kg ha⁻¹) e massa de 1000 grãos, que apresentaram diferença significativa a 1% entre tratamentos, não havendo diferença significativa entre blocos.

Tabela 18 - Análise de variância para a massa de espiga, massa de grãos, produtividade e massa de 1000 grãos

F.V.	G.L.	Quadrados médios			
		Massa da espiga (g)	Massa de grãos (g)	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Massa de 1000 grãos (g)
Tratamento	3	18166,45**	8326,27**	32525560**	2504,64**
Bloco	2	227,73 ^{NS}	117,35 ^{NS}	458115 ^{NS}	189,91 ^{NS}
Erro	6	331,25	115,02	449308	65,42
C.V. (%)		8,25	7,91	7,91	2,21
Média geral		220,67	135,62	8476,45	365,74

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Os valores médios e os resultados da aplicação do teste de Tukey para a massa de espiga (g), massa de grãos (g), produtividade (kg ha⁻¹) e massa de 1000 grãos são apresentados na tabela 19. Todas as variáveis dos tratamentos NPK e EfPK não diferiram entre si, e o tratamento EfPK também não diferiu do tratamento Ef para todas as variáveis. No entanto, o tratamento Ef é estatisticamente diferente dos resultados encontrado nas parcelas com NPK.

Tabela 19 - Valores médios e resultados da aplicação do teste de Tukey para variáveis massa de espiga, massa de grãos, produtividade e massa de 1000 grãos

Tratamentos	Massa da espiga (g)	Massa de grãos (g)	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Massa de 1000 grãos (g)
NPK	306,24 a	194,04 a	12127,61 a	401,56 a
EfPK	253,44 ab	156,39 ab	9774,63 ab	376,62 ab
Ef	198,71 b	121,98 b	7623,75 b	344,93 bc
PK	124,30 c	70,08 c	4379,83 c	339,85 c

Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os maiores valores de produtividades foram encontrados no NPK e EfPK, com 12.127,61 e 9.774,63 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 19). Resultados semelhantes foram encontrados por Moraes et al. (2014), que ao compararem o uso do adubo químico com um efluente tratado, a partir da dose de nitrogênio de 118,5 kg ha⁻¹, também não encontraram diferença significativa de produtividade. Com isso, pode ser afirmado que a substituição do nitrogênio químico pelo orgânico pode ser feita sem que haja redução de produtividade da cultura.

O nitrogênio é um nutriente de grande importância na formação do grão, no entanto, a ausência de nutrientes como fósforo e potássio limitam a atuação do N. Isso pode ser comprovado pelo tratamento Ef, que com a mesma dose de nitrogênio, não resultou em produtividades iguais ao do NPK. Plantas com uma melhor nutrição irão conseguir uma maior produtividade, pois o processo de produção e translocação de fotoassimilados para o grão será maior (FERREIRA et al. 2001).

Os resultados de produtividade de NPK e EfPK foram superiores ao de estados que historicamente possuem altas produtividades, como Goiás e Paraná, que na primeira safra alcançaram 8.000 e 8.748 kg ha⁻¹, respectivamente (CONAB, 2019). Os relativamente altos valores de produtividade alcançados nesse trabalho podem ser explicados pela correta adubação da cultura, pela ótima distribuição de chuva durante o ciclo e o uso da irrigação.

Mesmo estatisticamente diferente do NPK, o Ef alcançou resultados de produtividades de 7.623,75 kg ha⁻¹, sendo próxima as médias dos estados citados, mostrando que somente a aplicação do efluente é capaz de gerar produtividade relativamente boas. Resultados semelhantes foram encontrados por Moretti (2017)

utilizando efluente tratado de suínos, quando alcançou produtividades médias de 6.700 kg ha⁻¹ de milho.

O tratamento PK obteve os menores valores quanto à massa de espiga e massa de grãos; quanto a massa média de grãos e massa de 1000 grãos, os valores não diferiram dos tratamentos Ef e EfPK, mas diferiram do NPK. Resultados semelhantes foram encontrados por Azevedo et al. (2007) para o peso de espiga, onde os valores das parcelas irrigadas só com efluente obtiveram peso maior do que as encontradas nas parcelas somente irrigadas com água.

O maior valor de massa de 1000 grãos foi obtido nos tratamentos NPK e EfPK (Tabela 19). A massa do grão depende diretamente do suprimento de nitrogênio na cultura, pelo fato do grão ser formado por proteínas, que são ricas em cadeias de aminoácidos em sua constituição, sendo estas dependentes do N para serem formados (BELOW, 2002). Para a massa de 1000 grãos, os resultados encontrados nesse trabalho foram superiores ao obtido por Ohland et al. (2005), que utilizando doses de 150 e 200 kg ha⁻¹ de N no milho, alcançaram valores de 357,6 e 353,6 g, respectivamente.

4.4 Componentes de espiga

4.4.1 Diâmetro de espiga, sabugo e comprimento de grão

A Tabela 20 apresenta a análise de variância das variáveis diâmetro do ápice da espiga, diâmetro do ápice do sabugo, comprimento do grão no ápice, diâmetro na parte média da espiga, diâmetro na parte média do sabugo, comprimento do grão na parte média, diâmetro na base da espiga, diâmetro na base do sabugo e comprimento do grão na base. Verificou-se que houve diferença significativa a 1% entre os tratamentos e para todas as variáveis, com exceção de diâmetro do ápice do sabugo que apresentou significância a 5%. Não houve diferença significativa entre os blocos.

Tabela 20 - Análise de variância para as variáveis diâmetro do ápice da espiga (DAE), diâmetro do ápice do sabugo (DAS), comprimento do grão no ápice (CGA), diâmetro na parte média da espiga (DME), diâmetro na parte média do sabugo (DMS), comprimento do grão na parte média (CGM), diâmetro na base da espiga (DBE), diâmetro na base do sabugo (DBS) e comprimento do grão na base (CGB)

F.V.	G.L.	Quadrados médios								
		DAE (mm)	DAS (mm)	CGA (mm)	DME (mm)	DMS (mm)	CGM (mm)	DBE (mm)	DBS (mm)	CGB (mm)
Tratamento	3	18,17**	4,14*	2,19**	12,34**	4,05**	0,75**	28,93**	5,91**	2,18**
Bloco	2	0,81 ^{NS}	0,84 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,76 ^{NS}	0,46 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,44 ^{NS}	0,03 ^{NS}
Erro	6	0,11	0,58	0,12	0,38	0,21	0,01	0,94	0,50	0,03
C.V. (%)		0,98	3,74	5,36	1,35	1,80	1,28	2,03	2,58	1,92
Média geral		33,08	20,45	6,31	45,77	25,50	10,14	47,84	27,56	10,14

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Na tabela 21 é possível analisar que os valores obtidos para o diâmetro ápice da espiga, o tratamento NPK foi superior a todos outros tratamentos. As partes média e base da espiga apresentam diferenças significativas entres os tratamentos. O NPK e EfPK foram iguais, comprovando que o uso do nitrogênio tendo como fonte o efluente tratado permite obter valores de diâmetro iguais aos obtidos com o uso do NPK, para essas partes. O resultado apresentado com o Ef é considerado igual ao do EfPK e diferente do NPK. O não fornecimento de fósforo e potássio à cultura fez com as espigas ficassem menos grossas. Já o resultado do tratamento PK é estatisticamente igual ao do Ef, mas difere do NPK e do EfPK pela ausência de nitrogênio, fazendo com que esse tratamento tivesse os menores diâmetros de espiga.

Tabela 21 - Valores médios e resultados da aplicação do teste de Tukey para variáveis diâmetro do ápice da espiga (DAE), diâmetro do ápice do sabugo (DAS), comprimento do grão no ápice (CGA), diâmetro na parte média da espiga (DME), diâmetro na parte média do sabugo (DMS), comprimento do grão na parte média (CGM), diâmetro na base da espiga (DBE), diâmetro na base do sabugo (DBS) e comprimento do grão na base (CGB)

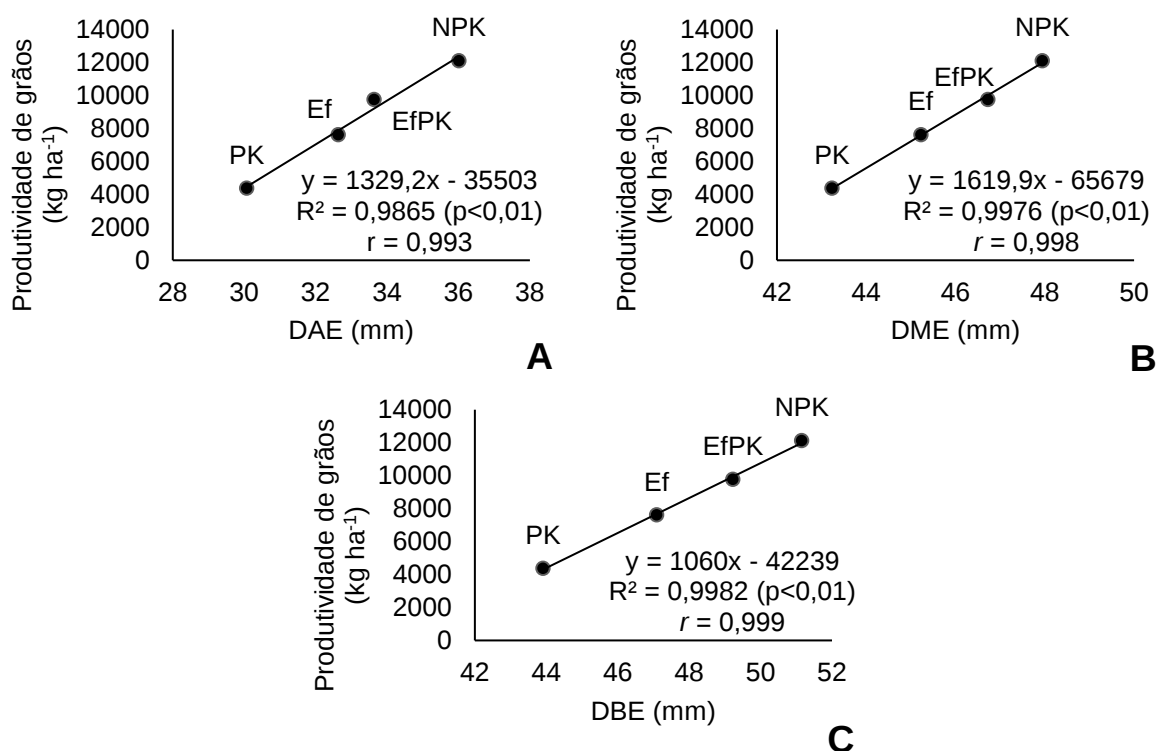
Tratamentos	DAE (mm)	DAS (mm)	CGA (mm)	DME (mm)	DMS (mm)	CGM (mm)	DBE (mm)	DBS (mm)	CGB (mm)
NPK	36,01 a	21,83 a	7,09 a	47,94 a	26,81 a	10,56 a	51,15 a	29,02 a	11,07 a
EfPK	33,64 b	20,96 ab	6,34 ab	46,72 ab	26,13 ab	10,29 a	49,23 ab	28,29 ab	10,47 ab
Ef	32,63 b	19,83 ab	6,72 b	45,22 bc	24,65 b	10,28 a	47,09 bc	27,12 ab	9,98 b
PK	30,07 c	19,19 b	5,12 c	43,23 c	24,40 b	9,41 b	43,91 c	25,81 b	9,05 c

Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resultados semelhantes foram encontrados por Moraes et al. (2014), aplicando doses de efluente tratado de suínos, que não mostraram diferença significativa quanto ao diâmetro em comparação a adubação química. Lourete et al. (2007), avaliando dose de nitrogênio em rendimento de grãos, encontraram resultados inferiores de diâmetro de espiga, e aplicando 200 kg ha⁻¹ de N alcançaram o valor máximo de 46,54 mm. Neste trabalho o suprimento de 135 kg ha⁻¹ de nitrogênio produziu valores médios de diâmetro da espiga entre 46,72 e 47,94 mm (parte média da espiga) e 49,23 e 51,15 mm (base da espiga) nos tratamentos NPK e EfPK.

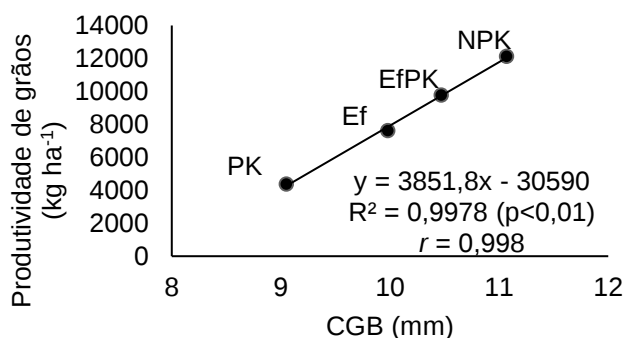
Segundo Lopes et al. (2007) o diâmetro da espiga influencia diretamente na produtividade de grãos, pois está relacionado com massa de grãos por espiga. Na Figura 25 é possível analisar que existe uma alta correlação de diâmetro de espiga com produtividade de grãos. O diâmetro da base, parte média e do ápice possuem uma alta correlação com a produtividade, com uma regressão significativa a 1%, comprovando que essas variáveis podem influenciar diretamente na produtividade.

Figura 25 - Produtividade de grãos em função do diâmetro do ápice de espiga (A), produtividade de grãos em função do diâmetro da parte média de espiga (B) e produtividade de grãos em função do diâmetro da base de espiga (C) Valores médios referentes aos tratamentos NPK, EfPK, Ef e PK



Os maiores valores de comprimento de grãos na base da espiga foram encontrados nos tratamentos NPK e EfPK, e nos tratamentos NPK, EfPK e Ef para a parte média da espiga. No ápice da espiga não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 21). Assim como o diâmetro da espiga, a falta de suplementação de nutrientes via fertilizantes não causou efeito sobre o comprimento do grão no ápice. Na parte média da espiga a falta de nitrogênio fez com que a apenas o tratamento PK produzisse um valor abaixo dos demais. A maior diferenciação aconteceu na base, onde os maiores comprimentos de grãos foram alcançados nos tratamentos NPK e EfPK. Dos três comprimentos de grãos medidos, a base da espiga tem uma maior relação com a produtividade. Existe correlação positiva indicando que maior o comprimento do grão na base, maior a produtividade de grãos (Figura 28).

Figura 28 - Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) em função do comprimento do grão da base da espiga (CGB). Valores médios referentes aos tratamentos NPK, EfPK, Ef e PK



4.4.2 Comprimento da espiga, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e número médio de grãos por fileira

Na Tabela 22, observa-se a análise de variância para as variáveis comprimento da espiga (cm), número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e número médio de grãos por fileira, as quais apresentaram diferenças significativas a 1% entre os tratamentos. Não houve diferença significativa entre blocos.

Tabela 22 - Análise de variância para as variáveis comprimento da espiga (cm), número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e número médio de grãos por fileira

F.V.	G.L.	Quadrados médios			
		Comprimento da espiga (cm)	Número de fileiras por espiga	Número de grãos por espiga	Número médio de grãos por fileira
Tratamento	3	34,48 ^{**}	0,61 ^{**}	42788,12 ^{**}	195,45 ^{**}
Bloco	2	0,33 ^{NS}	0,02 ^{NS}	450,43 ^{NS}	2,12 ^{NS}
Erro	6	0,46	0,02	753,37	3,07
C.V.		4,44	1,25	7,41	6,59
Média geral		15,31	13,85	370,36	26,58

^{**} e ^{*} significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Os maiores valores de comprimento de espiga (Tabela 23) ocorreram nos tratamentos NPK e EfPK. A Figura 26 mostra a diferença visual do comprimento de espiga entre os tratamentos NPK, EfPK, Ef e PK. Lourente et al. (2007), com aplicações de 200 kg ha⁻¹ de N, obtiveram um maior comprimento de espiga de milho de 18,12 cm. Kappes (2012) alcançou comprimentos de espigas menores (16,76 cm) aos encontrados nesse trabalho, com doses de nitrogênio de 120 kg ha⁻¹. No entanto, Moraes et al. (2014) e Moretti (2017), avaliaram o cultivo do milho sob aplicação de efluente de suínos e adubação química, e apresentaram maiores valores de comprimento de espiga, 16,5 e 18,1 cm, respectivamente. Esses resultados indicam que o efluente pode ser utilizado como fonte de adubação gerando altas produtividades de milho.

Tabela 23 - Valores médios e resultados da aplicação do teste de Tukey para variáveis comprimento da espiga (cm), número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e número médio de grãos por fileira

Tratamentos	Comprimento (cm)	Número de fileiras	Número de grãos	Número médio de grãos por fileira
NPK	18,92 a	14,11 a	486,95 a	34,65 a
EfPK	16,76 ab	14,09 a	427,23 ab	30,36 ab
Ef	14,61 b	14,04 a	357,51 b	25,45 b
PK	10,97 c	13,17 b	209,75 c	15,86 c

Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 26 - Diferença de comprimento entre as espigas dos diferentes tratamentos

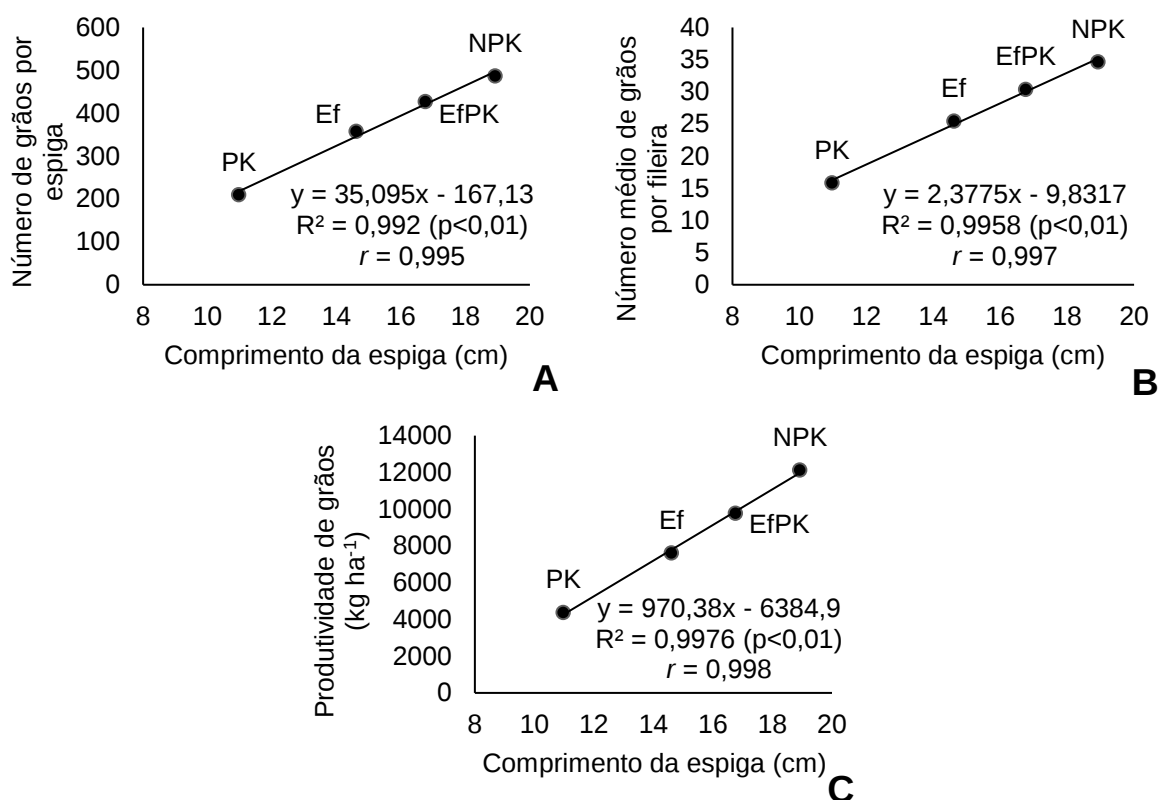


Uma deficiência nutricional na cultura gera espigas com menor comprimento, como é possível observar no tratamento Ef, que recebeu a mesma dose de N do tratamento NPK e produziu espigas menores. O nitrogênio é um nutriente de grande importância para o desenvolvimento da espiga do milho, mas a ausência dos demais nutrientes limita a sua ação. No tratamento PK, a ausência do N gerou uma queda ainda maior de comprimento da espiga. Os valores para Ef e PK foram de 14,61 e 10,97 cm, respectivamente. Segundo Albuquerque et al. (2008), as espigas possuem um comprimento desejável a partir de 15 cm, acima do valor encontrados nesses tratamentos, pois abaixo dos 15 cm as máquinas para a debulha das espigas de milho têm uma menor eficiência de operação. Já os tratamentos NPK e EfPK, com

comprimentos de 18,92 e 18,76 cm, respectivamente, têm comprimentos de espiga que são aceitos pela indústria e pelo próprio consumidor.

Segundo Kappes (2012) o comprimento da espiga tem relação positiva com o número de grãos por espiga e, conseqüentemente, com a produtividade de grãos. Isso pode ser verificado na Figura 27. Em análise de rendimento de grãos Sartor et al. (2012) encontraram aumentos lineares de produtividade com incrementos do comprimento da espiga. Lopes et al. (2007) também observaram correlação positiva entre comprimento da espiga com o número de grãos por espiga, podendo vir a incrementar a produtividade do milho.

Figura 27 - Número de grãos por espiga em função do comprimento da espiga (A), número médio de grãos por fileira em função do comprimento da espiga (B) e produtividade de grãos em função do comprimento da espiga (C). Valores médios referentes aos tratamentos NPK, EfPK, Ef e PK

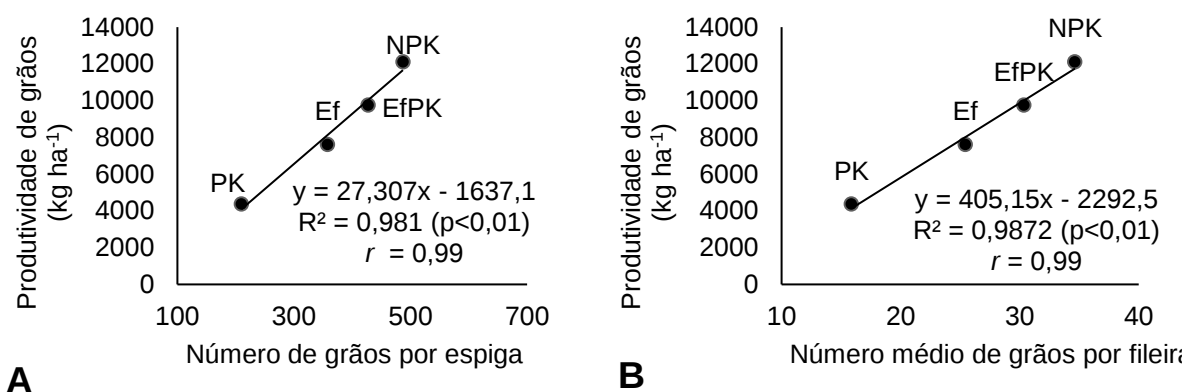


De acordo com a Tabela 23, os tratamentos NPK e EfPK apresentaram os melhores resultados de número de grãos por espiga e número médio de grãos por fileira, enquanto que apenas o tratamento PK apresentou número de fileiras

significativamente menor que os demais. A aplicação do efluente sem complementação de fósforo e potássio reduziu em 26,63% o número de grãos por espiga em comparação ao tratamento NPK, mas a maior redução ocorreu no tratamento PK, sem aplicação de nitrogênio (56,92%), mostrando assim a importância desse nutriente para a cultura do milho. O aumento do número grãos na espiga pode aumentar a produtividade do milho (MUNDSTOCK e SILVA, 2005).

Medeiros et al. (2015), avaliando a resposta do milho a doses de nitrogênio observou que as maiores produções de grão foram alcançadas com o aumento da aplicação de nitrogênio. As variáveis número de grãos e número médio de grãos por fileira possuem correlação positiva com a produtividade de grãos, como mostra a Figura 28. Ambas apresentaram regressões significativas a 1% e alto índice de correlação de Pearson. Assim como o comprimento da espiga, o incremento dessas variáveis pode significar em aumento de produtividade do grão.

Figura 28 - Produtividade de grãos em função do número de grãos por espiga (A) e produtividade de grãos em função do número médio de grãos por fileira (B). Valores médios referentes aos tratamentos NPK, EfPK, Ef e PK



4.5 Classificação do grão

A Tabela 24 apresenta a análise de variância para as porcentagens da massa total de grãos de cada tratamento nas peneiras de 20 mm, 17 mm, 14 mm e 10,5 mm, no fundo. Todos os tratamentos apresentaram significância a 1 e 5%, e não houve diferença significativa entre blocos.

Tabela 24 - Análise de variância da porcentagem de massa de grãos dos tratamentos NPK, EfPK, Ef e PK retidas nas peneiras de 20 mm, 17 mm, 14 mm, 10,5 mm e no fundo

F.V.	G.L.	Quadrados médios				
		20 mm (%)	17 mm (%)	14 mm (%)	10,5 mm (%)	Fundo (%)
Tratamento	3	1,70**	15,77*	72,75*	132,58*	0,007**
Bloco	2	0,002 ^{NS}	5,03 ^{NS}	4,35 ^{NS}	2,08 ^{NS}	0,0008 ^{NS}
Erro	6	0,005	2,13	10,67	17,46	0,0003
C.V.		4,90	17,09	10,86	7,00	7,76
Média geral		1,45	8,54	30,08	59,70	0,22

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Na Tabela 25, percebe-se que o grão de milho classificado quanto a espessura com a utilização de peneiras de crivos oblongos ou retangulares (SILVA et al, 2008), apresenta uma maior porcentagem a partir da peneira de 14 mm. Na peneira de 20 mm o tratamento NPK obteve a maior porcentagem de retenção, contudo são valores baixos comparado as demais peneiras. O percentual de grãos que não foram classificados e retidos no fundo, representam menos que um por cento da massa total de grãos.

Tabela 25 - Valores médios e resultados da aplicação do teste de Tukey para as variáveis porcentagem de massa total de grãos retida nas peneiras de 20 mm (%), 17 mm (%), 14 mm (%) e 10,5 mm (%) e no fundo (%)

Tratamentos	20 mm (%)	17 mm (%)	14 mm (%)	10,5 mm (%)	Fundo (%)
NPK	2,54 a	9,04 ab	28,20 ab	60,05 ab	0,17 b
EfPK	1,22 b	6,94 b	24,38 b	67,25 a	0,20 b
Ef	1,20 b	6,63 c	31,87 ab	60,45 ab	0,23 ab
PK	0,82 c	11,59 a	35,87 a	51,04 c	0,29 a

Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na classificação de 17 mm e 14 mm, os maiores valores foram encontrados nos tratamentos PK e NPK (Tabela 25). Como o tratamento PK produziu um menor

número de grãos por espiga, houve um maior espaço para que os grãos aumentassem sua espessura (Figura 29). Silva (2015) avaliou a produção de milho sob diferentes doses de efluente tratado, e alcançou resultados semelhantes sem a aplicação de nitrogênio, com preenchimento de grãos disformes, com comprimento e espessura inferiores quando comparados aos tratamentos com aplicação de nitrogênio.

Figura 29 - Espiga do tratamento PK (A) e espiga do tratamento NPK (B)



Ainda de acordo com a Tabela 25, para a classificação de 10,5 mm os maiores valores foram observados nos tratamentos NPK, EfPK e Ef, os quais obtiveram altos valores de produção de número de grãos por espiga e produtividade de grãos. A quantidade de grãos retidos na peneira de 10,5 mm corresponde a mais de 50% da massa total de grãos avaliada, em todos os tratamentos. Os grãos com essa espessura são de grande importância para a produtividade da cultura, além de serem mais desejáveis para a colheita mecânica e o beneficiamento. Apesar da menor espessura dos grãos retidos nessa peneira, os mesmos apresentaram uma maior massa média de grão e de 1000 grãos, significando em um maior acúmulo de matéria seca. Resultados semelhantes foram encontrados por Zucarelli et al. (2014), que

avaliaram a espessura de grãos de milho e encontraram os maiores valores retidos na peneira de 10 mm.

4.6 Índice de área foliar (IAF)

Na análise de variância do índice de área foliar (IAF) (Tabela 26), verifica-se que houve efeito significativo a 1% entre tratamentos, e que não houve efeito significativo entre blocos.

Tabela 26 - Análise de variância para a variável índice de área foliar (IAF)

	G.L.	Quadrados médios
		Índice de área foliar (IAF)
Tratamento	3	1,20**
Bloco	2	0,07 ^{NS}
Erro	6	0,06
C.V. (%)		7,65
Média geral		3,16

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Para o índice de área foliar (IAF) (Tabela 27), apenas o tratamento PK diferiu dos tratamentos NPK e EfPK, mas foi estatisticamente igual ao Ef. Os tratamentos com maior IAF, com exceção do Ef, também apresentaram espigas com maior comprimento, número médio de grãos por fileira, número de grãos, peso de espigas e produtividade de grãos.

Tabela 27 - Valores médios e resultados da aplicação do teste de Tukey para variáveis índice de área foliar (IAF)

Tratamentos	Índice de área foliar (IAF)
NPK	3,69 a
EfPK	3,58 a
Ef	3,07 ab
PK	2,31 b

Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

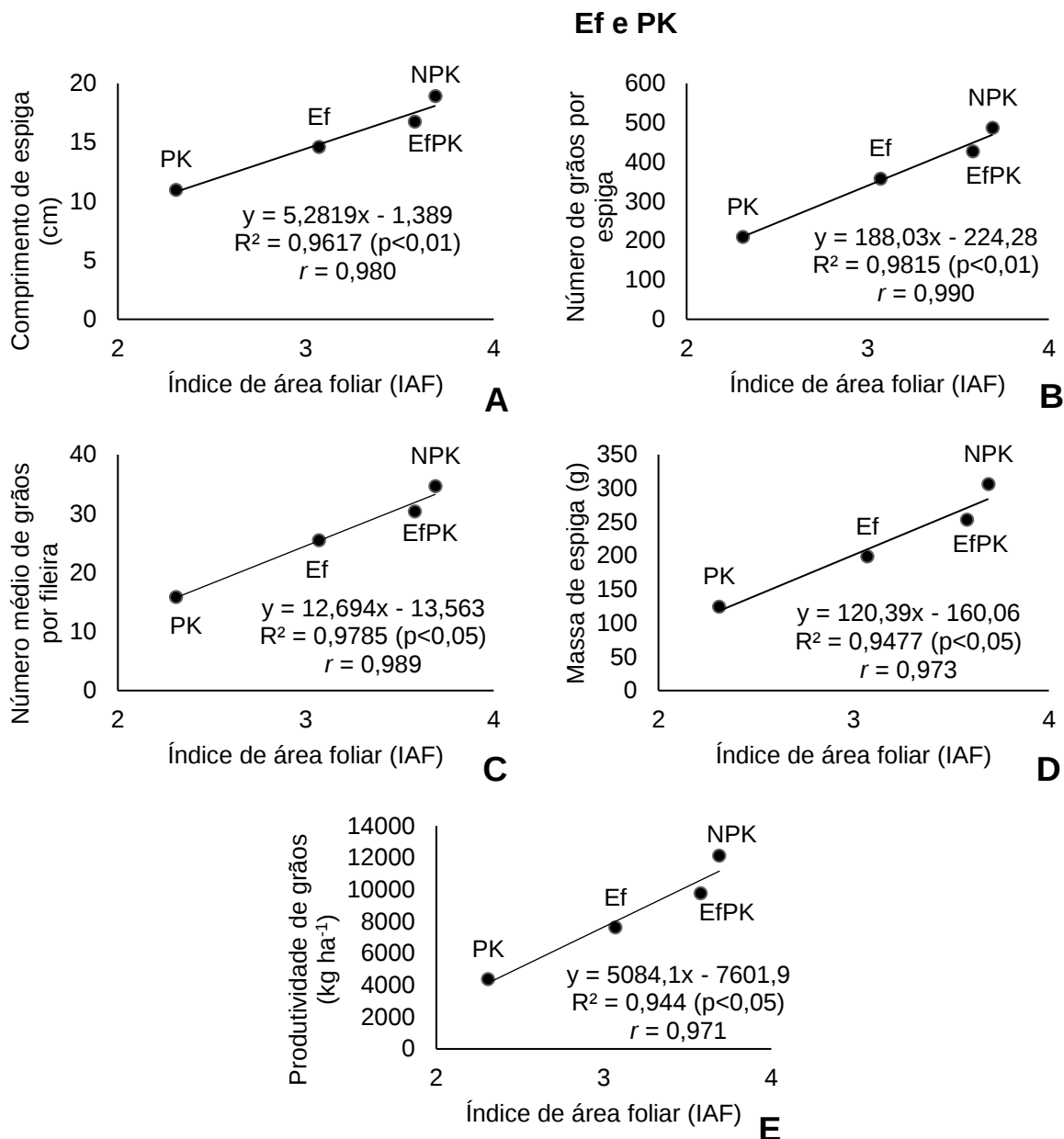
Resultados encontrados por Cruz (2013) também mostram que plantas com maior IAF apresentaram maiores valores relacionados aos parâmetros de produção da espiga, pois as mesmas têm maior capacidade de captação de energia solar, o que confere maior conversão de energia e maior produção de biomassa.

A maior interceptação da radiação solar proporcionada pelo maior IAF, pode haver maior aproveitamento da energia no processo fotossintético, proporcionando maior produção de fotossintetizados e, conseqüentemente, maior acúmulo de matéria seca. Diante disso, a tendência é que se tenha um aumento dos parâmetros medidos na espiga (CRUZ, et al. 2008). A importância de obtenção de um alto valor de índice de área foliar baseia-se no fato que, dos carboidratos destinados ao grão durante a fase reprodutiva, metade tem como origem a parte superior da planta (folhas e colmo) (CRUZ, 2013).

Adebo e Olaoye (2010) mostraram que o maior valor de IAF, medida durante a floração do milho, fez com que as plantas tivessem maiores produtividades quando comparadas com as de menor índice. Conclusão semelhante foi encontrada por Kunz et al. (2007), ou seja, maiores rendimentos de grãos foram alcançados pelas plantas com maior IAF.

As Figura 30 apresentam as análises de regressões entre o IAF medido em cada tratamento e os respectivos parâmetros medidos na espiga. Na Figura 30A, a regressão foi significativa a 1%, existindo uma relação positiva entre IAF e comprimento da espiga. Na Figura 30B, a regressão linear mostra o aumento do número de grãos com o aumento do IAF ($p < 0,01$). Nas Figuras 30C, 30D e 30E, as regressões lineares foram significativas a 5%, indicando que existe, respectivamente, uma relação direta entre IAF e o número médio de grãos por fileira, peso de espiga e produtividade de grãos. O aumento ocasionado do IAF nos parâmetros da espiga influencia na produtividade da cultura. Com uma espiga maior, pode-se ter uma maior quantidade de grãos.

Figura 30 - Comprimento de espiga em função do índice de área foliar (A), número de grãos por espiga em função do índice de área foliar (B), número médio de grãos por fileira em função do índice de área foliar (C), massa de espiga em função do índice de área foliar (D, e produtividade de grãos em função do índice de área foliar (E). Valores médios referentes aos tratamentos NPK, EfPK, Ef e PK



4.7 Matéria seca total

A análise de variância exposta na tabela 28 para matéria seca da folha, colmo + pendão, palha, sabugo, grãos e massa total, indica que existiu diferença significativa

para todos as variáveis avaliadas, ao nível de 1% de significância, com exceção à folha que apresentaram uma significância de 5%.

Tabela 28 - Análise de variância para matéria seca das variáveis folha (g), colmo+pendão (g), palha (g), sabugo (g), grãos (g) e massa total (g)

F.V.	G.L.	Quadrados médios					
		Matéria seca					
		Folha (g)	Colmo + pendão (g)	Palha (g)	Sabugo (g)	Grãos (g)	Massa seca total (g)
Tratamento	3	253,99*	1352,06**	63,17**	150,39**	6302,36**	22918,73**
Bloco	2	6,03 ^{NS}	71,96 ^{NS}	2,98 ^{NS}	1,62 ^{NS}	88,77 ^{NS}	307,92 ^{NS}
Erro	6	45,76	79,30	2,03	1,58	87,07	404,67
C.V. (%)		19,39	13,01	8,16	6,74	7,91	7,81
Média geral		34,88	68,43	17,50	18,68	117,99	257,48

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Os valores de matéria seca da folha, colmo + pendão e palha foram maiores nos tratamentos NPK, EfPK e Ef, sem diferença entre eles (Tabela 29). Os valores de grãos e massa total foram maiores nos tratamentos NPK e EfPK. Mas não ocorreram diferenças entre EfPK, Ef e PK para a folha; entre Ef e PK para colmo + pendão; entre EfPK e Ef e entre Ef e PK para a matéria total e produtividade. Os valores referentes ao sabugo diferiram entre todos os tratamentos.

Tabela 29 - Valores médios e resultados da aplicação do teste de Tukey para variáveis matéria seca com as variáveis folha (g), colmo + pendão (g), palha (g), sabugo (g), grãos (g) e massa total (g)

Tratamentos	Matéria seca					
	Folha (g)	Colmo + pendão (g)	Palha (g)	Sabugo (g)	Grãos (g)	Massa seca total (g)
NPK	43,30 a	87,22 a	21,32 a	26,97 a	168,82 a	347,62 a
EfPK	40,29 ab	82,31 a	20,05 a	21,27 b	136,06 ab	299,99 ab
Ef	33,35 ab	63,76 ab	17,61 a	16,07 c	106,12 b	236,92 b
PK	22,58 b	40,42 b	11,01 b	10,42 d	60,97 c	145,40 c

Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resultados semelhantes de produtividade de matéria seca foram encontrados por Giacomini et al. (2004) com o uso do efluente tratado de suínos, que constataram que o efluente foi uma fonte de nutrientes ao milho, proporcionando o acúmulo de matéria seca e de obtenção de produtividade de grãos elevados.

A matéria seca é um importante indicador para a utilização da cultura do milho, sendo a silagem muita utilizada na alimentação de animais, principalmente bovinos. Altas produções de matéria seca indicam alta produtividade de silagem do milho. Em trabalho realizado por Cavalcante et al. (2013), utilizando adubos orgânicos e químicos para avaliação de produção de silagem, foi constatado que o uso de um adubo organomineral correspondente ao tratamento EfPK foi capaz de produzir uma quantidade de matéria seca estatisticamente igual a produzida pela adubação química.

Na Tabela 30 está representado a contribuição percentual de folha, colmo + pendão, palha, sabugo e grão na massa seca total. Para a matéria seca houve diferença significativa entre tratamentos para todas as variáveis, com exceção do colmo + pendão. O grão foi responsável por quase 50% da massa seca total, com os tratamentos NPK, EfPK e Ef com os maiores valores.

Tabela 30 - Contribuição percentual da folha, colmo + pendão, palha e sabugo na matéria total verde e seca das plantas de milho

Tratamentos	Matéria seca				
	Folha (%)	Colmo + pendão (%)	Palha (%)	Sabugo (%)	Grãos (%)
NPK	11,84 b	25,65 a	6,15 b	7,76 a	48,58 a
EfPK	12,41 ab	28,14 a	6,68 ab	7,09 ab	45,35 ab
Ef	13,97 ab	26,94 a	7,48 a	6,80 b	44,81 ab
PK	15,57 a	28,14 a	7,56 a	7,15 ab	41,83 b

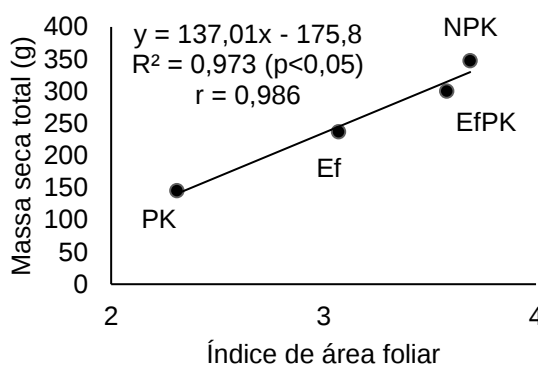
Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$),

A quantidade de matéria seca acumulada no milho depende diretamente da quantidade de carbono que é assimilada, sendo parte desse carbono utilizada nos processos respiratórios e outra parte utilizada para acumular matéria seca, o que faz com que haja influência no crescimento da planta e no acúmulo de reserva (CRUZ, 2013). Ainda segundo Cruz (2013), o fornecimento de energia, que se dá através da

captação de radiação solar pelas folhas, faz com que esse carbono seja transformado em moléculas de carboidrato, proteínas e outras moléculas que são responsáveis pela formação da biomassa. Segundo Neumann et al. (2010) em cultivos com aplicação correta de nitrogênio, as folhas do milho conseguem atingir um melhor estado de nutrição, sintetizando mais carboidratos no processo de fotossíntese por ter uma maior capacidade de assimilação de CO₂, gerando maiores valores de matéria seca na cultura. As plantas com alto IAF podem absorver uma maior quantidade de energia solar gerando um maior acúmulo de matéria seca (MANFRON et al., 2003; TAIZ; ZEIGER, 2009).

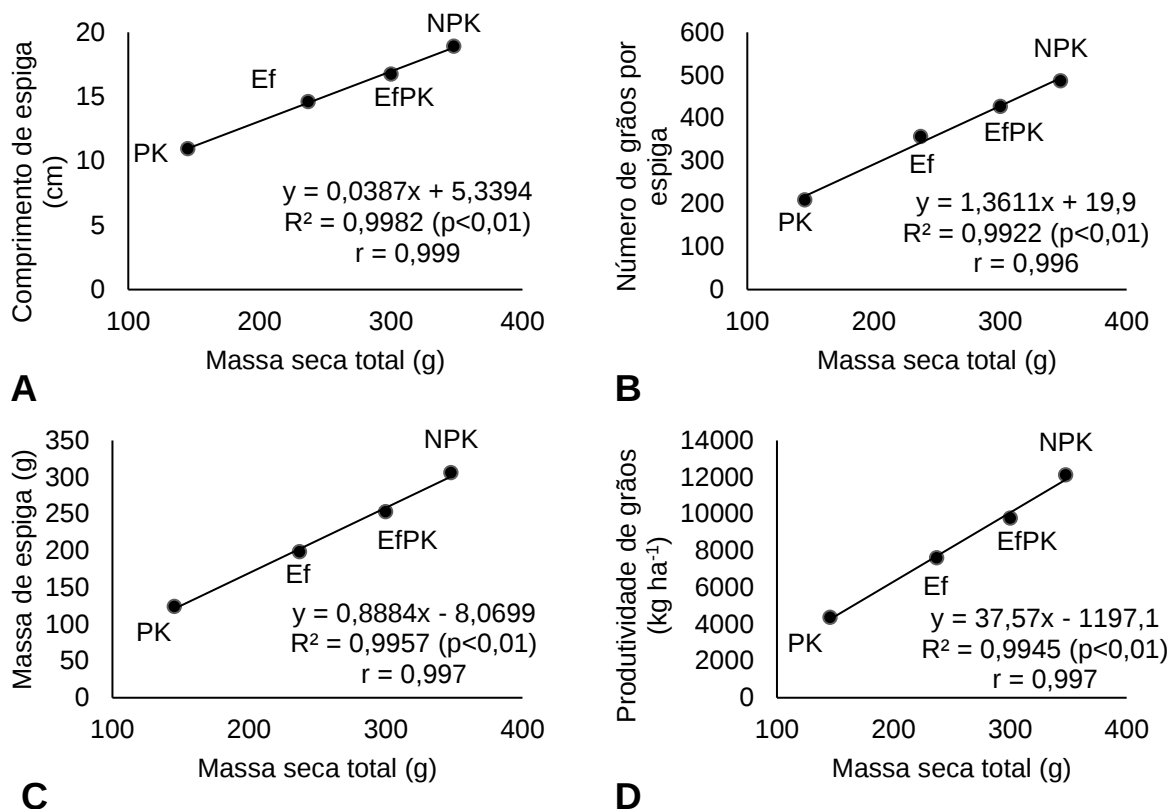
Na Figura 31 é possível verificar que a análise de regressão foi significativa a 5%, mostrando que existe correlação entre o IAF e a massa seca total da planta em cada tratamento. Melo et al. (2011), com aplicação de efluente tratado de laticínios no capim mombança, conseguiram um aumento do IAF e maior quantidade de matéria seca. Melo et al. (2014) também utilizando o efluente de laticínios, obtiveram resultado semelhante com o milho (maior IAF, maior quantidade de matéria seca).

Figura 31 - Massa seca total (g) em função do índice de área foliar (IAF).
Valores médios referentes aos tratamentos NPK, EfPK, Ef e PK



A relação entre matéria seca total da planta com o comprimento da espiga, número de grãos, número médio de grãos por fileira, peso de espiga e produtividade de grãos foi avaliada (Figura 32), sendo todas as regressões significativas a 1 e 5%, indicando que existe alta correlação entre as variáveis. Resultados semelhantes foram encontrados por Cruz (2013), que conseguiu obter maiores valores de matéria seca total com o aumento do índice de área foliar do milho.

Figura 32 - Comprimento de espiga em função da massa seca total (A), número de grãos por espiga em função da massa seca total (B), massa de espiga em função da massa seca total (C), e produtividade de grãos em função da produtividade de matéria seca total (D). Valores médios referentes aos tratamentos NPK, EfPK, Ef e PK



4.8 Acúmulo de nitrogênio no milho

Pela análise de variância dos teores de nitrogênio no colmo + pendão, folha, palha, sabugo e grão (Tabela 31), verifica-se que houve efeito significativo dos tratamentos pelo teste F (1%) apenas no grão. Não houve efeito significativo entre blocos.

Tabela 31 - Análise de variância para teores de nitrogênio no colmo + pendão, folha, palha, sabugo e grãos

F.V.	G.L.	Quadrado médio				
		Colmo + pendão (g.kg ⁻¹)	Folha (g.kg ⁻¹)	Palha (g.kg ⁻¹)	Sabugo (g.kg ⁻¹)	Grão (g.kg ⁻¹)
Tratamento	3	0,25 ^{NS}	4,02 ^{NS}	0,009 ^{NS}	0,18 ^{NS}	3,63 ^{**}
Bloco	2	0,10 ^{NS}	0,39 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,12 ^{NS}
Erro	6	0,09	1,49	0,15	0,11	0,14
C.V. (%)		4,68	10,75	9,08	5,63	2,53
Média geral		6,28	11,37	4,28	5,90	14,99

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Os maiores teores de nitrogênio encontrado no grão ocorreram nos tratamentos NPK e Ef (Tabela 32). O tratamento EfPK não se diferiu do Ef, enquanto que, o tratamento PK foi o menor valor observado. Segundo Raj et al. (1996) os teores de nitrogênio no grão devem está próximo de 17 g.kg⁻¹, no entanto, segundo Duarte et al. (2018) as cultivares de milho passaram a acumular menos nitrogênio no grão sendo esse valor proximo a 13,9 g.kg⁻¹. Duete et al. (2009) avaliaram o acúmulo de nitrogênio em milho utilizando diferentes fontes de N, e encontraram 14,84 g.kg⁻¹ no grão ao utilizarem a ureia. O mesmo autor também encontrou resultados inferiores com tratamento sem aplicação de N (semelhante ao tratamento PK desse trabalho), com teor de 12,03 g.kg⁻¹ de N no grão. No entanto, Gava et al. (2010) encontraram maiores teores de nitrogênio no grão ao aplicarem doses de 100 e 150 kg ha⁻¹ de N, com valores de 19,23 e 18,44 g.kg⁻¹ de N no grão, respectivamente.

Tabela 32 - Valores médios de teor de nitrogênio e resultados da aplicação do teste de Tukey para as variáveis colmo+pendão, folha, palha, sabugo e grão

Tratamento	Colmo + pendão (g.kg ⁻¹)	Folha (g.kg ⁻¹)	Palha (g.kg ⁻¹)	Sabugo (g.kg ⁻¹)	Grão (g.kg ⁻¹)
NPK	6,65 a	13,04 a	4,31 a	5,65 a	16,44 a
EfPK	6,37 a	11,15 a	4,29 a	5,76 a	14,28 b
Ef	6,05 a	10,41 a	4,32 a	5,97 a	15,25 ab
PK	6,04 a	10,87 a	4,20 a	6,21 a	14,01 b

Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na análise de variância para o nitrogênio extraído do solo e acumulado na planta (NA) no colmo + pendão, folha, palha, sabugo e grão (Tabela 33), verifica-se que houve diferença significativa pelo teste F (1%) para todas as variáveis analisadas. Não houve efeito significativo entre blocos.

Tabela 33 - Análise de variância para acúmulo de nitrogênio no colmo + pendão, folha, palha, sabugo e grãos

F.V.	G.L.	Quadrado médio				
		Colmo + pendão (kg ha ⁻¹)	Folha (kg ha ⁻¹)	Palha (kg ha ⁻¹)	Sabugo (kg ha ⁻¹)	Grão (kg ha ⁻¹)
Tratamento	3	313,94**	197,48**	4,32**	16,94**	9815,67**
Bloco	2	5,79 ^{NS}	3,09 ^{NS}	0,29 ^{NS}	0,49 ^{NS}	63,95 ^{NS}
Erro	6	6,49	4,76	0,19	0,16	160,26
C.V. (%)		9,20	8,70	9,35	5,90	9,80
Média geral		27,69	25,10	4,61	6,82	129,18

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Os maiores valores de NA para colmo + pendão e folha, foram encontrados nos tratamentos NPK e EfPK (Tabela 34). O tratamento Ef não se diferiu do EfPK e o tratamento PK não se diferiu do Ef. Gava et al. (2010) com aplicações de 150 kg ha⁻¹ de N, encontraram menor acúmulo de nitrogênio no colmo + pendão e folhas (16,2 e 26,9 kg ha⁻¹), ao contrário do encontrado neste trabalho. Para a palha, os maiores

valores encontrados foram nos tratamentos NPK, EfPK e Ef. O maior valor para o sabugo foi no tratamento NPK, com EfPK e Ef iguais, e PK com o menor valor.

Tabela 34 - Valores médios de nitrogênio acumulado e resultados da aplicação do teste de Tukey para as variáveis colmo + pendão, folha, palha, sabugo e grão

Tratamento	Colmo + pendão (kg ha ⁻¹)	Folha (kg ha ⁻¹)	Palha (kg ha ⁻¹)	Sabugo (kg ha ⁻¹)	Grão (kg ha ⁻¹)
NPK	38,72 a	34,50 a	5,44 a	9,52 a	199,49 a
EfPK	32,72 ab	27,75 ab	5,38 a	7,65 b	139,49 b
Ef	24,03 bc	22,91 bc	4,76 a	6,21 b	116,40 b
PK	15,30 c	15,23 c	2,87 b	3,89 c	61,33 c

Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A disponibilidade de nitrogênio no solo está diretamente ligada ao seu acúmulo na planta. Em cultivos com aplicações de nitrogênio, a cultura do milho aumenta a atividade fotossintética, pois este nutriente está presente na estrutura das proteínas que atuam nesse processo (ANDRADE et al., 2003). Segundo Bender et al. (2013) o aumento da fotossíntese gera acúmulo de biomassa, que acarreta no desenvolvimento do sistema radicular e melhor absorção de nutrientes. Devido a isso as plantas tendem a ter um maior acúmulo de nitrogênio. Isso pode ser comprovado nesse trabalho, pois os tratamentos NPK e EfPK apresentaram maiores valores de massa seca total (Tabela 29) e alcançaram os maiores acúmulos de nitrogênio na folha e no colmo, que com exceção dos grãos são as partes com maiores percentuais da matéria seca (Tabela 30).

Ainda de acordo com a Tabela 34, o maior valor de nitrogênio acumulado no grão foi encontrado no tratamento NPK. Os tratamentos EfPK e Ef não se diferiram e o menor valor foi encontrado no tratamento PK. França et al. (2011) analisaram o crescimento e absorção de nitrogênio dos grãos de milho, aplicando doses de 123 e 145 kg ha⁻¹ de N e encontraram acúmulo de N no grão de 60,45 e 79,39 kg ha⁻¹, respectivamente. Tais valores estão abaixo dos encontrados nos tratamentos NPK, EfPK e Ef, e próximo do tratamento PK. Duete et al. (2009) encontraram um acúmulo de nitrogênio no grão de 66,50 kg ha⁻¹ sem aplicação de nitrogênio, semelhante ao tratamento PK deste trabalho.

Para os tratamentos NPK, EfPK, Ef e PK para cada tonelada de grão de milho produzida foram absorvidos 16,45; 14,27; 15,27 e 14,00 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Silva (2016), analisando alto e médio investimentos de nitrogênio na cultura do milho, encontrou uma maior absorção de N de 22,9 e 29,9 kg para produtividades de 10744 e 11304 kg ha⁻¹, respectivamente. Tais produtividades foram semelhantes as encontradas nos tratamentos NPK e EfPK deste trabalho. França et al. (2011) também encontraram uma maior absorção de nitrogênio (20 e 25,64 kg ha⁻¹) para cada tonelada de grão produzido.

O maior valor de nitrogênio total acumulado no milho foi no tratamento NPK (Tabela 35), enquanto que os tratamentos EfPK e Ef apresentaram-se iguais. O tratamento PK obteve o menor valor. Nos tratamentos que receberam adubação nitrogenada, foram aplicados 135 kg ha⁻¹ de N. No entanto, percebe-se uma maior extração de nitrogênio pelos tratamentos do que foi aplicado no cultivo.

Tabela 35 - Valores médios e resultados da aplicação do teste de Tukey para a variável nitrogênio total acumulado no milho (kg ha⁻¹)

Tratamento	Nitrogênio total acumulado no milho (kg ha ⁻¹)
NPK	287,67 a
EfPK	213,00 b
Ef	174,31 b
PK	98,63 c

Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Ainda de acordo com a Tabela 35, o tratamento NPK conseguiu extrair do solo duas vezes mais nitrogênio do que utilizado na adubação da cultura. Segundo Gava et al. (2010) isso indica que o nutriente que foi oriundo do adubo químico ou do efluente representou uma pequena parcela do nitrogênio total que foi acumulado pelo milho. O nitrogênio que foi absorvido a mais do que foi aplicado é advindo da matéria orgânica do solo. A área do experimento foi previamente cultivada com capim Brachiaria, e essa forragem foi adicionada ao solo, acarretando em adição de matéria orgânica ao solo. Segundo Assmann et al. (2008) o uso de culturas produtoras de altas quantidades de biomassa antes de cultivos gera altas quantidades de matéria orgânica no solo, que sofrerá mineralização e disponibilizará o nutriente no solo. Isso

pode ser comprovado nesse trabalho pelo tratamento PK, onde o N advindo da matéria orgânica fez com que a cultura extraísse aproximadamente 99 kg ha⁻¹ de N.

A quantidade de N extraída do solo em percentual está representada na Tabela 36, e apenas a palha e o grão se diferenciaram. Os maiores valores para as duas variáveis foram encontrados nos tratamentos NPK, EfPK e Ef, mas o tratamento PK não diferiu do EfPK e Ef. O grão se destaca por representar mais de 60% do acúmulo do nitrogênio que foi absorvido. Isso comprova que esse órgão atua como principal acumulador de nutrientes do milho, como mencionado por Borges (2006). Segundo Basi et al. (2011) ocorre a translocação de nitrogênio das partes vegetativas que passam a atuar como fonte até as espigas que atuam como dreno, acumulando N em forma de proteínas. Silva et al. (2006), analisaram o manejo de nitrogênio do milho com diferentes plantas de cobertura, e concluíram que 65% do N absorvido foi acumulado no grão, resultado semelhante ao encontrado neste trabalho. França et al. (2011) em cultivo do híbrido BR 106 alcançou acúmulo de N de 66%; no entanto, o híbrido BR 201 conseguiu 72% de acúmulo de N, superior a todos os tratamentos deste trabalho. Gava et al. (2010) observou 70% de acúmulo de nitrogênio nos grãos, resultado próximo aos tratamentos NPK, EfPK e Ef. Silva (2016) relatou valores percentuais para seus tratamentos de 52 e 54%, resultados abaixo aos encontrados nesse trabalho.

Tabela 36 - Valores médios de nitrogênio acumulado e resultados da aplicação do teste de Tukey para as variáveis colmo + pendão, folha, palha, sabugo e grão

Tratamento	Colmo + pendão (%)	Folha (%)	Palha (%)	Sabugo (%)	Grão (%)
NPK	13,46 a	12,03 a	2,92 a	3,31 a	69,31 a
EfPK	15,36 a	13,03 a	2,75 ab	3,59 a	66,69 ab
Ef	13,81 a	13,16 a	2,53 ab	3,59 a	65,49 ab
PK	15,53 a	15,60 a	1,89 b	3,93 a	62,01 b

Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.9 Índice de clorofila

Na Tabela 37, observa-se a análise de variância para as variáveis índice relativo de clorofila a (IRCA), índice relativo de clorofila b (IRCB), índice relativo de clorofila total (IRCT) e a razão de índice relativo de clorofila A e B (IRCA/IRCB) em três datas de avaliação. Houve diferença significativa a 1% entre os tratamentos nas três avaliações, com diferença significativa entre blocos a 1% apenas no IRCA/IRCB da primeira avaliação.

Tabela 37 - Análise de variância para o índice relativo de clorofila a (IRCA), índice relativo de clorofila b (IRCB), índice relativo de clorofila total (IRCT) e a razão de índice relativo de clorofila a e b (IRCA/IRCB) em três datas de avaliação

F.V.	G.L.	Quadrados médios			
		IRCA	IRCB	IRCT	IRCA/IRCB
30 de novembro de 2018 (estádio V11 – 59 dias após plantio)					
Tratamento	3	107,07**	49,58**	263,56**	2,75**
Bloco	2	0,25 ^{NS}	3,15 ^{NS}	10,08 ^{NS}	0,12**
Erro	6	0,15	0,43	1,23	0,007
C.V. (%)		1,16	6,11	2,47	2,36
Média geral		33,96	10,78	44,91	3,52
18 de dezembro de 2018 (estádio R2 – 77 dias após plantio)					
Tratamento	3	98,35**	78,51**	344,55**	3,85**
Bloco	2	0,57 ^{NS}	0,45 ^{NS}	1,95 ^{NS}	0,02 ^{NS}
Erro	6	0,82	0,23	1,68	0,02
C.V. (%)		2,64	4,22	2,83	4,01
Média geral		34,39	11,43	45,83	3,45
10 de janeiro de 2019 (estádio R3 – 99 dias após plantio)					
Tratamento	3	87,30**	70,18**	307,52**	3,13**
Bloco	2	0,56 ^{NS}	0,47 ^{NS}	1,71 ^{NS}	0,02 ^{NS}
Erro	6	0,44	0,43	1,62	0,03
C.V. (%)		2,06	6,34	3,00	4,99
Média geral		32,09	10,34	42,43	3,60

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Os maiores valores de índice relativo de clorofila A, B e total nas três avaliações foram do tratamento NPK (Tabela 38), com exceção no dia 18 de dezembro de 2018, estágio V11, quando o IRCA do tratamento EfPK foi igual ao do tratamento NPK. O maior valor de IRCA/IRCB ocorreu no tratamento PK, em todas as avaliações, pois esse apresentou os menores valores de IRCA. Apesar de utilizar a mesma dose de nitrogênio, os tratamentos EfPK e Ef não apresentaram os mesmos valores do NPK. O teor relativo de clorofila no milho é um importante indicativo da quantidade de nitrogênio na folha (RAMBO et al., 2004), e isso é comprovado pelo tratamento PK, que apresentou em todos os estádios fenológicos avaliados os menores índices relativos de clorofila.

Tabela 38 - Valores médios e resultados da aplicação do teste de Tukey para variáveis índice relativo de clorofila a (IRCA), índice relativo de clorofila b (IRCB), índice relativo de clorofila total (IRCT) e a razão de índice relativo de clorofila a e b (IRCA/IRCB) em três datas de avaliação

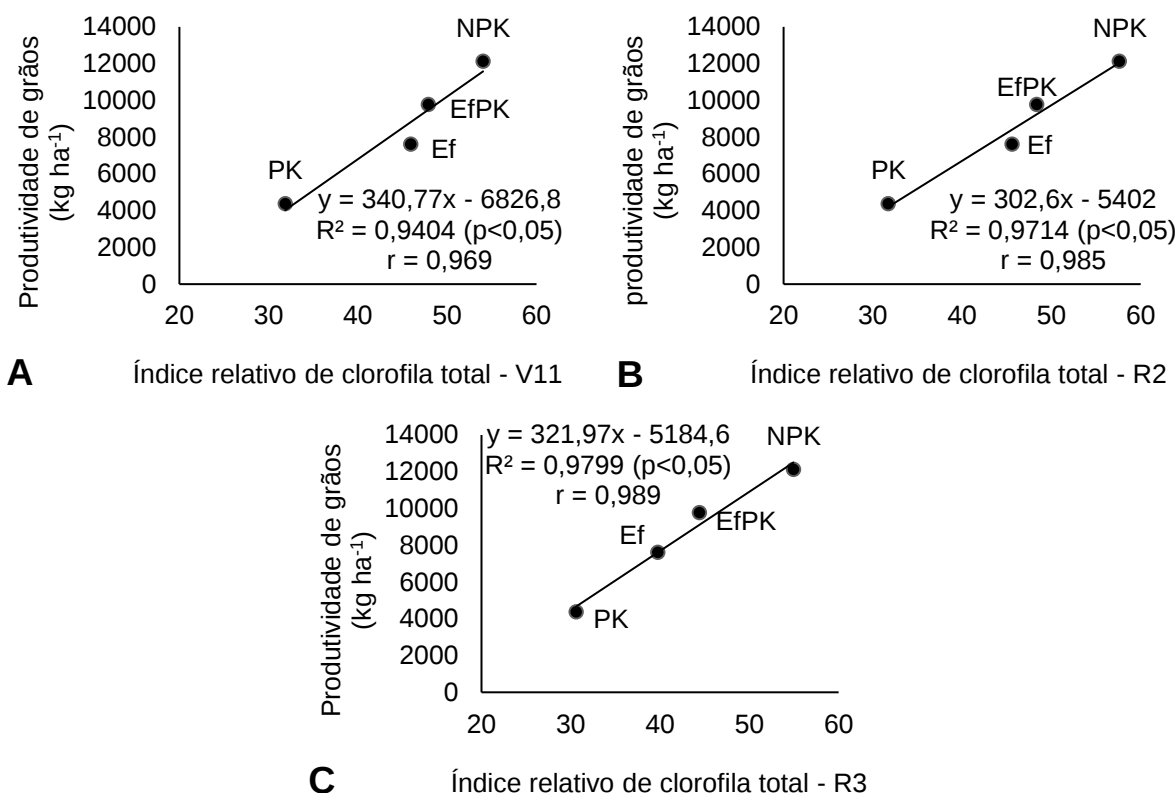
Tratamentos	IRCA	IRCB	IRCT	IRCA/IRCB
30 de novembro de 2018 (estádio V11 – 59 dias após plantio)				
NPK	38,94 a	15,41 a	54,01 a	2,57 c
EfPK	36,31 b	11,57 b	47,87 b	3,25 b
Ef	35,30 b	10,61 b	45,91 b	3,41 b
PK	25,30 c	5,54 c	31,84 c	4,85 a
18 de dezembro de 2018 (estádio R2 - 77 dias após plantio)				
NPK	39,81 a	17,82 a	57,63 a	2,27 c
EfPK	36,38 ab	11,97 b	48,35 b	3,13 b
Ef	35,03 b	10,57 b	45,59 b	3,42 b
PK	26,35 c	5,38 c	31,73 c	4,98 a
10 de janeiro de 2019 (estádio R3 - 99 dias após plantio)				
NPK	38,09 a	16,85 a	54,94 a	2,35 c
EfPK	33,81 b	10,62 b	44,43 b	3,40 b
Ef	31,29 b	8,46 b	39,74 b	3,85 b
PK	25,19 c	5,42 c	30,61 c	4,81 a

Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O índice relativo de clorofila pode ser um importante indicativo para a avaliação do estado nutricional do milho, pois o nitrogênio tem uma alta correlação com a quantidade de clorofila na folha (MARANHÃO et al. 2009, COSTA et al. 2012). Segundo Jordão et al. (2010) isso acontece pelos cloroplastos da clorofila serem compostos pela maior parte do nitrogênio presente nas folhas. Neste trabalho, os tratamentos com adubação de nitrogênio apresentaram maiores teores clorofila A, B e total, em relação ao tratamento PK. Isso contribui para o processo fotossintético, translocação de fotoassimilados na planta e produtividade de biomassa. Muller (2013) encontrou aumentos lineares de clorofila A, B e total com o aumento de doses de N até a aplicação de 225 kg ha^{-1} , não percebendo mais aumento da clorofila. Resultado semelhante foi encontrado por Teixeira Filho (2010), que encontrou aumentos do índice de clorofila até a dose de 150 kg ha^{-1} de N.

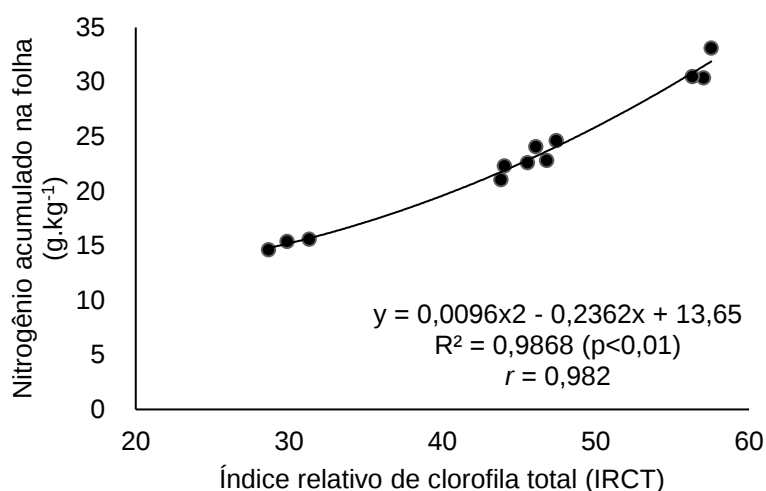
Na Figura 33 é possível observar que nos três estádios de avaliação o índice de clorofila total obteve correlação positiva e significativa a 5% em função da produtividade de grãos, e com altos valores de coeficiente de Pearson. Resultados semelhantes foram encontrados por Rambo et al. (2011), que avaliaram a relação entre índices nutricionais de N e produtividades sob diferentes doses de nitrogênio, e observaram que o aumento do índice de clorofila gerava incrementos de produtividade no milho.

Figura 33 - Produtividade de grãos em função do índice relativo de clorofila total nos estádios fenológicos V11 (A), R2 (B) e R3 (C). Valores médios referentes aos tratamentos NPK, EfPK, Ef e PK



4.10 Uso do clorofilômetro para detecção do teor de nitrogênio na folha de milho

A determinação do teor de clorofila na folha, em condição de campo e utilizando-se equipamentos portáteis, pode ser correlacionada com o teor foliar de nitrogênio, pois há uma alta relação entre ambos (KUNESKI, 2017). Isso pode ser comprovado pela Figura 34, onde o índice relativo de clorofila total (IRCT), fornecido pelo equipamento ClorofiLOG tem relação positiva e significativa a 1% com os teores de nitrogênio foliar. Resultados semelhantes foram encontrados por Vargas et al. (2012), que conseguiram altas correlações entre o IRCT e o teor de nitrogênio nas folhas em diferentes estádios do milho. Souza et al. (2015) também encontrou altas correlações entre o IRCT e o nitrogênio foliar principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento do milho.

Figura 34 -Teor de nitrogênio na folha em função do índice relativo de clorofila

Para a cultura do milho o clorofilômetro é uma alternativa para a leitura do índice relativo de clorofila e determinação dos teores de nitrogênio na folha. No entanto, em outras culturas o equipamento não apresenta relação positiva entre o IRCT e o teor de nitrogênio foliar. Silva (2016), avaliando o nitrogênio foliar em clones de cacau não encontrou correlação entre as duas variáveis, e nas análises que tiveram relação positiva o coeficiente de Pearson foi baixo. Quadros et al. (2010) verificaram que não houve correlação significativa entre as variáveis para a cultura do rabanete. Um dos motivos para isso acontecer é que o nitrogênio que foi absorvido está sendo translocado para a produção de diferentes partes da planta e não acumulado na folha, como ocorre na cultura do milho (ARGENTA et al., 2001; QUADROS et al., 2010).

A utilização do clorofilômetro em campo pode ser de grande importância para monitorar os teores de N através dos IRCT, por não demandar uma grande quantidade de tempo e não ser uma medida destrutiva da planta para análise das suas variáveis (ARGENTA et al., 2001). Segundo o mesmo a autor a limitação da utilização do equipamento se dá por não quantificar a dose a ser aplicada em uma possível deficiência nutricional de N, pois depende de vários fatores, como estágio de desenvolvimento, condições climáticas, cultivar utilizada e produtividade desejada da cultura.

4.11 Teor foliar de nitrogênio no milho

A Tabela 39 apresenta os teores de nitrogênio foliar determinados pela equação de calibração do clorofilômetro a partir do índice relativo de clorofila total nos estádios V11, R2 e R3. Houve diferença significativa a 1% entre tratamentos para teor de nitrogênio foliar em todos os estádios. Não houve diferença significativa entre blocos.

Tabela 39 - Análise de variância para teor de nitrogênio foliar em três datas de avaliação determinado pela equação de calibração do clorofilômetro

F.V.	G.L.	Quadrado médio		
		Teor de nitrogênio	Teor de nitrogênio	Teor de nitrogênio
		foliar - 31/11/2018 (V11)	foliar - 31/11/2018 (R2)	foliar - 31/11/2018 (R3)
Tratamento	3	83,85**	130,89**	107,99**
Bloco	2	2,98 ^{NS}	0,50 ^{NS}	0,50 ^{NS}
Erro	6	0,36	0,40	0,58
C.V. (%)		2,63	2,67	3,53
Média geral		22,97	23,82	21,66

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Os maiores valores de teor de nitrogênio foliar para os três estádios foram no tratamento NPK (Tabela 40). Os tratamentos EfPK e Ef não se diferiram, e o menor valor foi no tratamento PK. Das avaliações realizadas o maior acúmulo de nitrogênio na folha foi observado no estádio R2 para os tratamentos NPK e EfPK, indicando que o milho continuou acumulando nitrogênio após o início da fase reprodutiva. Nos tratamentos Ef e PK o máximo acúmulo de N ocorreu no estádio V11, a partir do estádio R2 iniciou uma queda do teor de nitrogênio foliar devido a translocação possivelmente para o grão. Nos tratamentos NPK e EfPK essa queda só foi observada a partir do estádio R3.

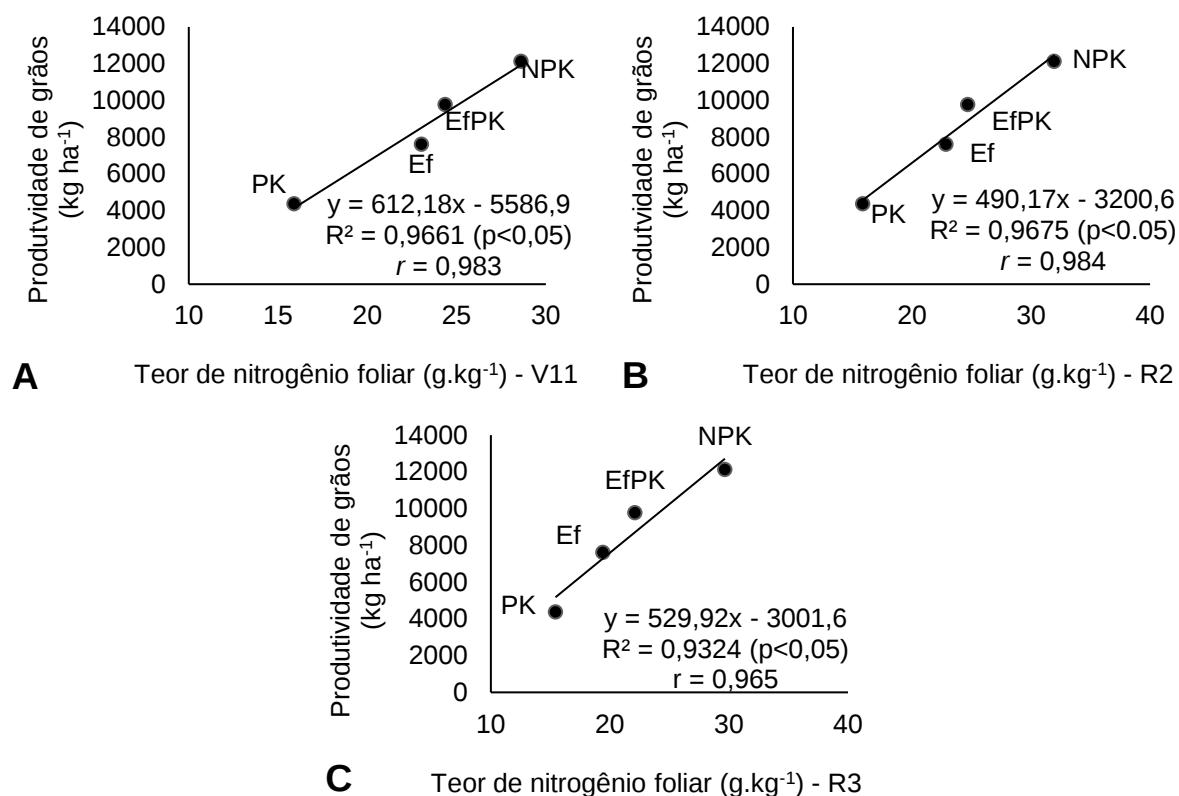
Tabela 40 - Resultados da aplicação do teste de Tukey para valores médios das variáveis teor de nitrogênio foliar em três datas de avaliação determinada pela equação de calibração do clorofilômetro

Tratamentos	Teor de nitrogênio foliar		
	31/11/2018 (V11)	18/12/2018 (R2)	31/10/2018 (R3)
NPK	28,61 a	31,93 a	29,66 a
EfPK	24,35 b	24,67 b	22,12 b
Ef	23,04 b	22,84 b	19,43 b
PK	15,89 c	15,85 c	15,43 c

Valores nas colunas seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Assim como o índice relativo de clorofila total, na Figura 35 é possível observar que existe uma correlação positiva e significativa a 5% entre o teor de nitrogênio foliar e a produtividade de grãos, nos três estádios avaliados.

Figura 35 - Produtividade de grãos em função do teor de nitrogênio foliar nos estádios fenológicos V11 (A), R2 (B) e R3 (C). Valores médios referentes aos tratamentos NPK, EfPK, Ef e PK



4.12 Efeito na fertilidade do solo

As amostras analisadas ao final do experimento indicam que ocorreu uma ligeira acidificação do solo em todos os tratamentos (Tabela 41). Tal fato pode ter acontecido pelo processo de nitrificação do N no solo e advindo tanto da ureia como do efluente tratado. Segundo Lange et al. (2006) a utilização da ureia inicialmente causa uma alcalinidade em torno dos grânulos de adubo aplicados no solo, devido ao processo de hidrólise pela enzima uréase que atua rapidamente após a incorporação do nutriente; em seguida ocorre a nitrificação do amônio acarretando em acidificação pela liberação de H^+ na solução do solo. Isso pode ser observado no tratamento NPK, onde houve a queda de três casas decimais no valor de pH. A adição de nitrogênio do efluente ao solo em maior parte como N amoniacal, passará pela nitrificação gerando os mesmos prótons que causaram a acidez como no uso da ureia (CANTARELLA, 2007). Segundo Santos e Pereira (2004), a acidez de um solo utilizando efluente tratado pode ser causado pela nitrificação do nitrogênio incrementado ao solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Varallo et al. (2012), que avaliaram os efeitos do efluente tratado no comportamento químico do solo e observaram que o reúso causava diminuição do pH do solo.

Tabela 45 - Análise química para fins de fertilidade do solo realizada antes do plantio e após a colheita do milho

	pH	M.O.	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	CTC	V (%)	K	Ca	Mg	P
	CaCl ₂	g.dm ⁻³				mmolc.dm ⁻³					mg.dm ⁻³
Tratamento NPK											
Antes do cultivo	4,9	26,33	1,33	31,33	31,00	62,67	50,00	2,77	19,33	9,00	7,67
Depois do cultivo	4,6	22,90	1,10	32,90	26,30	58,20	43,60	2,40	17,60	6,30	16,40
Tratamento EfPK											
Antes do cultivo	5,1	24,00	1,00	26,33	35,00	61,33	57,00	3,30	21,67	10,00	16,00
Depois do cultivo	4,8	24,30	0,30	30,30	40,00	65,10	54,30	2,90	26,50	10,70	41,8,0
Tratamento Ef											
Antes do cultivo	5,2	25,67	0	23,33	34,67	58,00	59,67	1,63	22,33	10,67	7,33
Depois do cultivo	4,8	25,40	0,30	28,70	24,80	53,50	46,40	1,40	15,70	7,80	60
Tratamento PK											
Antes do cultivo	5,2	24,33	0,67	26,00	38,33	64,33	59,57	3,17	23,67	11,33	10,33
Depois do cultivo	4,9	20,10	0	24,3	27,40	51,80	53,10	2,70	18,00	6,80	29,60

pH: índice de acidez da solução do solo, M. O.: matéria orgânica do solo, Al³⁺: Alumínio trocável, H⁺+Al³⁺: Acidez potencial, K: potássio, P: fósforo, Ca: cálcio, Mg: magnésio, SB: soma de bases, CTC: capacidade de troca de cátions, V(%): saturação de bases.

Ainda pela Tabela 41, percebe-se uma maior queda do pH no tratamento Ef em relação ao tratamento EfPK, ambos com a mesma fonte de N. Isso pode ser explicado pelo fato de no tratamento EfPK ter sido adicionado uma maior quantidade de cátion K^+ ao solo, o que acarretou em uma maior disponibilidade do mesmo para absorção da cultura, em comparação ao tratamento Ef. Em solos cultivados, o processo de acidificação do solo pode ser agravado pelo processo de absorção de cátions pelas culturas, resultando em maiores quantidades de H^+ no complexo sortivo (SOUSA et al. 2007). Essa explicação também é válida para ao pH menor encontrado no tratamento PK, mesma sem a presença de N. O fato de o solo do cultivo do milho ter sido no bioma Cerrado também favorece o processo de acidificação, por esses solos serem naturalmente ácidos. Segundo Sousa et al. (2007) o material de origem do solo, intensidade da ação de agentes de intemperismo e locais com alta pluviosidade tendem a menores valores de pH pela remoção de cátions básicos do complexo de troca.

Com base na Tabela 41, a diminuição dos valores de pH acarretou no aumento da acidez potencial do solo ($H^+ + Al^{+3}$), com exceção do tratamento PK, e na diminuição do valor de Al^{+3} , com exceção do tratamento Ef, devido a neutralização de alumínio trocável. Com a diminuição do Al^{+3} , o aumento da acidez potencial é responsabilidade dos prótons gerados no solo pela nitrificação do N e por outros processos (material de origem do solo, ação de agentes de intemperismo, alta pluviosidade e remoção de cátions básicos do complexo de sortivo). Apesar de ter ocorrido o aumento da acidez potencial nos tratamentos NPK, EfPK e Ef, o uso do efluente gerou um menor nível em relação ao tratamento NPK. Tal fato pode ser explicado pela nitrificação da ureia gerar uma maior carga de prótons no solo em relação ao nitrogênio do efluente. Resultado semelhante foi encontrado por Fonseca (2001), que analisou os efeitos do efluente na condição química em solo cultivado com milho, e encontrou valores menores de acidez potencial com o uso do efluente em relação a adubação química. Processo inverso foi verificado no tratamento PK, que mesmo com acidificação do solo pela extração de cátions básicos, apresentou diminuição da acidez potencial, pelo fato da não utilização de N nesse tratamento e não produção de quantidades significantes de prótons para aumentar a acidez potencial do solo.

A soma de base (SB) e capacidade de troca de cátions (CTC) aumentaram apenas no tratamento EfPK, enquanto que a saturação de bases (V) diminuiu em

todos os tratamentos. Entretanto, a diminuição de V de 4,7% no tratamento EfPK foi a menor entre todos os tratamentos (Tabela 41). O aumento da SB e da CTC de um solo ocorre devido à adição de cátions básicos, e se o complexo sortivo do solo contém cátions essenciais, melhor será a fertilidade do solo e maior valor da CTC, SB e V. O efluente apresenta valores elevados de bases, mas o seu uso isolado não foi capaz de aumentar a SB e CTC do solo, como pode ser visto no tratamento Ef. No entanto, quando suplementado com fósforo e potássio (tratamento EfPK), houve uma importante melhoria dos atributos CTC e SB.

Segundo classificação de Ronquim (2010), apenas os tratamentos EfPK e PK são classificados como solos eutróficos por apresentarem valores de V acima de 50%. Altos valores de saturação de bases também são importantes na quantidade de corretivo de solo a ser utilizado na calagem. Os tratamentos NPK e EF necessitariam de quantidades maiores de calcário para que seja alcançado o nível de 70% na saturação de bases, que é recomendado o milho, caso seja realizada uma calagem na área.

Observando na tabela 41 os resultados referentes a potássio, cálcio, magnésio e fósforo, pode-se afirmar que o tratamento EfPK apresentou os maiores valores de acúmulo desses nutrientes no solo após o cultivo, mesmo tendo o efluente baixos teores de P e K. Somente quando ocorreu a aplicação do adubo químico junto com o efluente, os níveis dos nutrientes no solo aumentaram. Segundo o Boletim 100 (RAIJ et al., 1997) os valores de fósforo encontrados no solo no tratamento EfPK estão na faixa de 41 a 80 mg.dm⁻³, sendo considerado altos e podem favorecer a obtenção de altas produções de milho sem necessidade de aplicação de altas quantidades de fósforo, enquanto que nos tratamentos NPK e PK, com valores medianos de fósforo, na faixa de 16 a 40 mg.dm⁻³, há a necessidade de aplicação de uma maior dose. O tratamento Ef apresentou um valor classificado como muito baixo de fósforo, entre 0 e 6 mg.dm⁻³, pelo fato deste macronutriente ter como fonte apenas o efluente tratado. Em relação ao potássio, todos os tratamentos apresentaram valores entre 1,6 e 3,0 mmolc.dm⁻³, com exceção do Ef. De modo semelhante, baixo teor de K no efluente tratado causou um menor acúmulo deste macronutriente no solo.

Quanto ao cálcio e magnésio (Tabela 41), apenas o tratamento EfPK apresentou maiores valores após o ciclo de produção. Apesar dos teores de Ca e Mg no solo terem diminuídos no tratamento Ef, os resultados foram mais altos que os encontrados nos tratamentos NPK e PK, pois o efluente apresenta altos teores de Ca

e Mg. O alto valor de Ca que o tratamento EfPK apresentou pode ser explicado também pela aplicação do superfosfato simples como fonte de fósforo, que possui gesso, uma fonte de cálcio para solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (2000), que observaram que o uso do efluente tratado no cultivo de pepino aumentava os níveis de cálcio e magnésio no solo. Urbano (2013) cultivou alface com efluente e também relatou altos teores de Ca e Mg no solo após o cultivo. Fonseca (2001) apresentou altos valores de Ca no solo quando utilizou a fertirrigação com efluente tratado na cultura do milho.

5 CONCLUSÕES

A irrigação por sulcos de pequeno comprimento mostrou-se adequada para a aplicação do efluente tratado de fossa séptica biodigestora na cultura do milho.

O uso do efluente, suplementado com fósforo e potássio (tratamento EfPK), obteve valores de matéria verde e seca, índice de área foliar, componentes de espiga e produtividade de grãos iguais aos resultados encontrados com o uso do NPK. No entanto, o tratamento EfPK não conseguiu produzir a quantidade de clorofilas A, B e total na folha, iguais as produzidas pelo tratamento NPK.

Somente a utilização do efluente (tratamento Ef) não foi capaz de suprir nutricionalmente a cultura, sendo incapaz de atingir valores de componente de espiga, produtividade de grão, matéria verde e seca, e índice de área foliar iguais ao do tratamento NPK. No entanto, foi capaz de atingir valores superiores ao tratamento PK, sem nenhuma aplicação de nitrogênio.

O tratamento EfPK apesar de não reduzir o pH e a acidez potencial do solo, foi o único capaz de aumentar a matéria orgânica do solo e melhorar seus atributos químicos, como a soma de base e capacidade de troca de cátions.

O efluente de esgoto tratado pela Fossa Séptica Biodigestora pode ser utilizado com fonte de nitrogênio para a cultura de milho em pequena escala, em substituição à adubação mineral nitrogenada, mas não é suficiente para atender às demandas totais de fósforo e potássio necessárias para produção do grão. A carência destes elementos nutritivos no efluente de esgoto tratado não se mostrou limitante para a produção de massa verde na produção de forrageira. Os resultados mostram que o reuso do biofertilizante se torna um atrativo para pequenos agricultores e/ou pecuaristas familiares que possuem dificuldade de acesso a fertilizantes minerais comerciais para produção de grãos ou forrageiras.

REFERÊNCIAS

ADEBO, F.A.; OLAOYE, G. Growth indices and grain yield attributes in six maize cultivars representing two era of maize breeding in Nigeria. **Journal of Agricultural Science**, v.2, n.3, p. 218-228, set, 2010.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; FILHO, A. X. S.; FIORINI, I. V. A. Desempenho de híbridos experimentais e comerciais de milho para produção de milho verde. **Ciência e Agrotecnológica**, v. 32, n. 03, p. 768-775, maio/jun, 2008.

ALMEIDA, R. G. Aspectos legais para a água de reúso. **VÉRTICES**, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 13, n. 2, p. 31-43, maio/ago, 2011.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RA ES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guide lines for computing crop water require ments**. Rome: FAO, p. 300, 1998.

ANDRADE, C. L.T.; ALBUQUERQUE, P. E. P. Manejo de irrigação. In: GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. **Milho do plantio a colheita**. Editora UFV. Viçosa, 2015. cap. 8, p. 178-206.

ANDRADE, A.C.; FONSECA, D.M.; QUEIROZ, D.S.; SALGADO, L.T.; CECON, P.R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). **Ciência e Agrotecnologia**, edição especial. p.1643-1651, dez, 2003.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21° ed. Washington: APHA/AWWA/WPCF. 2005.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.13, n.2, p.158-167. 2001.

ARRUDA, M. R.; MOREIRA, A.; PEREIRA, J. C. R. **Amostragem e Cuidados na Coleta de Solo para Fins de Fertilidade**. 1º ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2014.

ASSMANN, T.S; ASSMANN, A.L.; ASSMANN, J.M. Ciclagem de nutrientes e adubação. In: ASSMANN, A.L.; SOARES A.B.; ASSMANN, T.S. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária para a agricultura familiar**. Londrina: IAPAR, 2008. p.16-24.

AZEVEDO, M. R. Q.; KOING, A.; BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, C. A. V.; TAVARES, T. L.; SOARES, F. A. L. Efeito da irrigação com água residuária tratada sobre a produção de milho forrageiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife. v.2, n.1, p.63-68, jan/mar., 2007

BARBIERI JUNIOR, E.; ROSSIELO, R. O. P.; SILVA, R. V. M. M.; RIBEIRO, R. C.; MORENZ, M. J. F. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em

folhas de capim Tifton 85. **Ciência Rural**, Santa Maria. v. 42, n. 12, p. 2242-2245, dez, 2012.

BARROS, K.; NASCIMENTO, C.; FLORENCIO, L. Suppressiveness induction of nematodes in corn plants (*Zea mays* L.) irrigated with domestic effluent. In: **Proceedings of the 8th IWA International Conference on Water Reclamation and reuse**. Barcelona, Spain, IWA. p. 8, 2011.

BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **A Cultura do Milho**. Universidade de Évora, 2014.

BASI, S.; NEUMANN, M.; MARAFN, F.; UENO, R. K.; SANDINI, I. E. Influência da adubação nitrogenada sobre a qualidade da silagem de milho. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 4, n.3, p.219-234, set/dez, 2011.

BAYER, C.; MIELNICZUK. Fundamentos da Matéria orgânica do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELA, L. P; CAMARGO, F. A. O. **Ecosistemas Tropicais e Subtropicais**. Porto Alegre, 2008. p. 7-18.

BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S.C.; SILVA, T. R.; TEO, C. R. P. A.; BOAS, M. A. V. Reuso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 01, p. 152-163, jan/abr, 2007.

BELOW, F. E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 99, p. 7-12, 2002.

BENASSI, S. **Projeto de Lei nº 664/2007 Reutilização da água nas garagens de empresas de ônibus**. Câmara Municipal de Campinas 2007.

BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; RUFFO, M. L.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, v.105, n.1, p.161-170, 2013.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo. p. 152-169, jun, 2008.

BEZERRA, B. G.; FILHO, J. F. Análise de crescimento da cultura do algodoeiro irrigada com águas residuárias. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 339-345, jul/set, 2009.

BONINI, M. A.; SATO, L. M.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Alterações nos atributos químico e físicos de um Latossolo Vermelho irrigado com água residuária e vinhaça. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 20, n. 1, p. 78-85, 2014.

BORGES, I. D. **Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria seca no milho**. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia – Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, 2006.

CARVALHO, N. L.; HENTZ, P.; SILVA, J. M.; BARCELLOS, A. L. Reutilização de águas residuárias. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria. v. 14, n. 2, p. 3164-3171, mar, 2014.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. ALVAREZ, V. H. BARROS, N. F. FONTES, R. L. F. CANTARUTTI, R. B. NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. 1º ed. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. 2007, cap. 7, 375-470p.

CAVALCANTE, S. E. A. S.; PARENTE, H. N.; RODRIGUES, R. C.; SOUSA, D. R.; SANTOS, L. C.; COSTA, J. S. Características agronômicas e produtivas do milho híbrido e o valor nutritivo da silagem submetido a diferentes fontes de adubação. **Revista eletrônica nutriTime**, Viçosa. v. 10, n.1, p. 2180-2194, jan/fev/2013.

CAVINATTO, A. S.; PAGANINI, W. S. Os micronutrientes nas atividades de disposição de esgotos no solo – estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 42-51, jan/mar. 2007.

CETESB- Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo. **Proposta de Minuta de Resolução SES/SMA/SERHS sobre a disciplina do reúso direto de água não potável proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário de sistemas públicos para fins urbanos**. 2012.

COELHO, A. M. **Nutrição e Adubação do Milho**. Circular técnica 78. Sete Lagoas, dez, 2006.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAÍBA (CAGEPA). 2014. **Tratamento**. Disponível em:< <http://www.cagepa.pb.gov.br/outras-informacoes/abastecimento-de-agua/tratamento/>>. Acesso em 30 de abril de 2019.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira grãos**. Brasília, DF, v.6, n, 7, abr, 2019. Safra 2018/19, sétimo levantamento. Disponível em:< https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/25556_fe55bd91a1e1de2dae35cf40956a7d16>. Acessado em: 26 de abril de 2019.

CONAMA. **Resolução Nº 20, de 18 de junho de 1986**. Diário Oficial da União. Estabelece normas e padrões para a qualidade das águas e lançamento nos corpos de água. Brasília, DF. 1986. Disponível em:< <https://www.unaerp.br/documentos/2225-resolucao-conama-20-1986/file>>. Acessado em 25 de abril de 2019.

CONAMA. **Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005**. Diário Oficial da União. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF. 2005. Disponível em:< http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf>. Acessado em 25 de abril de 2019.

CONAMA. **Resolução Nº 396, de 3 de abril de 2008**. Diário Oficial da União. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, DF. 2008. Disponível em:<

<http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>>. Acessado em 25 de abril de 2019.

CONAMA. **Resolução Nº 430, de 11 de maio de 2011**. Diário Oficial da União. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, DF. 2011. Disponível em:< <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acessado em 25 de abril de 2019.

COSTA, R. H. P. G; Água: matéria-prima primordial à vida *In*: TELLES, D.D.; COSTA, R. H. P. G, **Reúso da Água**. São Paulo: Blucher, 2ª ed., 2010, p. 1-12.

COSTA, N. R.; ANDREOTI, M.; GAMEIRO, R. A.; PARIZ, C. M.; BUZETTI, S.; LOPES, K. S. M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 8, p. 1038-1047, ago, 2012.

COSTA, M. S.; DA COSTA, Z. V. B.; ALVES, S. M. C.; NETO, M. F.; MARINHO, M. J. C. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 12 - 26, 2012.

COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. J. M. Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. Edição Especial. p. 51-60. 2014.

CRUZ, S. J. S. **Características morfofisiológicas de plantas e produtividade do milho**. 2013. Tese (Doutorado em Agronomia: Agricultura – Departamento Produção e Melhoramento vegetal) -Universidade Estadual de São Paulo (UNESP). Botucatu, 2013.

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S.; SANTOS, J. R.; ALBUQUERQUE, A. W.; PEREIRA, R. G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 62-68, ago, 2008.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; PIMENTEL, M. A. G.; COELHO, A. M.; KARAM, D.; CRUZ, I.; GARCIA, J. C.; MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, M. F. de; GONTIJO NETO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. E. P. de; VIANA, P. A.; MENDES, S. M.; COSTA, R. V. da; ALVARENGA, R. C.; MATRANGOLO, W. J. R. **Produção de milho na agricultura familiar**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 45 p.

CUBA, R. S.; CARMO, J. R.; SOUZA, C. F.; BASTOS, R. G. Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté. v. 10, n. 3, p.574-586, jul/set, 2015.

CUNHA, V. D. **Estudo para proposta de critérios de qualidade da água para reúso urbano**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento Ambiental, São Carlos, 2008.

CUNHA, A. H. N. O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1225-1248, nov, 2011.

D'CASTRO FILHO, J. **Pós-tratamento de Efluente de Reator Anaeróbio em Lagoa de Polimento**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

DORIGON, E.B.; TASSARO, P. Caracterização dos efluentes da lavagem automotiva em postos de atividade exclusiva na região AMAI – Oeste catarinense. **Unesc & Ciência – ACBS**, Joaçaba. v. 1, n. 1, p. 13-22, jan./jun. 2010.

DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.12, n.3, p.302–310, nov, 2008.

DUARTE, A. P.; GERAGE, A. C.; CECCON, G.; SILVA, V. A.; CRUZ, J. C.; BIANCO, R.; SOUZA, E. D.; PEREIRA, F. C.; SOARES FILHO, R. Milho Safrinha. In: CRUZ, J. C.; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; MOREIRA, J. A. A. **Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 306-324, 2011.

DUETE, R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, C. O. Acúmulo de nitrogênio (^{15}N) pelos grãos de milho em função da fonte nitrogenada em latossolo vermelho. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 463-472, 2009.

EPA. Environmental Protection Agency. **Human enteric virus survival in soil following irrigation with sewage plant effluents**. EPA-600/1-80-004. National Service Center for Environmental Publications (NSCEP), 1980.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 14, n. 5, p.467–477, nov, 2010.

ESCOSTEGUY, P.A.V.; RIZZARDI, M.A.; ARGENTA, G. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas. v.21, n.1, p.71-77, 1997.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**, Guaíba: 2 ed., agropecuária, 2000, 360p.

FANCELLI, A. L. Ecofisiologia, fenologia e implicações básicas de manejo. In: GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. **Milho do plantio a colheita**. Viçosa, Editora UFV, 2015, cap. 3, p. 50-76.

FAO. **Compartilhar a água**. Suplemento fórum mundial da água, publicado pela FAO (Nações Unidas), mar, 2018. Disponível em: < <https://diplomatie.org.br/wp->

content/uploads/2018/03/Suplemento-FAO-F%C3%B3rum-Mundial-da-%C3%81gua.pdf>. Acessado em: 02 de maio de 2019.

FERREIRA, O. E.; BELTRÃO, N. E. M.; KÖNIG, A. Efeitos da aplicação de água residuária e nitrogênio sobre o crescimento e produção do algodão herbáceo. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande. v. 9, n. 01/03, p. 893-902, 2005.

FERREIRA, DANIEL FURTADO. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras. v. 6, p. 36-41, 2008.

FERREIRA, A. C. D. B.; ARAÚJO, G. A. D. A.; PEREIRA, P. R. G.; CARDOSO, A. A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 131-138, jan./mar. 2001.

FIDELES FILHO, J.; NOBREGA, J. Q.; SOUSA, J. T.; DANTAS, J. P. Comparação dos efeitos de água residuária e de poço no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 9, p. 328-332, 2005.

FIESP. **Safra Mundial de Milho 2018/19** – 12º Levantamento do USDA. 2019. Disponível em:< <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/attachment/file-20190415194851-boletimmilhoabril2019/>>. Acessado em: 26 de abril de 2019.

FONSECA, A. F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente tratado**. 2001. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e nutrição de plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2001.

FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. Part I plant dry matter yield and soil nitrogen and phosphorus availability. **Communications in soil science and plant analysis**, New York, v. 36, n. 36, p. 1965-1981, 2005.

FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; PAULA, A. M.; VICTÓRIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n.2, p. 194-209, 2007.

FORNAESIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 576p.

FRANÇA, S.; MIELNICZUK, J.; ROSA, L. M. G. BERGAMASCHI, H. BERGONCI, J. I. Nitrogênio disponível ao milho: Crescimento, absorção e rendimento de grãos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.15, n.11, p.1143–1151, set, 2011.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. **Tecnologia Social, Fossa Séptica Biodigestora**. Saúde e Renda no Campo. Brasília; Plano Mídia, 32p, 2010.

GAVA, G. J. C.; OLIVEIRA, M. W.; SILVA, M. A.; JERÔNIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; TRIVELIN, P. C. O. Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em milho cultivado com diferentes doses de ^{15}N -uréia. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 851-862, out./dez. 2010.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura no outono inverno como fonte de nitrogênio ao milho em sistema plantio direto: II. Potencial de fornecimento de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 28, n. 4, p. 751-762, jul./ago. 2004.

GOODMAN, M. M. História e origem do milho. In: Paterniani, E.; Viégas, G. P. (coord.) **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 2 ed. p. 3-38.

GOTT, R. M.; SICHOCKL, D.; AQUINO, L. A.; XAVIER, F. O.; SANTOS, L. P. D.; AQUINO, R. F. B. A. Épocas de aplicação de nitrogênio no milho safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas. v.13, n.1, p. 24-34, 2014.

JORDÃO, L. T.; LIMA, F. F.; LIMA, R. S.; MORETTI, P. A. E.; PEREIRA, H. V.; MUNIZ, A. S.; OLIVEIRA, M. C. N. Teor relativo de clorofila em folhas de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* sob diferentes doses de nitrogênio e manejo com braquiária. In: **Anais da 29ª Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, 2010, Guarapari. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.

HESPANHOL, I. Potencial de Reuso de Água no Brasil: Agricultura, Indústria, Município e Recarga de Aquíferos, In: Mancuso, P. C. S; Santos, H. F. **Reúso de Água**. NISAMUSP, ABES. Barueri, SP. 2003. cap. 3, 62p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006**. 2006. Disponível em:<
https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf>. Acessado em: 29 de abril de 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. 2011. Banco de Dados Agregados (PNAD). Disponível em:
<http://www.sidra.ibge.gov.br/pnad/pnadpb.asp?o=3&i=P>. Acesso em 29 de abril de 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. 2017. Disponível em:<
https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf>. Acessado em: 29 de abril de 2019.

JIMÉNEZ, B.; ASANO, T. Water reuse: An International Survey of current practice, issues and needs. **Scientific and Technical Report**. London. v, 7. n. 20, p. 631, 2008.

KAPPES, C. **Coberturas vegetais, manejo do solo e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho**. 2012. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2012.

KELNER E.; PIRES E. **Lagoas de estabilização: projeto e operação**. Rio de Janeiro: ABES, cap 1 e 2. 1998.

KOUPAI, J. A.; FARD, A. M.; AFYUNI, M.; BAGHERI, M. R. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in na arid region. **Plant soil environ**, Amsterdam, v.52, n.8, p. 335-334, 2006.

KUNESKI, H. F. **Época de semeadura e resposta do milho ao parcelamento da adubação nitrogenada de cobertura em diferentes estádios fenológicos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.42, p.1511-1520, nov, 2007.

LANGE, A.; CARVALHO, J. L. N.; DARMIN, V.; CRUZ, J. C.; MARQUES, J. J. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 460-467, mar/abr, 2006.

LAVRADOR, J. **Contribuição para o entendimento do reúso planejado de água em algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil**. 1987. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1987.

LEONEL, L.F.; MARTELLI, L.F.A.; DA SILVA, W.T.L. **Avaliação do efluente de fossa séptica biodigestora e jardim filtrante**. 2013. In: III Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management. São Pedro, São Paulo, 2013.

LIMA, R. A. S. **Utilização de resíduos de tratamento de esgoto como suprimento hídrico e nutricional na cultura do girassol**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu, 2015.

LOPES, S. J.; LÚCIO, A. D. C.; STORCK, L.; DAMO, H. P.; BRUM, B.; SANTOS, V. J. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbrido. **Ciência Rural**, Santa Maria. v. 37, n. 6, p.1536-1542, 2007.

LOURENTE, E. R. P.; ONTOCELLI, R.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E.; RODRIGUES, E. T. Culturas antecessoras, doses e fontes de

nitrogênio nos componentes de produção do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá. v. 29, n. 1, p. 55-61, 2007

MANFRON, P. A.; BACCHI, O. O. S.; DOURADO NETO, D.; PEREIRA, A. R.; MEDEIROS, S. L. P.; PILAU, F. G. Modelo do índice de área foliar da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria. v.11, p.333-342, 2003.

MARTÍNEZ, S.; SUAY, R.; MORENO, J.; SEGURA, M. L. Reuse of tertiary municipal wastewater effluent for irrigation of *Cucumis melo* L. **Irrigation Science**, v.31, p.661–672, 2013.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da Produção de Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 10 p, 2006.

MANTOVANI, E. C.; BERNADO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação princípios e métodos**. 3º ed. Viçosa: Editora UFV, 2013.

MAPA. 2019. **Milho para o estado de São Paulo, ano safra 2018/2019**. Disponível em:< http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/portarias/safra-vigente/sao-paulo/word/copy_of_PORTN117MILHO1SAFRASP.rtf>. Acessado em 09 de maio de 2019.

MARECOS DO MONTE, H.; ALBUQUERQUE, A. **Reutilização de Águas Residuais**, Série de Guias técnicos, Lisboa, Portugal, 319 p, 2010.

MARANHÃO, C. M. A.; SILVA, C.C. F.; BONOMO, P.; PIRES, A. J. V. Produção e composição químico-bromatológica de duas cultivares de braquiária adubadas com nitrogênio e sua relação com o índice SPAD. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá. v. 31, n. 2, p. 117-122, 2009.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; SOUZA, J. A. Utilização de águas residuárias de origem doméstica na agricultura: Estudo do estado nutricional do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 12, n. 02, p. 109-115, 2008.

MEDEIROS, R. D.; SILVA, E. S.; CARMO, I. L. G. S.; MONTEIRO NETO, J. L.; SILVA, A. P.; TRASSATO, L. B. Doses de nitrogênio e locais de semeadura do milho em sucessão ao meloeiro no segundo ano de cultivo. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 2015, Natal. **O solo e suas múltiplas funções**, 2015.

MELO, J.C.; SANTOS, M.; SANTOS, A.C.; ALEXANDRINO, E.; PAULA NETO, J.J. Respostas morfofisiológicas do apimombança submetido a doses de resíduo líquido de latcicínios. **Revista de ciência Agrárias-Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém. v. 54, n. 3, p. 247-258, set/dez, 2011.

MELO, J. P. M.; JÚNIOR, J. A. S. O.; GONÇALVES, E. P.; VIANA, J. S. Emergência e crescimento inicial do milho submetido à adubação com efluentes de origem

láctea. **Global Science and Technology**, Rio Verde. v. 7, n. 3, p.44-52, set/dez. 2014.

MORÃES, M. T.; ARNUTI, F.; SILVA, V. R.; SILVA, R. F.; BASSO, C. J. ROS, C. O. Dejetos líquidos de suínos como alternativa a adubação mineral na cultura do milho. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 6, p. 2945-2954, nov/dez, 2014.

MORETTI, S. M. L. **Irrigação de dois cultivos de milho com efluente de suinocultura tratado em biodigestor anaeróbico: avaliação no sistema solo-água-ar-planta**. 2017. Tese (Doutorado em ciências – Química na Agricultura e no Meio Ambiente). Universidade de São Paulo (USP). Piracicaba, 2017.

MÔRO, G. V.; FRITSCHER-NETO, R. Ecofisiologia, fenologia e implicações básicas de manejo. In: GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A. PIMENTEL, M. A. **Milho do plantio a colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015. cap. 3, p. 50-76.

MULLER, T. **Inoculação de Azospirillum brasilense associada a níveis crescentes de adubação nitrogenada e o uso de bioestimulante vegetal na cultura do milho**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2013.

MUNDSTOCK, C. M.; SILVA, P. R. F. **Manejo da cultura do milho para altos rendimentos de grãos**. Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

NASCIMENTO, M. B. H. **Utilização de água residuária e biossólido na cultura da mamona: crescimento e desenvolvimento**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, Campina Grande-PB. 2008.

NEUMANN, M.; SANDINI, I.E.; LUSTOSA, S.B.C.; OST, P.R.; ROMANO, M.A.; FALBO, M.K.; PANSEIRA, E.R. Rendimentos e componentes de produção da planta de milho (*Zea mays* L.) para silagem, em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.4, n.3, p.418-427, 2010.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2003.

OHLAND, R. A. A.; SOUZA, L. C. F.; HERNANI, L. C.; MACHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v. 29, n. 3, p. 538-544, mai/jun, 2005.

OLIVEIRA, E. L.; PEREIRA, R. A. C. B.; LEOPOLDO, P. R. Reúso de efluente de tratamento de esgoto em irrigação por subsuperfície. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2000, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2000.

PASCHOALATO, C. F. P. R.; MELLIS, G. V.; CIRINO, T. M. A. O Enquadramento legal específico para o reúso de águas residuárias de ETE frente ao CONAMA 20.

In: **CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL**, 29., 2004, Paraná.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. **Melhoramento do Milho**. In: BOREM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV. 2005. p.491 – 552.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Unesp, 2008.

PELÁ, A.; SANTANA, J. S.; MORAES, E. R.; PELÁ, G. M. Plantas de cobertura e adubação com NPK para milho em plantio direto. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 5, p. 371-377, set/out, 2010.

PLETSCH, T. A. **Irrigação de milho por sulcos com efluente de esgoto doméstico tratado**. 2012. Tese (Doutorado em Agronomia: Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de mesquita Filho”. Botucatu, 2012.

PIAZZOLI, D.; PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; SOUZA, T. M.; SHIROMA, G.; SELLA, J. V.; OLIVEIRA J. R. J. A. Adubação nitrogenada de cobertura e densidade de plantas nas características agrônômicas do milho segunda safra sob espaçamento reduzido. In: 29º Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2012. Águas de Lindóia. **Diversidade e Inovação na era dos transgênicos**, Sete Lagoas - MG: ABMS, p. 1889-1895, v. 1, 2012.

QUADROS, B. R.; SILVA, E. S.; BORGES, L. S.; MOREIRA, C. A.; MORO, A. L.; BÔAS, R. L. V. Doses de nitrogênio na produção de rabanete fertirrigado e determinação de clorofila por medidor portátil nas folhas. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 353-360, out/dez, 2010

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1996.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1997.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Análise química da fertilidade dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2001.

RAMBO, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L. Parâmetros de plantas para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria. v. 34, n. 5, p. 1637-1645, set/out, 2004.

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; STRIEDER, M. L.; SILVA, A. A.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M. Índices nutricionais de N e produtividade de milho em diferentes níveis de manejo e de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 46, n. 4, p. 390-397, abr, 2011.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editoras, 2006.

REGO, J. L.; OLIVEIR, E. L. L.; CHAVES, A. F.; ARAÚJO, A. P. B.; BEZERRA, F. M. L.; SANTOS, A. D. B.; MOTA, S. Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 9, p. 155-159, 2005.

RODRIGUES, R. S. **As dimensões legais e institucionais do reúso de água no Brasil**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

RONQUIM, S. S. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 8. Embrapa Monitoramento por Satélite. Campinas, SP. 2010.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Teores de nutrientes na alface irrigada com águas residuárias aplicada por sistema de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal. v. 26, n. 1, p. 45-57, jan/abr, 2006.

SANTOS, A. P. R. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com capim tifton 85**. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2004.

SANTOS, S. R.; PEREIRA, G. M. Comportamento da alface tipo americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 569-577, 2004.

SANTOS, S. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C.; BATISTA, R. O. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa. v. 14, n. 1, p. 32-38, jan/mar. 2006.

SANTOS, M. N.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, I. R.; MIRANDA, G. V.; FINGER, F. L. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio (15N) na planta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa. v. 34 p.1185-1194, 2010.

SÃO PAULO (Estado) - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. Decisão de Diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005. **Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005**, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências.

SARIKAYA, H. Z.; AKÇA, L.; YAZGAN, M. S.; ÖZDEMİR, C. **Re-Evaluation of the Use of Industrial Waste Water for Irrigation in Konya**. Proceedings of 1st international workshop on environmental quality and environmental engineering in the middle east region, Konya, 1998, p. 438-450.

SARTOR, L. R.; ASSMANN, AL. L.; ASSMANN, P. E. B.; MIYAZAWA, M.; CARVALHO, P. C. F. Effect of swine residue rates on corn, common bean, soybean and wheat yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 36, n. 2, p. 661-669, mar/abr, 2012.

SARTORELLI, P. A. R.; SILVA, J. M. S.; GORENSTEIN, M. R.; GOMES, J. E.; ÁVILA, E. Q. Rebrotas após fogo de espécies arbóreas de diferentes grupos fenológicos foliares em cerrado stricto sensu. **Revista científica eletrônica de engenharia florestal**, Garça. n. 10, 2007.

SCALOPPI, E. J. Irrigação por superfície. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, C. R. M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2003. p. 311-470.

SEFFRIN, R. **Análise exploratória de dados espaciais aplicada a produtividade de milho no estado do Paraná**. 2017. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2017.

SHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M. E. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente e Sociedade**, São Paulo. v. 17, n. 2, p. 17-32, abr/jun, 2014.

SILVA, R. R. **Avaliação sócio-ambiental do uso de efluente de esgoto tratado na irrigação de culturas no Município de Lins – SP**. 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ). Piracicaba, 2008.

SILVA, K. K. B. **Efeitos da irrigação com esgoto tratado sobre o sistema solo-planta (Milho) e indução da supressividade a doenças causadas por nematoides**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife, 2009.

SILVA, L. T. **Cultivo de milho irrigado com esgoto doméstico tratado: alternativa técnica e econômica para o pequeno agricultor no semiárido baiano**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

SILVA, T. A. **Monitoramento do nitrogênio foliar em áreas comerciais de cacaueiros clonais utilizando clorofilômetro e imagem digital**. 2016. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2016.

SILVA, C. G. M. **Absorção e exportação de macronutrientes em milho transgênico sob dois níveis de investimento em adubação**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Produção Vegetal), Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, 2016.

SILVA, J. S. BERBERT, P. A. RUFATO, S. AFONSO, A. D. L. Indicadores da qualidade dos grãos. In: SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa. Editora aprenda fácil. 2008.

SILVA, J. S. PARIZZI, F. C. NOGUEIRA, R. M. SOBRINO, J. C. Beneficiamento de grãos. In: SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. 2º ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008, 325-341p.

SILVA, W. T. L.; NOVAES, A. P.; KUROKI, V.; MARTELLI, L. F. A.; MAGNONI JÚNIOR, L. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. **Química Nova**, São Paulo. v. 35, n. 1, p. 35-40, 2012.

SILVA, M. R.; MARINS, T. N.; ORTIZ, S.; BERTONCELLI, P.; VONZ, D. Desempenho agrônomo de genótipos de milho sob condições de restrição hídrica. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa. v. 35, n. 1, jan/jun, 2012.

SILVA, M. A.; SANTANA, C. G. REUSO DE ÁGUA: possibilidades de redução do desperdício nas atividades domésticas. **REVISTA DO CEDS**, n. 1, ago/dez, 2014.

SILVA, W. T. L.; MARMO, C. R.; LEONEL, L. F. **Memorial Descritivo: Montagem e Operação da Fossa Séptica Biodigestora**. Embrapa Instrumentação São Carlos-SP, 32p, 2017.

SILVA, D. A.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; ROSCOE, R. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 1, p. 75-88, 2006.

SOARES, A. A. OLIVEIRA, R. A. **Irrigação por superfície**. Brasília: ABEAS, 2001, 89p.

SOARES, M. T. S.; CALHEIROS, D. F.; GALVANI, F.; FEIDEN, A.; CAMPOLIN, A. I.; SILVA, W. T. L. Eficiência de Fossa Séptica Biodigestora na Redução de Parâmetros Biológicos em Esgoto Originado de Água Doce ou Salobra, na Borda Oeste do Pantanal. **Cadernos de Agroecologia**. v. 11, n. 2, 2016.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. ALVAREZ, V. H. BARROS, N. F. FONTES, R. L. F. CANTARUTTI, R. B. NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. 1º ed. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. 2007. cap. 5, p. 205-274.

SOUZA FILHO, E. J. **Reúso de esgoto doméstico tratado, baseado em diferentes níveis de reposição nutricional para cultura da melancia no semiárido pernambucano**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2013.

SOUZA, R.; CARVALHO, M.; SILVA, M. D.; GOMES, S. GUIMARAES, W. ARAUJO, A. Leituras de clorofila e teores de n em fases fenológicas do milho. **Colloquium Agrariae**, v. 11, n. 1, p. 57-63, jan/jun, 2015.

STREACK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; HORN, R. Relações do parâmetro para algumas propriedades físicas de solos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 32, n. especial, p. 2603-2612, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas, SP.: Unicamp/FEAGRI, 2017.

TEIXEIRA, F. F. **Milho cultivado no Brasil e banco de germoplasma – uma forma de classificação da variabilidade genética**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 65.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O. e BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília. v.45, n.8, p.797-804, ago, 2010.

URBANO, V. R. **Aplicação de água de reúso tratada no cultivo de alface (*Lactuca sativa* L.)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de São Carlos. Araras, 2013.

USEPA. Unites States Environmental Protection Agency. **Guidelines for Water Reuse**. EPA/600/R-12/618 Washington, DC, USA. 640p. 2012.

VAN HEERWAARDEN, J.; DOEBLEY, J.; BRIGGS, W. H.; GLAUBITZ, J. C.; GOODMAN, M. M.; GONZALES, J. J. S.; IBARRA, J. R. Genetic signals of origin spread, and introgression in a large sample of maize landraces. **Proceedings National Academy of Sciences**. v. 108, n. 3, p. 1088-1092, 2011.

VARGAS, V. P.; SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; SIEGA, E.; CARNIEL, G.; FERREIRA, M. A. Os atributos nas folhas são mais eficientes que o N mineral no solo para avaliar a disponibilidade desse nutriente para o milho. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 2, p.245-255, 2012

VARALLO, A. C. T.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. L. Mudanças nas características físico-químicas de um latossolo vermelho-amarelo distrófico após a irrigação com água de reúso na cultura da alface-crespa (*lactuca sativa*, l.). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal. v. 32, n. 2, p. 271-279, mar/abr, 2012.

VIANA, E. M. **Interação de nitrogênio e potássio na nutrição, no teor de clorofila e na atividade da redutase do nitrato em plantas de trigo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2007.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 1991.

ZARILLO, S.; PEARSALL, D. M.; RAYMOND, J. S.; TISDALE, M. A.; QUON, D. J. Directly dated starch residues document early formative maize (*Zea mays L.*) in tropical Ecuador. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 13, p. 5006-5011. 2008.

ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C. R.; GUISCHEM, J. M.; HENNING, F. A.; NAKAGAWA, J. Qualidade fisiológica de sementes de milho doce classificadas pela espessura e largura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia. v. 44, n. 1, p. 71-78, jan/mar, 2014.