



**BRENDA MARIA MONTEIRO
MARIA EDUARDA MEDEIROS OLIVEIRA CUNHA**

**USO DO EPANET 2.2 NA SIMULAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO
DE FERTILIZANTES APLICADOS VIA IRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO**

**LAVRAS - MG
2023**

**BRENDA MARIA MONTEIRO
MARIA EDUARDA MEDEIROS OLIVEIRA CUNHA**

**USO DO EPANET 2.2 NA SIMULAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE FERTILIZANTES
APLICADOS VIA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto
Orientador

**LAVRAS - MG
2023**

Dedicamos este trabalho aos nossos pais, cujo amor e apoio sempre foram nossa motivação. Agradecemos por cada sacrifício feito para possibilitar a nossa educação. Dedicamos também aos nossos amigos que nos acompanharam durante a graduação, deixando esses anos mais leves e contribuindo para o nosso crescimento acadêmico e pessoal.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecemos a Deus, que fez com que nossos objetivos fossem alcançados e permitiu que tivéssemos saúde e determinação para não desanimar perante as dificuldades.

Aos nossos amigos e família, que estiveram do nosso lado e incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam nossa ausência enquanto dedicávamos à realização deste trabalho.

Ao professor Adriano Valentim Diotto, expressamos nossa profunda gratidão pelas correções e ensinamentos que nos proporcionaram um desenvolvimento profissional mais capacitado.

Agradecemos também por compartilhar conosco valiosos conselhos e por sua notável paciência ao longo desta jornada acadêmica. Sua orientação foi fundamental para o nosso crescimento, e estamos sinceramente agradecidas por sua contribuição significativa em nosso aprendizado.

Não poderíamos deixar de mencionar o Núcleo de Estudos em Irrigação (NEI) e o Grupo de Estudos em Máquinas e Mecanização Agrícola (GEMMA), que estiveram presentes durante a graduação e em especial durante a coleta de dados desse trabalho. Cada membro de alguma forma contribuiu para nosso desenvolvimento profissional e pessoal. Agradecemos imensamente pela amizade de vocês.

Aos nossos colegas de curso, que convivemos intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências. E por fim, agradecemos todos aqueles que de alguma forma contribuiu para nosso desenvolvimento.

“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento.”
(Albert Einstein)

RESUMO

A fertirrigação constitui uma prática que viabiliza a aplicação controlada de fertilizantes por meio de sistemas de irrigação, apresentando uma série de vantagens em comparação com métodos convencionais de adubação. O presente trabalho tem como objetivo simular a distribuição de fertilizantes via irrigação localizada utilizando o *software* EPANET, esse software permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade em sistemas de distribuição de água. Para atingir esse propósito, foi feita uma linha de irrigação por gotejamento, com 50 metros, e nela foram definidos 5 pontos de coleta, espaçados com 12,5 metros entre eles. A coleta foi realizada em 7 tempos diferentes com duração total de 21 minutos. Foi medido a condutividade elétrica nos 4 percentuais de injeção (1% a 4%) e assim ajustado para concentração de cloreto de potássio. Os resultados obtidos revelaram que é possível a utilização do *software* para simulação de irrigação, visto que não é a função original do programa. O tempo de avanço tem influência direta sobre a uniformidade na distribuição dos fertilizantes. Portanto, este estudo contribuiu para a compreensão e otimização do manejo da fertirrigação.

Palavras-chave: Tempo de avanço. Uniformidade. Fertirrigação. EPANET.

ABSTRACT

Fertigation constitutes a practice that enables the controlled application of fertilizers through irrigation systems, presenting several advantages compared to conventional fertilization methods. The aim of this study is to simulate the distribution of fertilizers via localized irrigation using the EPANET software. This software allows for the execution of static and dynamic simulations of hydraulic and water quality behavior in water distribution systems. To achieve this objective, a drip irrigation line was set up, spanning 50 meters, with five collection points spaced 12.5 meters apart. Data collection occurred at seven different time points over a total duration of 21 minutes. Conductivity measurements were taken at four injection percentages (1% to 4%), subsequently adjusted for potassium chloride concentration. The results revealed the viability of using the software for irrigation simulation, despite it not being its primary function. The advancement time has a direct influence on the uniformity of fertilizer distribution. Therefore, this study has contributed to the understanding and optimization of fertigation management practices.

Keywords: Advance time. Uniformity. Fertigation. EPANET.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de uma casa de bombas composta por sistema de bombeamento e sistema de filtragem com filtros de areia	15
Figura 2 – Interface do Software EPANET com as ferramentas nós, reservatórios, emissores turbos, moto-bombas e válvulas, representadas na barra superior	21
Figura 3 – Linha de gotejamento com a realização das coletas de solução em cada um dos gotejadores pré- estabelecidos	22
Figura 4 – Detalhe de um gotejador avaliado, com identificação de ponto de coleta pela fita na mangueira	23
Figura 5 – Injetor modelo Mix Rite 2504, utilizado no experimento para injeção de solução de fertilizantes concentrada	25
Figura 6 – Condutímetro usado para leitura da condutividade elétrica das amostras.	25
Figura 7 – Representação dos componentes implementados para a modelagem da condição de campo do experimento, dentro do software EPANET	26
Figura 8 – Curva de calibração ajustada para diferentes concentrações de Cloreto de Potássio, em função da condutividade elétrica.	27
Figura 9 – Variação da concentração de cloreto de potássio ao longo do tempo, para os diferentes pontos de coleta na linha de gotejador, com injeção de 1% de solução.	28
Figura 10 – Variação da concentração de cloreto de potássio ao longo do tempo, para os diferentes pontos de coleta na linha de gotejador, com injeção de 2% de solução.	28
Figura 11 – Variação da concentração de cloreto de potássio ao longo do tempo, para os diferentes pontos de coleta na linha de gotejador, com injeção 3% de solução	29
Figura 12 – Variação da concentração de cloreto de potássio ao longo do tempo, para os diferentes pontos de coleta na linha de gotejador, com injeção de 4% de solução.	29
Figura 13 – Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 1% por 21 minutos utilizando o Software EPANET.	30
Figura 14 – Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 1% por 40 minutos utilizando o Software EPANET.	31
Figura 15 – Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 2% por 21 minutos utilizando o Software EPANET.	31

Figura 16 – Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 2% por 34 minutos utilizando o Software EPANET.	32
Figura 17 – Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 3% por 21 minutos utilizando o Software EPANET.	32
Figura 18 – Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 3% por 34 minutos utilizando o Software EPANET.	33
Figura 19 – Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 3% por 21 minutos utilizando o Software EPANET.	33
Figura 20 – Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 4% por 34 minutos utilizando o Software EPANET.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Distribuição dos pontos de coleta.	22
Tabela 2 – Tempos de coleta.	23
Tabela 3 – Variação Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio com Injeção de 1% na Linha de Gotejamento.	39
Tabela 4 – Variação Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio com Injeção de 2% na Linha de Gotejamento.	40
Tabela 5 – Variação Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio com Injeção de 3% na Linha de Gotejamento.	41
Tabela 6 – Variação Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio com Injeção de 4% na Linha de Gotejamento.	43
Tabela 7 – Estabilização da Concentração de Cloreto de Potássio com 1% de Injeção na Linha de Gotejamento ao Longo do Tempo.	45
Tabela 8 – Estabilização da Concentração de Cloreto de Potássio com 2% de Injeção na Linha de Gotejamento ao Longo do Tempo.	47
Tabela 9 – Estabilização da Concentração de Cloreto de Potássio com 3% de Injeção na Linha de Gotejamento ao Longo do Tempo.	49
Tabela 10 – Estabilização da Concentração de Cloreto de Potássio com 4% de Injeção na Linha de Gotejamento ao Longo do Tempo.	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	IRRIGAÇÃO LOCALIZADA - GOTEJAMENTO	14
2.2	QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO	15
2.3	FERTIRRIGAÇÃO	16
2.3.1	Vantagens e desvantagens da fertirrigação.....	17
2.3.2	Etapas da fertirrigação	18
2.4	POTENCIAL PRODUTIVO COM FERTIRRIGAÇÃO.....	18
2.5	DISTRIBUIÇÃO DE FERTILIZANTES NO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	19
2.6	SOFTWARE EPANET	20
3	METODOLOGIA	22
3.1	DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO	22
3.2	DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO UTILIZADO	24
3.3	MODELAGEM NO SOFTWARE EPANET.....	26
3.4	CALIBRAÇÃO DO CLORETO DE POTÁSSIO	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS	36
	ANEXO A - COMPORTAMENTO TEMPORAL DA DISTRIBUIÇÃO DE CLORETO DE POTÁSSIO EM AMBIENTE DE CAMPO	39
	ANEXO B - DINÂMICA TEMPORAL NA UNIFORMIZAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CLORETO DE POTÁSSIO NA LINHA DE GOTEJAMENTO	45

1 INTRODUÇÃO

A irrigação tem como objetivo fornecer água de forma controlada às plantas, possibilitando um aumento na produtividade, uma vez que fornece a quantidade ideal de água ao longo de todo o ciclo de crescimento. O sistema de irrigação por gotejamento, por sua vez, aplica a água próximo às raízes das plantas, demonstrando uma eficiência superior em comparação com outros sistemas de irrigação.

A fertirrigação por gotejamento é uma técnica de manejo agrícola que combina a aplicação de fertilizantes com a irrigação em cultivos, permitindo uma administração eficiente de nutrientes às plantas diretamente na zona das raízes, por meio do sistema de gotejamento. Essa prática tem ganhado destaque na agricultura moderna devido aos benefícios que oferece.

No geral, essa técnica de manejo permite ter uma maior eficiência na utilização dos nutrientes, maior precisão de aplicação, economia de recursos, automação, monitoramento e adaptação a diferentes culturas. Entretanto, a fertirrigação por gotejamento também apresenta desafios, como a necessidade de manutenção regular dos sistemas, para evitar obstruções e vazamentos. Além disso, o planejamento adequado das taxas de aplicação e a seleção de fertilizantes adequados são essenciais para obter bons resultados.

Ao observar a lacuna existente em estudos na distribuição de fertilizantes na irrigação localizada, notou-se a viabilidade de elaborar um projeto de pesquisa com ênfase na avaliação da distribuição de fertilizante pelo software EPANET. Esse software permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade do fluido em sistemas de distribuição. O projeto tem por foco representar o desempenho da injeção de fertilizantes em uma linha de gotejamento no decorrer do tempo. Portanto, o trabalho visa contribuir, gerando informações básicas para a otimização do processo de simulação usando o software EPANET, propiciando oportunidade de aprimoramento da fertirrigação adotada pelos produtores rurais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA - GOTEJAMENTO

A técnica de irrigação se fez necessária devido aos desafios historicamente enfrentados pelos agricultores, incluindo condições climáticas adversas, a crescente demanda por produtividade, o cultivo de culturas de alto valor e a necessidade de plantio em períodos não convencionais, entre outros fatores.

Segundo Bernardo et al. (2019), a irrigação localizada é caracterizada, principalmente, pela aplicação precisa de água em uma parcela específica do solo onde as raízes das plantas se encontram. Essa aplicação pode ser pontual ou em faixas contínuas e é frequentemente realizada através de um sistema de distribuição pressurizada que utiliza vazões reduzidas e curtos intervalos entre irrigações.

A irrigação localizada trabalha com baixas pressões, assim geralmente demanda potencial no conjunto motobomba, e conseqüentemente um consumo de energia reduzido. De acordo com o estudo realizado por Vieira et al (2011), o sistema de irrigação por gotejamento foi o mais viável economicamente, apresentando um consumo de energia inferior aos demais sistemas de irrigação presentes na pesquisa.

Os sistemas de irrigação localizados são compostos basicamente por motobomba, cabeçal de controle, linha principal, linhas de derivação, linhas laterais, válvulas e emissores. A principal desvantagem desse método é o risco de entupimento dos emissores, o que pode reduzir a uniformidade de aplicação. Conforme Testezlaf et al (2017), a obstrução dos emissores pode resultar de três causas fundamentais, podendo estas atuar de maneira concomitante:

1. Entupimentos físicos: causados por sólidos facilmente sedimentáveis.
2. Entupimentos químicos: referem-se a depósitos de cálcio, magnésio ou ferro ou adubos mal dissolvidos no sistema de injeção.
3. Entupimentos biológicos: como lodo microbiano (sulfo-bactérias), algas, plantas aquáticas, protozoários, crustáceos, caracóis, etc.

Para mitigar esse desafio, Bernardo et al. (2019) destaca a necessidade de utilizar água limpa e, para tanto, a inclusão de um sistema de filtragem, como mostrado na figura 1, é essencial no sistema de irrigação localizada.

Figura 1 – Exemplo de uma casa de bombas composta por sistema de bombeamento e sistema de filtragem com filtros de areia.



Fonte: Inovar Irrigação (2023).

2.2 QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

A qualidade da água para irrigação localizada é fundamental para evitar obstruções nos emissores, prevenir problemas de salinidade no solo e promover um crescimento saudável das culturas irrigadas. Segundo Almeida et al. (2010), a qualidade da água é avaliada com base em três critérios fundamentais: salinidade restrita, sodicidade e toxicidade.

A condutividade elétrica da água é a capacidade de conduzir corrente elétrica, está diretamente relacionada à concentração de sais. Quanto maior a condutividade elétrica, maior a quantidade de sais dissolvidos na água. De acordo com Cordeiro et al. (2001), águas que possuem uma concentração de sais totais de menos de 600 mg/l são adequadas para a irrigação de praticamente todas as culturas. Para plantas sensíveis a sais, localizadas em solos bem drenados ou com sistemas de drenagem, a irrigação com águas que tenham uma concentração salina entre 500 e 1.500 mg/l é uma opção viável. No caso de águas contendo entre 1.500 e 2.000 mg/l de sais, a irrigação de culturas moderadamente tolerantes pode ser realizada desde

que seja adotada uma frequência de irrigação maior e uma lâmina de lixiviação. No entanto, águas com concentração de 3.000 a 3.500 mg/l são adequadas apenas para a produção de rendimentos satisfatórios em culturas mais tolerantes.

Segundo Sousa et al. (2003), a avaliação da uniformidade de distribuição de nutrientes em sistemas de irrigação, requer a coleta de água e, posteriormente, determina-se a concentração do elemento na amostra. Devido às dificuldades na determinação de alguns elementos, estudos têm avaliado a uniformidade de distribuição de nutrientes através da condutividade elétrica, como indicador da concentração, porém os elementos não são quantificados.

Segundo Marouelli e Silva et al (2002), a ocorrência de carbonatos, ferro, cálcio, magnésio, manganês e sulfetos pode propiciar a geração de sólidos precipitados que têm o potencial de obstruir filtros e gotejadores, sendo uma possível solução a redução do pH. Também diz que o crescimento excessivo de algas pode ocorrer devido à existência de nutrientes que podem ser introduzidos pelo processo de fertirrigação.

Portanto, a fim de melhorar a qualidade da água, Marouelli e Silva et al. (2002) recomendam a adoção de práticas como a filtração com limpezas regulares do filtro, aeração da água, além da aplicação periódica de ácidos para limpeza da linha de gotejamento.

2.3 FERTIRRIGAÇÃO

A fertirrigação se destaca como uma abordagem que possibilita a administração controlada de água e nutrientes, criando condições ótimas para o desenvolvimento vegetal. O uso da técnica de fertirrigação requer equipamentos específicos que permitem a injeção de fertilizantes durante a irrigação. O sistema de fertirrigação é composto por tanque de dissolução, tanque de injeção, filtro de segurança e injetor. São utilizados fertilizantes líquidos ou fertilizantes sólidos solúveis, a solubilidade dos fertilizantes e a qualidade da água interferem na eficiência.

As frequências de aplicação de nutrientes, ou o fracionamento dos nutrientes, devem ser ajustadas de acordo com o padrão de absorção de nutrientes pela cultura em seus distintos estágios de desenvolvimento, conforme indicado por Sousa & Sousa (1992-1993, apud DE Sousa et al., 2005).

Segundo Coelho et al. (1994), a irrigação por gotejamento é a mais adequada à fertirrigação por permitir que a solução de nutrientes atinja diretamente o sistema radicular com o mínimo de perdas fora desse sistema. Ainda segundo o autor, os fertilizantes diluídos em água

e aplicados via fertirrigação por gotejamento serão depositados junto ao sistema radicular da cultura aumentando-se a eficiência de seu uso.

“O início da fase de avanço coincide com o início da irrigação, isto é, no momento em que a vazão é derivada à parcela a ser irrigada, e prolonga-se até que a frente de avanço atinge a sua extremidade final.” (FRIZZONE, 2005)

Portanto, o tempo de avanço na fertirrigação trata-se do tempo que a solução com fertilizante, após ser injetada, leva para chegar ao emissor mais distante do sistema de irrigação. Uma das maneiras de determinar o tempo de avanço é por meio da leitura da condutividade elétrica da água, que pode ser realizada a campo com o uso de condutivímetro portátil, ou em laboratório.

Segundo Silva (2022), em seu estudo, concluiu que o tempo de avanço do sistema de irrigação por gotejamento foi um critério técnico útil na determinação do tempo de injeção e do tempo de limpeza. O tempo de injeção equivalente a 200% do tempo de avanço proporcionou uma uniformidade de distribuição espacial do KCl satisfatória. Os tempos de limpeza equivalentes a 100% ou 200% do tempo de avanço proporcionaram uma uniformidade de distribuição espacial de KCl satisfatória.

2.3.1 Vantagens e desvantagens da fertirrigação

De acordo com Costa et al. (1986), dentre as vantagens da aplicação de fertilizantes via água de irrigação, podem-se destacar as seguintes:

- a) Economia de fertilizantes, considerando a realização da aplicação no solo onde a concentração de raízes de absorção de água e de nutrientes é alta (gotejamento);
- b) Melhor distribuição dos nutrientes no perfil do solo, inclusive daqueles considerados de baixa mobilidade no solo;
- c) Menor custo de aplicação dos fertilizantes;
- d) Possibilidade de aplicação, usando o mesmo sistema de injeção, de outros produtos sistêmicos, como: herbicidas, fungicidas, inseticidas, entre outros;
- e) Economia de mão de obra na operação de aplicação de fertilizantes;
- f) Possibilidade de aplicação do nutriente em qualquer estágio fenológico da planta.

Ainda conforme o autor, a maioria dos inconvenientes da fertirrigação, citados na literatura e percebidos na prática, não se devem ao método, mas sim ao manejo incorreto e à falta de informações acerca dos aspectos citados a seguir:

- a) Entupimento dos emissores por precipitações químicas causadas por incompatibilidade entre fertilizantes e a qualidade da água de irrigação ou por dissolução insuficiente dos fertilizantes;
- b) Aumento excessivo da condutividade elétrica da água de irrigação;
- c) Baixa qualidade (pureza e solubilidade) da maioria dos fertilizantes sólidos usados equivocadamente na fertirrigação.

2.3.2 Etapas da fertirrigação

Como descrito por Oliveira (2006), a fertirrigação divide em três etapas, que podem ser assim descritas:

- a) Na fase inicial, é crucial garantir que a água atinja todos os pontos do sistema de irrigação, resultando na estabilização da carga hidráulica durante a irrigação e no umedecimento efetivo do solo;
- b) A segunda etapa abrange o intervalo durante o qual ocorre a injeção da solução de fertilizante;
- c) A terceira fase tem início após a conclusão da injeção, destinando-se à limpeza das tubulações e à movimentação do produto até a profundidade desejada no solo.

2.4 POTENCIAL PRODUTIVO COM FERTIRRIGAÇÃO

As adubações nas culturas podem ser realizadas pelos métodos convencionais e através da fertirrigação. Tratando-se da fertirrigação, o emprego dessa técnica tem possibilitado a otimização do uso de insumos em diferentes culturas irrigadas, tanto em aspectos relacionados à produtividade quanto à qualidade dos produtos obtidos, sendo mais notável sua adoção em culturas irrigadas por sistemas de irrigação localizada (Oliveira & Villas Bôas, 2008).

Estudos realizados com diversas culturas, comprovam que o potencial produtivo utilizando a fertirrigação, é maior, comparado com a adubação convencional. Segundo Sousa et al. (2013) para a cultura do amendoim fertirrigado, encontrou-se superioridade em relação ao convencional de 28,64% de grãos de amendoim. E segundo Teixeira, et al. (2007), em um

de seus estudos, concluiu que a fertirrigação possibilita reduzir a dose de N e K em relação à adubação convencional, sem prejuízo na produção das bananeiras.

Em outro estudo comparativo que avaliou o emprego das técnicas de adubação convencional e fertirrigação, Soares et al (2000) concluíram que os tratamentos que adotaram a fertirrigação apresentaram uma produtividade duas vezes superior em comparação com o grupo que não recebeu irrigação, e 25% superior em relação ao grupo irrigado com adubação convencional.

2.5 DISTRIBUIÇÃO DE FERTILIZANTES NO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

A uniformidade na aplicação de fertilizantes durante a irrigação é fundamental para garantir que as plantas recebam nutrientes de maneira constante e apropriada em toda a área cultivada.

A fim de avaliar a uniformidade na aplicação do fertilizante, é de suma importância investigar o tempo de avanço. Conforme indicado por Oliveira (2006), o tempo de avanço é definido como o intervalo temporal necessário para que o fertilizante atinja uma área específica ou um gotejador selecionado após a sua injeção. Tal análise possibilitará a determinação da duração da fertirrigação.

Conforme apontado por Sousa & Sousa (1993), a uniformidade na distribuição de fertilizantes na água de irrigação está intrinsecamente vinculada à uniformidade na distribuição da própria água pelo sistema de irrigação. Assegurar a consistência na aplicação de fertilizantes durante o processo de irrigação é crucial para otimizar a eficiência no uso de nutrientes, estimular o crescimento equilibrado das plantas e prevenir complicações associadas a deficiências ou excessos nutricionais em distintas áreas do campo.

De acordo com Sousa et al. (2005), os equipamentos disponíveis para a injeção de solução em um sistema de irrigação, podem ser categorizados em cinco grupos: turbobombas ou bombas hidrodinâmicas, bombas volumétricas ou de deslocamento positivo, método diferencial de pressão, transformação de energia (venturi) e método combinado ou composto. Entre essas categorias, merecem ênfase o venturi, as bombas volumétricas e o diferencial de pressão.

O princípio de funcionamento do venturi baseia-se na aplicação da lei de Bernoulli, que afirma que, em um fluido em movimento, a pressão é inversamente proporcional à sua velocidade. Quando o fluido passa pela região estreitada (garganta) do Venturi, a velocidade

aumenta, resultando em uma diminuição da pressão. As bombas volumétricas injetam fertilizantes devido à mudança de volume da câmara de bombeamento, que cria uma pressão diferencial, forçando o fluido a se mover. As bombas volumétricas são eficazes para fornecer um fluxo constante.

Conforme Sousa et al (2005), o método por diferencial de pressão baseia-se na utilização da pressão negativa que ocorre no corpo da bomba centrífuga e/ou na energia positiva gerada pelo sistema de bombeamento.

2.6 SOFTWARE EPANET

Com o objetivo de simular a distribuição de fertilizantes utilizados na fertirrigação, o uso de um software se torna imprescindível. As ferramentas computacionais proporcionam uma maior segurança na obtenção dos resultados, garantindo precisão e confiabilidade no processo de análise, além de possibilitar a simulação de diferentes cenários, com diferentes comprimentos de linhas laterais, pontos de injeção em locais diferenciados, entre outros.

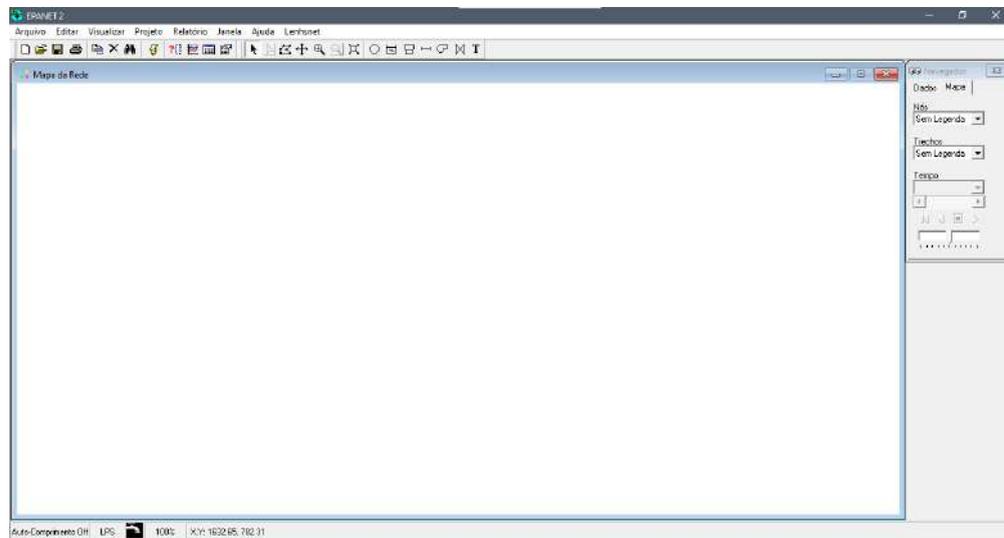
O EPANET é um simulador hidráulico amplamente adotado no estudo de sistemas de abastecimento de água urbanos, tendo sua confiabilidade atestada por inúmeros projetos implantados em todo o mundo (CISTY & BAJTEK, 2009).

De acordo com Rossman et al. (2000), o EPANET permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água em redes de distribuição pressurizada. Sendo um software de código aberto, de domínio público, podendo ser copiado e distribuído gratuitamente, desenvolvido pela Environmental Protection Agency (EPA) dos Estados Unidos da América.

Segundo Johnson & Rogers (2009 apud ANDRADE JÚNIOR, 2014) a aplicação de modelagem em redes de distribuição de água possui a capacidade de realizar simulações do comportamento hidráulico de um sistema ao longo do tempo; avaliar possíveis ações que possam diminuir o consumo de energia elétrica; simular os parâmetros da qualidade da água, ao longo da rede de distribuição, durante um determinado período de tempo, apoiar a análise de alternativas de gestão, para qualidade do sistema de distribuição; obter valores de vazão em cada trecho, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de elementos químicos na água através da rede de distribuição, durante o período de simulação.

Na figura 2, é possível observar o layout do software, contendo os componentes físicos de entrada: nós, reservatórios, emissores, tubos, motor-bombas e válvulas.

Figura 2 -Interface do Software EPANET com as ferramentas nós, reservatórios, emissores, turbos, moto-bombas e válvulas, representadas na barra superior.



Fonte: EPANET.

Segundo Rossman et al. (2000), o software oferece a capacidade de conduzir várias simulações relacionadas à qualidade da água. No contexto das diversas possibilidades disponíveis, a análise que contempla o estudo é o rastreamento da propagação de contaminantes ao longo do sistema e a determinação do tempo necessário para o seu percurso.

Essas simulações irão permitir avaliar o comportamento dos fertilizantes quando injetados no sistema de irrigação. A desuniformidade de aplicação de fertilizantes pode acarretar prejuízos significativos de produção.

Embora o software não seja especificamente projetado para a simulação de sistemas de irrigação, diversos estudos indicam que é possível utilizá-lo para essa finalidade. Baptista et al. (2019), ao avaliar a influência do canhão final na pressão e vazão da linha lateral do pivô central, concluíram que o EPANET é uma ferramenta útil para a análise de modelos analíticos.

3 METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido no Laboratório de Irrigação do Departamento de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Lavras - UFLA, localizado no município de Lavras – MG (21°13'42" S, 44°59'29" O), conforme mostrado abaixo (figura 3).

Figura 3 – Linha de gotejamento em funcionamento com a realização das coletas de solução em cada um dos gotejadores pré-estabelecidos.



Fonte: Das autoras (2023).

Para a realização do experimento, foi utilizado uma linha de irrigação por gotejamento, com 50 metros, e nela foram definidos 5 pontos de coleta, como ilustrado na figura 4, espaçados com 12,5 metros entre eles. Os pontos, portanto, ficaram dispostos como demonstrado na tabela 1:

Tabela 1– Distribuição dos pontos de coleta.

Ponto 1 (P1)	Início da linha (0 metros)
Ponto 2 (P2)	12,5 metros
Ponto 3 (P3)	25 metros
Ponto 4 (P4)	37,5 metros
Ponto 5 (P5)	Fim da linha (50,0 metros)

Fonte: Das autoras (2023).

Figura 4 – Detalhe de um gotejador avaliado, com identificação de ponto de coleta pela fita na mangueira.



Fonte: Das autoras (2023).

Cada coleta teve a duração de 1 minuto, e foram realizadas em 7 tempos. Portanto, cada repetição teve a duração de 21 minutos de simulação de irrigação, demonstrado na tabela 2.

Tabela 2 - Tempos de coleta.

IDENTIFICAÇÃO	TEMPO DE INÍCIO DA COLETA	PERÍODO DE COLETA
T1	0 min	0 min - 1 min
T2	3 min	3 min - 4 min
T3	6 min	6 min - 7 min
T4	9 min	9 min - 10 min
T5	12 min	12 min - 13 min
T6	15 min	15 min - 16 min
T7	20 min	20 min - 21 min

Fonte: Das autoras (2023).

Foram realizados 4 tratamentos, sendo diferentes percentuais de injeção de fertilizante (1%, 2%, 3% e 4%), e em cada tratamento foram realizadas 3 repetições (R1, R2 e R3).

A água foi coletada em frascos de plástico, que foram previamente lavados com água destilada, a fim de evitar contaminação. Todos os frascos estavam identificados com o tratamento, a repetição, o ponto e o tempo de coleta. Portanto foram utilizados 420 frascos para a realização do experimento.

A solução de fertilizante utilizada, contendo cloreto de potássio, foi preparada com uma concentração de 150g/L, e foi diluída em um recipiente separado da caixa que continha a água de irrigação.

Após a coleta, todos os frascos foram armazenados refrigerados, até a data de análise, a fim de evitar proliferação de algas. Para as análises, os frascos foram retirados do refrigerador com antecedência, para atingir a temperatura ambiente, que é o ideal.

Portanto, em laboratório, foram coletadas as análises de condutividade elétrica da água em cada frasco, e esses dados foram inseridos em uma planilha. A água utilizada na simulação, também foi coletada e teve sua condutividade elétrica analisada.

3.2 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO UTILIZADO

O experimento teve o intuito de simular uma linha de gotejamento de 50 metros. Para tanto foram utilizadas mangueiras de polietileno PN 25 16 mm. Foi adotado o espaçamento de 0,5 metros entre os botões gotejadores. Portanto, foram utilizados 100 gotejadores autocompensantes da marca Rivulis, com vazão de 2 L/h. A estrutura de bombeamento foi composta por uma motobomba Schneider BC-91 1/2 CV, tubulação de 1/2 polegadas e bomba injetora Mix Rite 2504, representado na figura 5, com regulagem de injeção, variando de 1 a 4 % da vazão que passa pelo injetor.

Figura 5 – Injetor modelo Mix Rite 2504, utilizado no experimento para injeção de solução de fertilizantes concentrada.



Fonte: Das autoras (2023).

Para a leitura da condutividade elétrica, em laboratório, foi utilizado um condutivímetro de bancada, modelo SIMPLA-EC-150, representado na figura 6.

Figura 6 – Condutivímetro usado para leitura da condutividade elétrica das amostras.

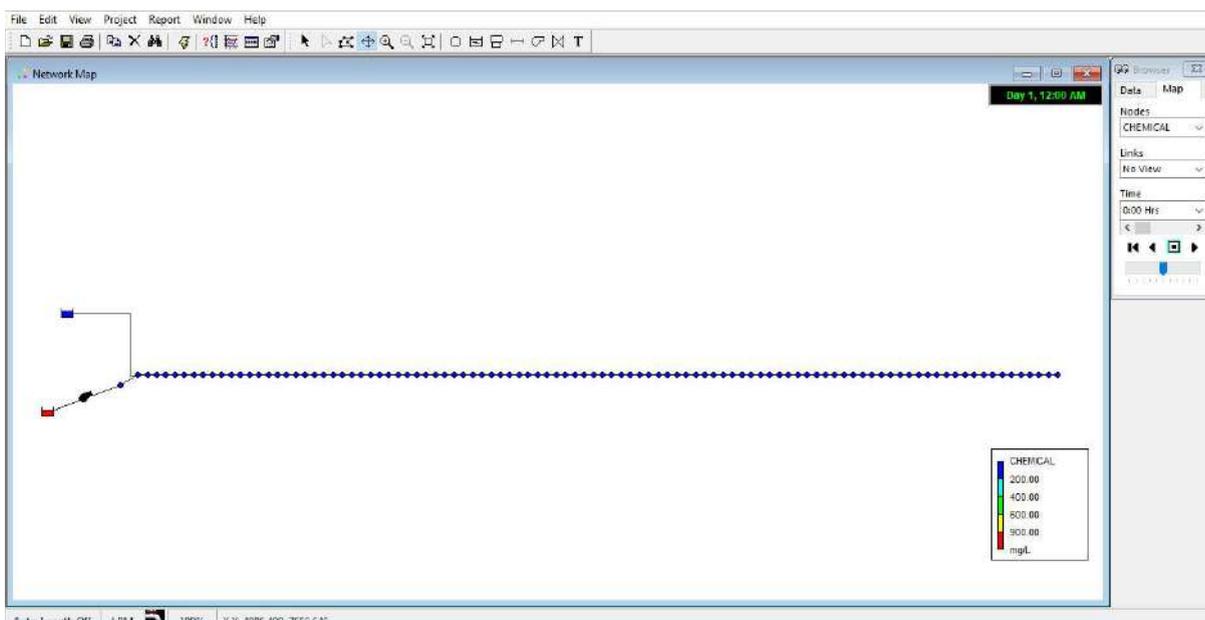


Fonte: Das autoras (2023).

3.3 MODELAGEM NO SOFTWARE EPANET

Com o intuito de simular a condição de campo, os nós foram posicionados com um espaçamento de 50 centímetros. O conjunto motobomba foi substituído por um reservatório com cota fixa de 30 metros e qualidade inicial de 85,6 mg/L de cloreto de potássio. Para substituir o injetor de fertilizante Mixrite, foi adaptada uma bomba que succiona de um reservatório com cota inferior à linha de gotejamento, apresentando qualidade inicial de 150.000 mg/L de cloreto de potássio. A modelagem pode ser observada na figura 7, a vazão da bomba foi proporcional à taxa de injeção do injetor. Portanto, a vazão total da simulação é de 3.33 L/min e as taxas de injeção foram, respectivamente, 0.04, 0.06, 0.09 e 0.13 L/min.

Figura 7 – Representação dos componentes implementados para a modelagem da condição de campo do experimento, dentro do software EPANET.



Fonte: Das autoras (2023).

3.4 CALIBRAÇÃO DO CLORETO DE POTÁSSIO

O cloreto de potássio (KCl) é composto por íons de potássio (K⁺) e íons de cloro (Cl⁻) e é utilizado para corrigir deficiências de potássio no solo, o que pode melhorar a produção de plantas, a qualidade dos frutos e a resistência a doenças.

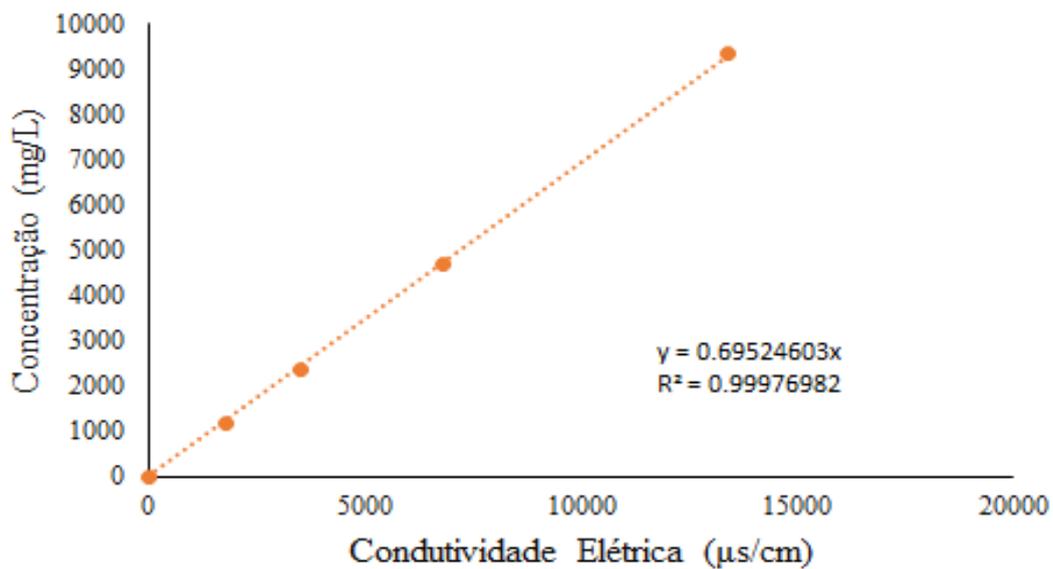
A curva de calibração do cloreto de potássio foi elaborada mediante a utilização de distintas concentrações de KCl dissolvidas em água destilada. Subsequentemente, foram conduzidas as medições da condutividade elétrica da solução, com o propósito de determinar a concentração de cloreto de potássio na solução por meio da análise da condutividade elétrica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação da distribuição de fertilizantes aplicados via irrigação localizada visa determinar o melhor tempo de injeção e a porcentagem de injeção que propicie uma eficiência maior. Para tal finalidade, simulamos uma linha de gotejamento e realizamos a injeção de cloreto de potássio, com o intuito de modificar a condutividade elétrica da água.

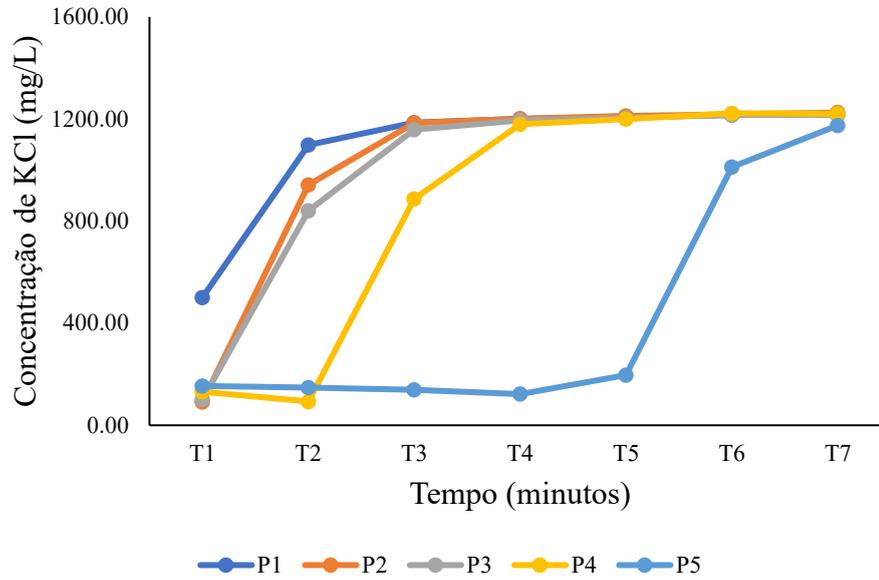
A água utilizada no experimento apresentava uma concentração de 85,6 mg/L de KCl, enquanto o reservatório contendo a solução de KCl exibia uma concentração de 150.000 mg/L. Os valores de concentração de cloreto de potássio foram ajustados de acordo com a equação de calibração, conforme ilustrado na Figura 8. Os resultados subsequentes estão relacionados à condição de campo. Nas Figuras de 9 a 12, encontra-se a representação da distribuição do cloreto de potássio na linha de gotejamento em diferentes intervalos de tempo e pontos de coleta ao longo da linha.

Figura 8 – Curva de calibração ajustada para diferentes concentrações de Cloreto de Potássio, em função da condutividade elétrica.



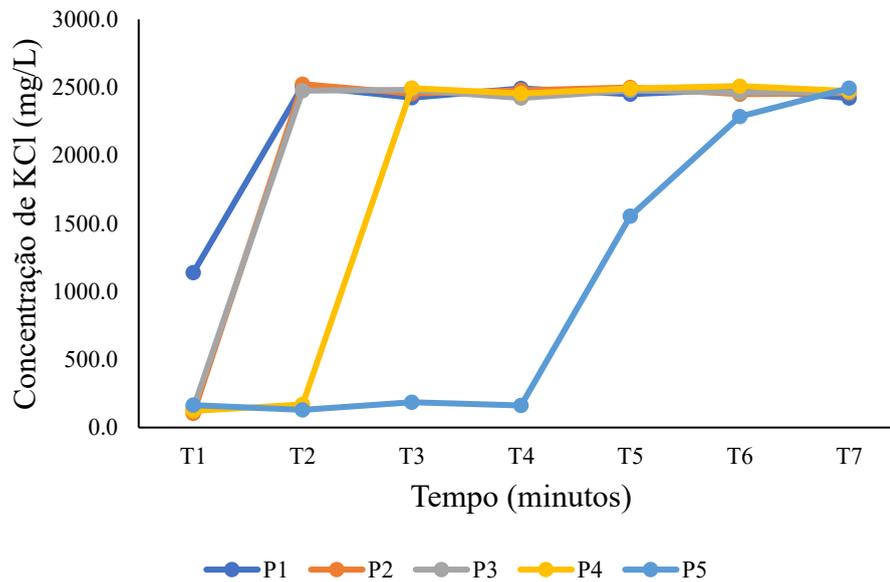
Fonte: Das autoras (2023).

Figura 9 – Variação da concentração de cloreto de potássio ao longo do tempo, para os diferentes pontos de coleta na linha de gotejador, com injeção de 1% de solução.



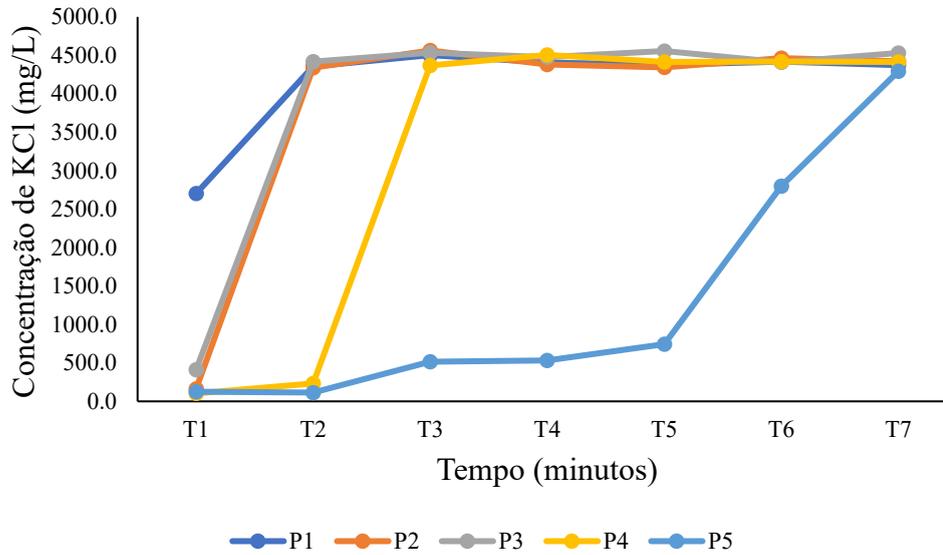
Fonte: Das autoras (2023).

Figura 10 – Variação da concentração de cloreto de potássio ao longo do tempo, para os diferentes pontos de coleta na linha de gotejador, com injeção de 2% de solução.



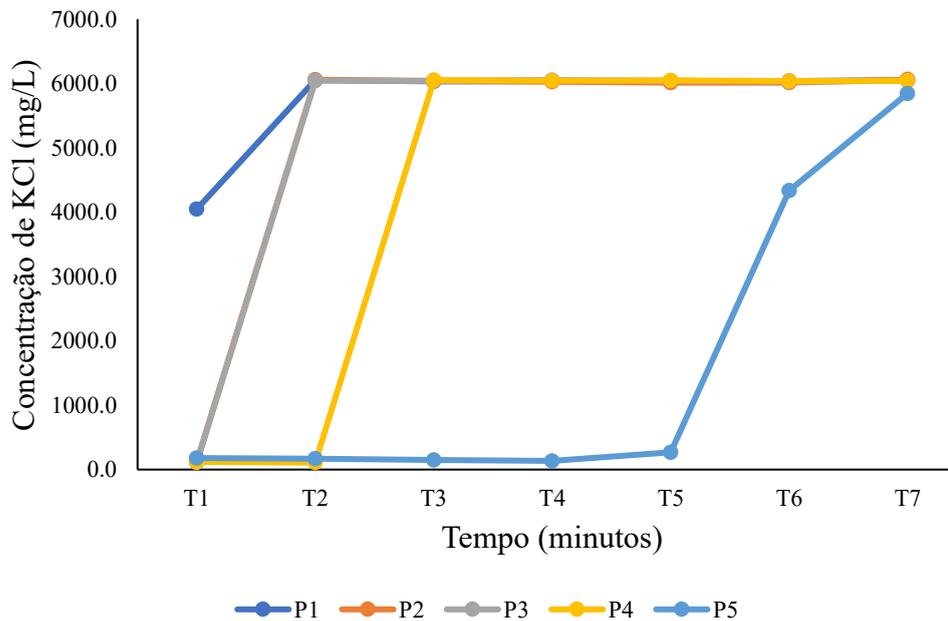
Fonte: Das autoras (2023).

Figura 11 – Variação da concentração de cloreto de potássio ao longo do tempo, para os diferentes pontos de coleta na linha de gotejador, com injeção de 3% de solução.



Fonte: Das autoras (2023).

Figura 12 – Variação da concentração de cloreto de potássio ao longo do tempo, para os diferentes pontos de coleta na linha de gotejador, com injeção de 4% de solução.



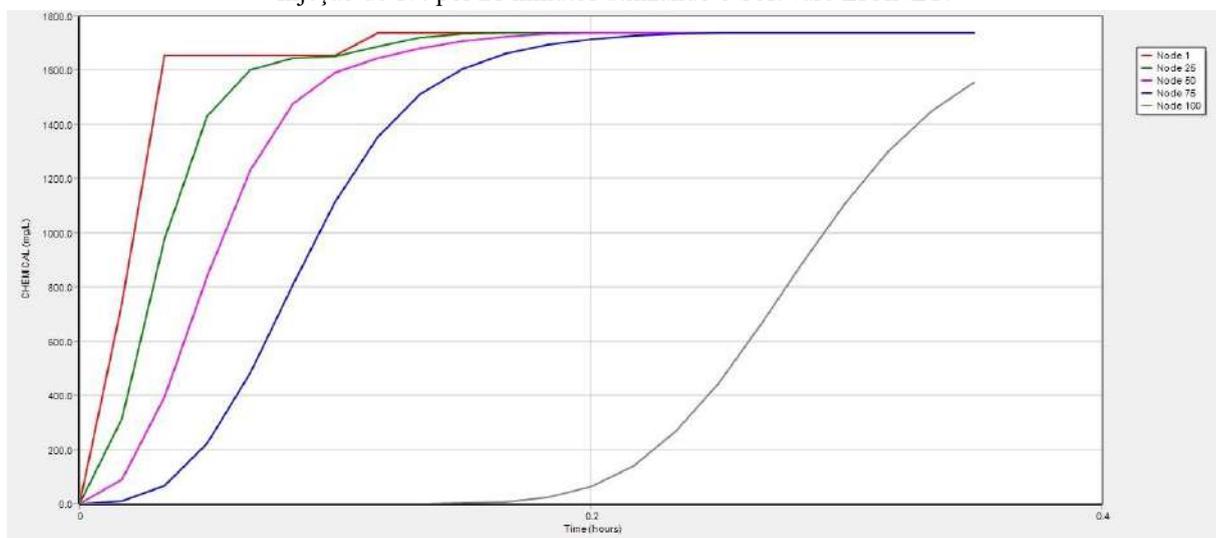
Fonte: Das autoras (2023).

Em todas as porcentagens de injeção, o gotejador final levou aproximadamente 15 minutos para começar a apresentar concentração de cloreto de potássio, enquanto os demais pontos começaram a apresentar concentração de KCl entre 0 e 6 minutos. Essa condição impacta diretamente na uniformidade da aplicação, resultando na disparidade de concentração de nutrientes nas plantas localizadas no extremo da linha. A determinação do tempo apropriado

para manter o sistema de fertirrigação em funcionamento contribui para mitigar essa deficiência.

A utilização do software EPANET permitiu executar a condição de campo como demonstrado no Anexo A, e simular tempos para que o gotejador final tivesse a mesma concentração de cloreto de potássio que o primeiro gotejador. A taxa de injeção de 1%, como ilustrado na figura 13, nos permite verificar que após 21 minutos a concentração de cloreto de potássio não atingiu a linearidade necessária para obter a uniformidade na linha.

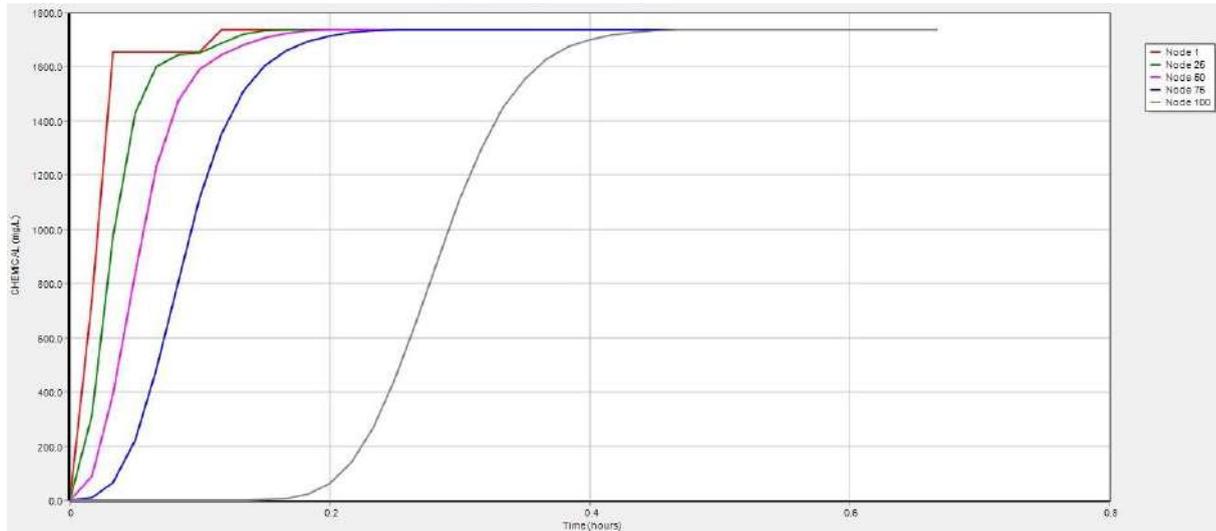
Figura 13 - Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 1% por 21 minutos utilizando o Software EPANET.



Fonte: Das autoras (2023).

Após aproximadamente 40 minutos, a concentração de cloreto de potássio alcançou uniformidade, conforme evidenciado na Figura 14. As tabelas presentes no Anexo B possibilitam a verificação da concentração de KCl a cada minuto. O software demonstrou ser uma ferramenta útil para a análise da distribuição da qualidade da água em sistemas de irrigação localizada.

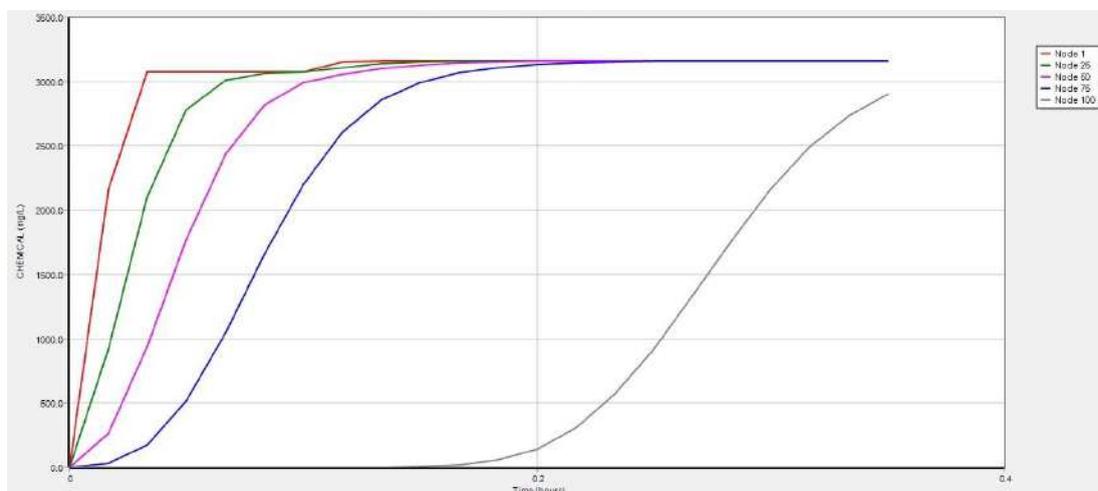
Figura 14 - Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 1% por 40 minutos utilizando o Software EPANET.



Fonte: Das autoras (2023).

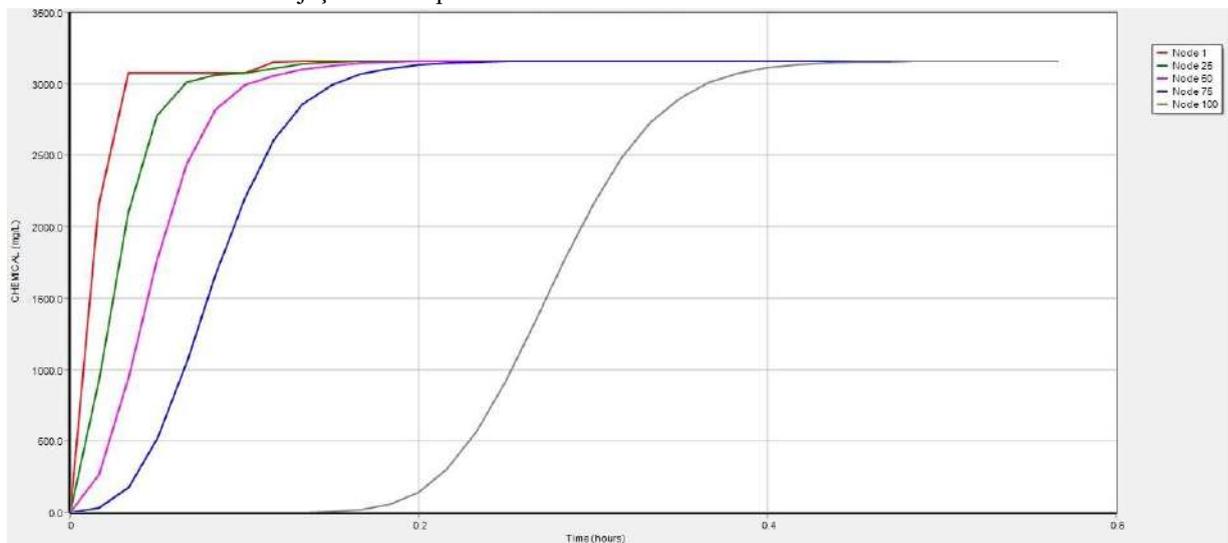
Nos demais percentuais de injeção de fertilizantes, o tempo necessário para alcançar o último nó/gotejador foi reduzido, conforme ilustrado nas Figuras de 15 a 20. Ao analisarmos os valores obtidos no software para cada percentual de injeção, como evidenciado nas tabelas do Anexo B, podemos observar que as taxas de injeção de 2% a 4% são mais vantajosas para utilização, pois demandam menos tempo para alcançar a uniformidade de concentração, resultando em menor consumo de tempo na fertirrigação por setores. Esse tempo gasto para uniformizar a concentração pode ser em decorrência da baixa vazão dos gotejadores utilizados.

Figura 15 - Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 2% por 21 minutos utilizando o Software EPANET.



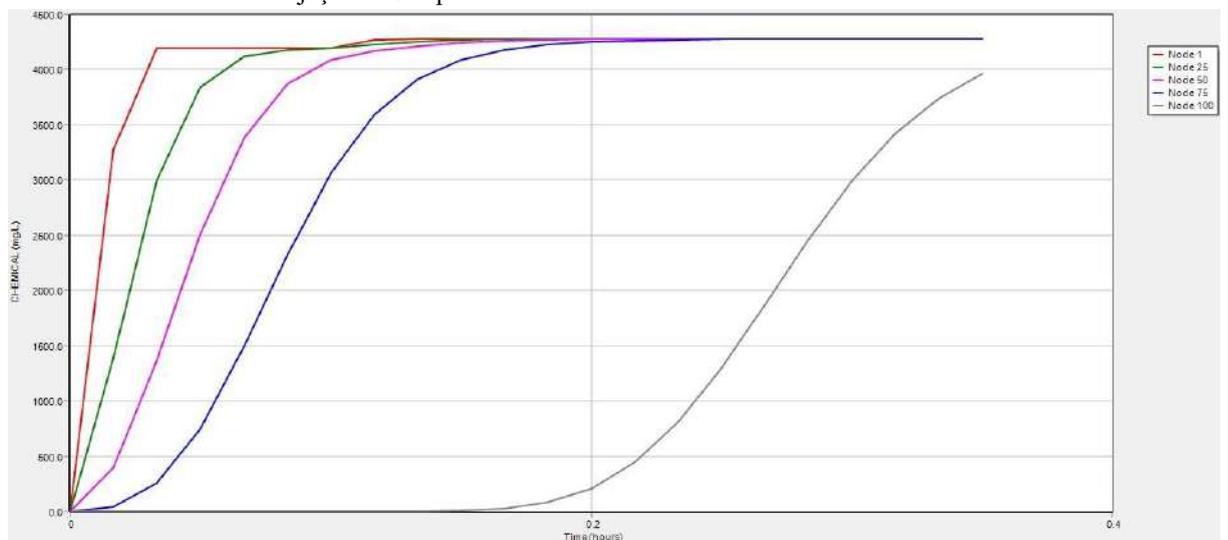
Fonte: Das autoras (2023).

Figura 16 - Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 2% por 34 minutos utilizando o Software EPANET.



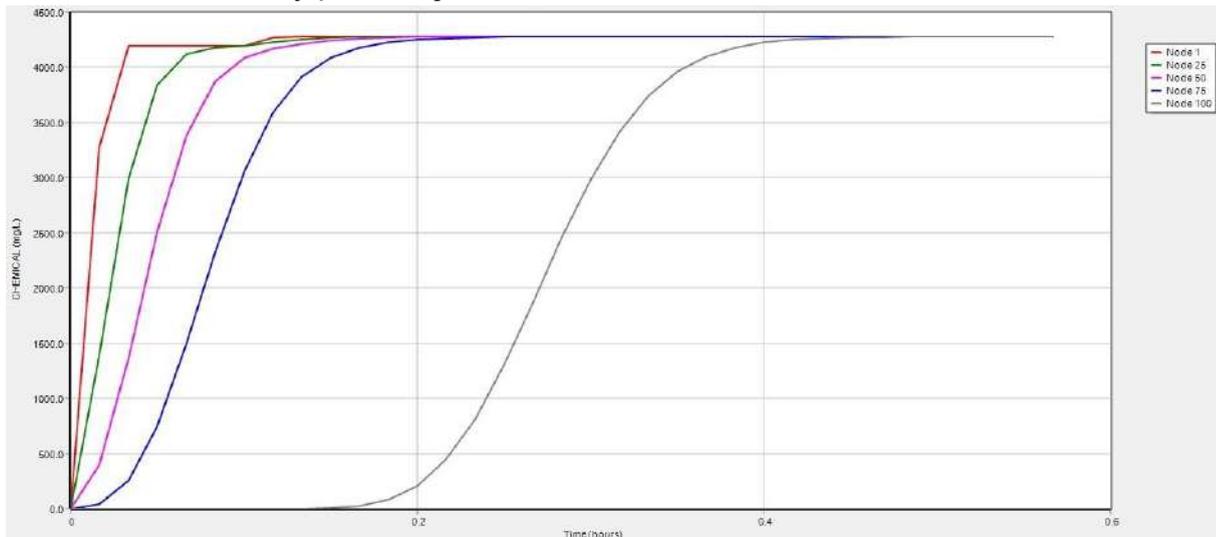
Fonte: Das autoras (2023).

Figura 17 - Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 3% por 21 minutos utilizando o Software EPANET.



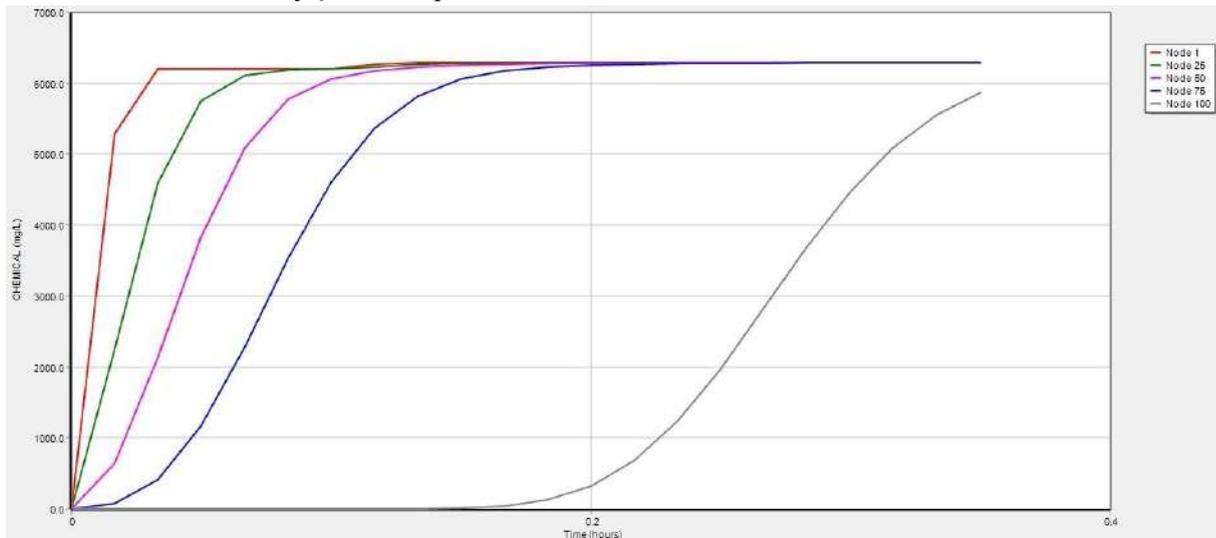
Fonte: Das autoras (2023).

Figura 18 - Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 3% por 34 minutos utilizando o Software EPANET.



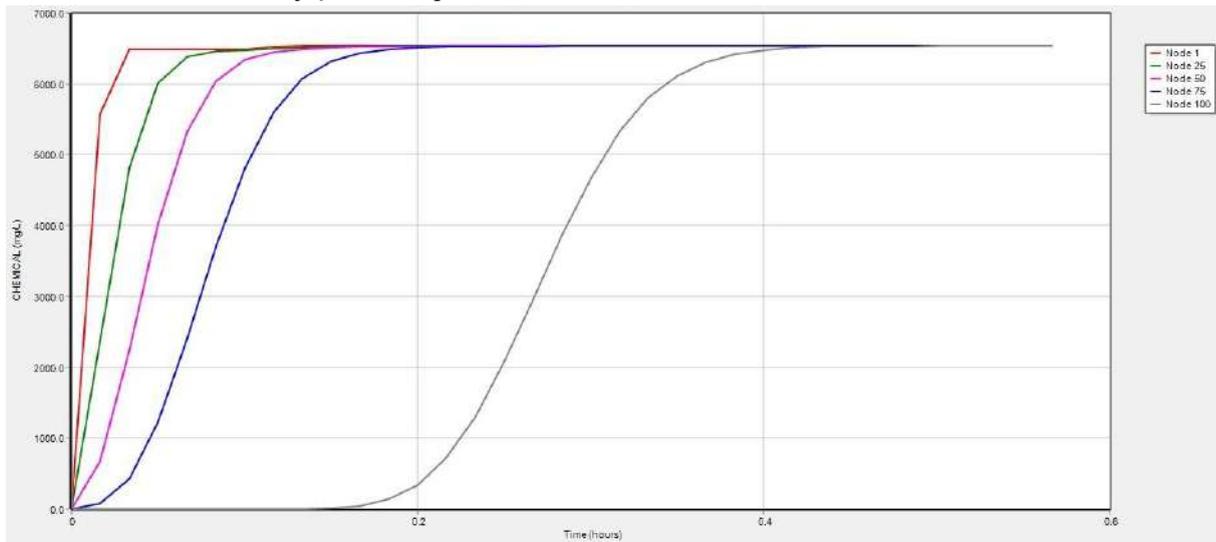
Fonte: Das autoras (2023).

Figura 19 - Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 4% por 21 minutos utilizando o Software EPANET.



Fonte: Das autoras (2023).

Figura 20 - Perfil Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio na Linha de Gotejamento: Simulação com Injeção de 4% por 34 minutos utilizando o Software EPANET.



Fonte: Das autoras (2023).

Os dados obtidos em campo com os dados gerados pelo software apresentam valores próximos. Essa similaridade entre os dados fortalece a confiança na aplicação do software como uma ferramenta eficaz para a tomada de decisões e otimização do processo de fertirrigação.

5 CONCLUSÃO

Os resultados demonstram a influência direta do tempo de avanço sobre a uniformidade na distribuição dos fertilizantes. A análise das simulações conduzidas no software EPANET revelou que a estabilização completa na concentração do fertilizante ao longo da linha de irrigação ocorreria, em média, após 34 minutos de irrigação.

É importante ressaltar que reproduzir em campo os resultados obtidos pelo software demandaria um esforço considerável e extenso. Sua capacidade de modelar e prever o comportamento do sistema proporciona entendimentos significativos sem a necessidade de realizar experimentos práticos exaustivos.

Assim, o software EPANET se configura como uma ferramenta eficiente e útil na análise preditiva do desempenho da fertirrigação, oferecendo informações para otimização e tomada de decisões no manejo de sistemas de irrigação.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Francimar S.; SILVA, Ênio FF.; NETO, Egídio Bezerra.; SOUZA, Amanda ER.; SANTOS, Alexandre N. Nutrientes minerais em pimentão fertirrigado sob lâminas de irrigação e doses de potássio. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 681-687, 2012.

ANDRADE JÚNIOR, Ricardo Ferraz Alvares de. **Dimensionamento ótimo de sistemas de irrigação pressurizados**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal De Pernambuco. 2014.

BAPTISTA, Victor Buono.; COLOMBO, Alberto.; TEIXEIRA, Thiago Henrique Burgarelli.; SANTOS, Pietro André Balbino.; DIOTTO, Adriano Valetim.; FARIA, Lessandro Cool. Influência do canhão final na distribuição de pressão e vazão da linha lateral de um pivô central. **Irriga, Botucatu, Edição Especial Inovagri** –notas técnicas, v. 1, n. 1, p. 8-17, outubro, 2019.

BAPTISTA, Victor Buono.; COLOMBO, Alberto.; BARBOSA, B D S.; ALVARENGA, L A.; FARIA, Lessandro Cool.; ARAUJO, D S A. Uso do epanet 2.0 na determinação da distribuição espacial de pressão em um sistema de irrigação do tipo pivô central. 2017.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2019. 488 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. Biblioteca Universitária. Manual de normalização e estrutura de trabalhos acadêmicos: TCCs, monografias, dissertações e teses. 3. ed. rev., atual. e ampl. Lavras, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/11017>. Acesso em: 06/12/2023.

COELHO, A. M. *et al.* Fertirrigação *In*: COSTA, EF; VIEIRA, RF; VIANA, PA **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA-SPI, p. 201-227, 1994.

CISTY, M. Automated Calibration of Irrigation Projects Simulation Model by Harmony Search Optimization. *In*: International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, Ohrid/Macedonia. 2009. p. 247-256.

CORDEIRO, Gilberto G. **Qualidade de Água para Fins de Irrigação: conceitos básicos e práticos**. Embrapa. 2001.

COSTA et al. (1986), apud, SOARES, J. M.; LEAO, P. C. de S. (Ed.). A vitivinicultura no Semiárido brasileiro. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2009. cap. 11, p. 483-512.

DE ALMEIDA, Otávio Álvares. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

DE OLIVEIRA, Marcus VAM; VILLAS BÔAS, Roberto L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 95-103, 2008.

DE SOUSA, V. F.; SANTOS, FJ de S.; DE ALMEIDA, O. A. Fertirrigação. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005.

FRIZZONE, José Antônio. Irrigação por superfície. **Serie Didática. Departamento de Engenharia Rural**, n. 16, p. 1-160, 2005.

Irrigação: fertirrigação e reúso. / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. – Brasília: Senar, 2019. 64 p; il. 21 cm (Coleção Senar, 254). Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/254-IRRIGA%C3%87%C3%83O.pdf>

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Tomateiro para processamento industrial**: irrigação e fertirrigação por gotejamento. Embrapa Hortaliças. 2002.

OLIVEIRA, Marcus Vinicius Araujo Mello de. Uniformidade de distribuição temporal e espacial do KCL na fertirrigação, em um sistema de irrigação por gotejamento. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas 2002.

OLIVEIRA, Marcus Vinicius Araújo Mello de. Modelo matemático para estimativa do tempo de fertirrigação. 2006. xi, 90 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2006.

ROSSMAN, Lewis A. et al. EPANET 2: **manual do usuário**. ELETROBRÁS. 2000.

SILVA, C. A. DA; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. 2005, n. 8. 17p.

SILVA, Gustavo Henrique da. Fertirrigação potássica por gotejamento no cultivo da batata. 2022.

SOARES, Adilson Rodrigues; MANTOVANI, Everardo Chartuni;RENA, Alemar Braga; SOARES, Antônio Alves; BONOMO, Robson. ESTUDO COMPARATIVO DE FONTES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EMPREGADOS NA FERTIRRIGAÇÃO DO CAFEIEIRO. Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, p. 852-855, 2000.

SOARES, J. M.; LEAO, P. C. *apud* de S. COSTA et al. (1986). A vitivinicultura no Semiárido brasileiro. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2009. cap. 11, p. 483-512.

SOUSA, Geocleber G. de. AZEVEDO, Benito M. de.; OLIVEIRA, Jamille R. R. de.; MESQUITA, Thiago de O.; VIANA, Thales V. de A.; Ó, Laís M. G. do. Adubação potássica aplicada por fertirrigação e pelo método convencional na cultura do amendoim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1055-1060, 2013.

SOUSA, Valdemício F. de et al. Distribuição de fertilizantes em um sistema de fertirrigação por gotejamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, p. 186-189, 2003.

TEIXEIRA, Luiz Antônio Junqueira; NATALE, William; MARTINS, Antônio Lúcio Mello. Nitrogênio e potássio via fertirrigação e adubação convencional-estado nutricional das bananeiras e produção de frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, p. 153-160, 2007.

TESTEZLAF, Roberto. **Irrigação**: métodos, sistemas e aplicações. Faculdade de engenharia agrícola. Universidade Estadual De Campinas. 2017.

TROOIEN, T.P., HILLS, D.J. Application of biological effluent. *In*: LAMM, F.R., AYARS, J.E., N

ANEXO A - COMPORTAMENTO TEMPORAL DA DISTRIBUIÇÃO DE CLORETO DE POTÁSSIO EM AMBIENTE DE CAMPO

Tabela 3 -Variação Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio com Injeção de 1% na Linha de Gotejamento.

	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
Tempo (Minutos)	Concentração (mg/L)				
0:00	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6
0:01	739.94	314.35	89.47	85.6	85.6
0:02	1653.85	976.61	393.31	85.6	85.6
0:03	1653.85	1429.42	836.53	221.68	85.6
0:04	1653.85	1601.16	1230	484.09	85.6
0:05	1653.85	1644.57	1475.43	807.05	85.6
0:06	1653.85	1652.57	1591.7	1114.79	85.6
0:07	1737.13	1689.09	1645.68	1353.19	85.6
0:08	1738.51	1720.64	1681.26	1510.85	85.6
0:09	1738.51	1734.04	1708.21	1605.69	85.6
0:10	1738.51	1737.68	1725.27	1661.54	85.6
0:11	1738.51	1738.39	1733.72	1695.21	85.6
0:12	1738.51	1738.49	1737.05	1715.61	85.6
0:13	1738.51	1738.5	1738.13	1727.39	140.44

0:14	1738.51	1738.51	1738.42	1733.61	266.78
0:15	1738.51	1738.51	1738.49	1736.56	444.15
0:16	1738.51	1738.51	1738.5	1737.81	660.34
0:17	1738.51	1738.51	1738.51	1738.28	892
0:18	1738.51	1738.51	1738.51	1738.44	1112.73
0:19	1738.51	1738.51	1738.51	1738.49	1301.88
0:20	1738.51	1738.51	1738.51	1738.50	1449.44
0:21	1738.51	1738.51	1738.51	1738.50	1555.65

Fonte: Das autoras (2023).

Tabela 4 -Variação Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio com Injeção de 2% na Linha de Gotejamento.

	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
Tempo (Minutos)	Concentração (mg/L)				
0:00	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6
0:01	2160.23	917.74	261.21	85.6	85.6
0:02	3074.14	2105.92	936.14	173.6	85.6
0:03	3074.14	2778.31	1771.75	516.39	85.6
0:04	3074.14	3008.49	2435.83	1049.28	85.6
0:05	3074.14	3063.03	2818.13	1658.09	85.6
0:06	3074.14	3072.66	2988.52	2203.48	85.6
0:07	3151.74	3106.95	3059.24	2603.68	85.6

0:08	3157.98	3138.48	3098.63	2853.98	85.6
0:09	3157.98	3152.8	3126.36	2994.21	85.6
0:10	3157.98	3156.96	3143.9	3069.4	85.6
0:11	3157.98	3157.83	3152.76	3110.39	85.6
0:12	3157.98	3157.96	3156.35	3133.39	144.72
0:13	3157.98	3157.98	3157.55	3146.12	309.6
0:14	3157.98	3157.98	3157.88	3152.75	569.86
0:15	3157.98	3157.98	3157.96	3155.88	922.01
0:16	3157.98	3157.98	3157.98	3157.22	1336.36
0:17	3157.98	3157.98	3157.98	3157.73	1765.35
0:18	3157.98	3157.98	3157.98	3157.91	2160.34
0:19	3157.98	3157.98	3157.98	3157.96	2487.02
0:20	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	2732.25
0:21	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	2901.25

Fonte: Das autoras (2023).

Tabela 5 -Variação Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio com Injeção de 3% na Linha de Gotejamento.

	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
Tempo (Minutos)	Concentração (mg/L)				
0:00	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6

0:01	3278.09	1392.65	396.38	85.6	85.6
0:02	4192	2994.76	1363.39	256.95	85.6
0:03	4192	3839.98	2507.84	748.34	85.6
0:04	4192	4116.17	3384.91	1494.12	85.6
0:05	4192	4179.47	3874.93	2327.91	85.6
0:06	4192	4190.36	4087.93	3060.35	85.6
0:07	4265.14	4222.9	4171.82	3587.91	85.6
0:08	4275.21	4254.42	4214.2	3911.11	85.6
0:09	4275.21	4269.47	4242.55	4087.08	85.6
0:10	4275.21	4274.04	4260.46	4177.49	85.6
0:11	4275.21	4275.03	4269.65	4224.24	85.6
0:12	4275.21	4275.19	4273.45	4249.28	208.7
0:13	4275.21	4275.21	4274.73	4262.76	442.75
0:14	4275.21	4275.21	4275.1	4269.7	808.4
0:15	4275.21	4275.21	4275.19	4272.99	1298.13
0:16	4275.21	4275.21	4275.21	4274.4	1868.44
0:17	4275.21	4275.21	4275.21	4274.94	2452.75
0:18	4275.21	4275.21	4275.21	4275.13	2984.88
0:19	4275.21	4275.21	4275.21	4275.19	3419.81
0:20	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	3741.91

0:21	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	3960.33
------	---------	---------	---------	---------	---------

Fonte: Das autoras (2023).

Tabela 6 -Variação Temporal da Concentração de Cloreto de Potássio com Injeção de 4% na Linha de Gotejamento.

	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
Tempo (Minutos)	Concentração (mg/L)				
0:00	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6
0:01	5290.25	2247.49	639.69	85.6	85.6
0:02	6204.16	4594.68	2132.43	406.98	85.6
0:03	6204.16	5750.99	3832.79	1165.86	85.6
0:04	6204.16	6109.97	5093.24	2294.84	85.6
0:05	6204.16	6189.05	5777.16	3533.59	85.6
0:06	6204.16	6202.23	6066.84	4602.72	85.6
0:07	6269.26	6231.62	6174.46	5359.51	85.6
0:08	6286.22	6263.11	6222.22	5813.95	85.6
0:09	6286.22	6279.47	6251.68	6054.25	85.6
0:10	6286.22	6284.78	6270.27	6172.05	85.6
0:11	6286.22	6285.98	6280.05	6229.17	128.89
0:12	6286.22	6286.19	6284.21	6257.88	323.86
0:13	6286.22	6286.22	6285.66	6272.71	682.41
0:14	6286.22	6286.22	6286.09	6280.22	1237.78

0:15	6286.22	6286.22	6286.19	6283.78	1975.14
0:16	6286.22	6286.22	6286.22	6285.32	2826.18
0:17	6286.22	6286.22	6286.22	6285.92	3690.05
0:18	6286.22	6286.22	6286.22	6286.13	4469.06
0:19	6286.22	6286.22	6286.22	6286.2	5098.83
0:20	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	5559.31
0:21	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	5866.68

Fonte: Das autoras (2023).

**ANEXO B - DINÂMICA TEMPORAL NA UNIFORMIZAÇÃO DA
CONCENTRAÇÃO DE CLORETO DE POTÁSSIO NA LINHA DE GOTEJAMENTO.**

Tabela 7 -Estabilização da Concentração de Cloreto de Potássio com 1% de Injeção na Linha de Gotejamento ao Longo do Tempo.

	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
Tempo (Minutos)	Concentração (mg/L)				
0:00	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6
0:01	739.94	314.35	89.47	85.6	85.6
0:02	1653.85	976.61	393.31	85.6	85.6
0:03	1653.85	1429.42	836.53	221.68	85.6
0:04	1653.85	1601.16	1230	484.09	85.6
0:05	1653.85	1644.57	1475.43	807.05	85.6
0:06	1653.85	1652.57	1591.7	1114.79	85.6
0:07	1737.13	1689.09	1645.68	1353.19	85.6
0:08	1738.51	1720.64	1681.26	1510.85	85.6
0:09	1738.51	1734.04	1708.21	1605.69	85.6
0:10	1738.51	1737.68	1725.27	1661.54	85.6
0:11	1738.51	1738.39	1733.72	1695.21	85.6
0:12	1738.51	1738.49	1737.05	1715.61	85.6
0:13	1738.51	1738.5	1738.13	1727.39	140.44

0:14	1738.51	1738.51	1738.42	1733.61	266.78
0:15	1738.51	1738.51	1738.49	1736.56	444.15
0:16	1738.51	1738.51	1738.5	1737.81	660.34
0:17	1738.51	1738.51	1738.51	1738.28	892
0:18	1738.51	1738.51	1738.51	1738.44	1112.73
0:19	1738.51	1738.51	1738.51	1738.49	1301.88
0:20	1738.51	1738.51	1738.51	1738.5	1449.44
0:21	1738.51	1738.51	1738.51	1738.5	1555.65
0:22	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1627.24
0:23	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1673.08
0:24	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1701.3
0:25	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1718.1
0:26	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1727.78
0:27	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1733.13
0:28	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1735.96
0:29	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1737.37
0:30	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1738.03
0:31	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1738.32
0:32	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1738.44
0:33	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1738.48

0:34	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1738.5
0:35	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1738.5
0:36	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1738.5
0:37	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1738.5
0:38	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1738.5
0:39	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1738.5
0:40	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51	1738.51

Fonte: Das autoras (2023).

Tabela 8 -Estabilização da Concentração de Cloreto de Potássio com 2% de Injeção na Linha de Gotejamento ao Longo do Tempo.

	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
Tempo (Minutos)	Concentração (mg/L)				
0:00	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6
0:01	2160.23	917.74	261.21	85.6	85.6
0:02	3074.14	2105.92	936.14	173.6	85.6
0:03	3074.14	2778.31	1771.75	516.39	85.6
0:04	3074.14	3008.49	2435.83	1049.28	85.6
0:05	3074.14	3063.03	2818.13	1658.09	85.6
0:06	3074.14	3072.66	2988.52	2203.48	85.6
0:07	3151.74	3106.95	3059.24	2603.68	85.6
0:08	3157.98	3138.48	3098.63	2853.98	85.6

0:09	3157.98	3152.8	3126.36	2994.21	85.6
0:10	3157.98	3156.96	3143.9	3069.4	85.6
0:11	3157.98	3157.83	3152.76	3110.39	85.6
0:12	3157.98	3157.96	3156.35	3133.39	144.72
0:13	3157.98	3157.98	3157.55	3146.12	309.6
0:14	3157.98	3157.98	3157.88	3152.75	569.86
0:15	3157.98	3157.98	3157.96	3155.88	922.01
0:16	3157.98	3157.98	3157.98	3157.22	1336.36
0:17	3157.98	3157.98	3157.98	3157.73	1765.35
0:18	3157.98	3157.98	3157.98	3157.91	2160.34
0:19	3157.98	3157.98	3157.98	3157.96	2487.02
0:20	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	2732.25
0:21	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	2901.25
0:22	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	3009.58
0:23	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	3075.09
0:24	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	3113.03
0:25	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	3134.29
0:26	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	3145.9
0:27	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	3152.05
0:28	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	3155.2

0:29	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	3156.75
0:30	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	3157.46
0:31	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	3157.78
0:32	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	3157.91
0:33	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	3157.96
0:34	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98	3157.98

Fonte: Das autoras (2023).

Tabela 9 -Estabilização da Concentração de Cloreto de Potássio com 3% de Injeção na Linha de Gotejamento ao Longo do Tempo.

	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
Tempo (Minutos)	Concentração (mg/L)				
0:00	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6
0:01	3278.09	1392.65	396.38	85.6	85.6
0:02	4192	2994.76	1363.39	256.95	85.6
0:03	4192	3839.98	2507.84	748.34	85.6
0:04	4192	4116.17	3384.91	1494.12	85.6
0:05	4192	4179.47	3874.93	2327.91	85.6
0:06	4192	4190.36	4087.93	3060.35	85.6
0:07	4265.14	4222.9	4171.82	3587.91	85.6
0:08	4275.21	4254.42	4214.2	3911.11	85.6
0:09	4275.21	4269.47	4242.55	4087.08	85.6

0:10	4275.21	4274.04	4260.46	4177.49	85.6
0:11	4275.21	4275.03	4269.65	4224.24	85.6
0:12	4275.21	4275.19	4273.45	4249.28	208.7
0:13	4275.21	4275.21	4274.73	4262.76	442.75
0:14	4275.21	4275.21	4275.1	4269.7	808.4
0:15	4275.21	4275.21	4275.19	4272.99	1298.13
0:16	4275.21	4275.21	4275.21	4274.4	1868.44
0:17	4275.21	4275.21	4275.21	4274.94	2452.75
0:18	4275.21	4275.21	4275.21	4275.13	2984.88
0:19	4275.21	4275.21	4275.21	4275.19	3419.81
0:20	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	3741.91
0:21	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	3960.33
0:22	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	4097.57
0:23	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	4178.58
0:24	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	4224.16
0:25	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	4248.93
0:26	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	4262.06
0:27	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	4268.84
0:28	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	4272.25
0:29	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	4273.9

0:30	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	4274.66
0:31	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	4274.99
0:32	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	4275.13
0:33	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	4275.19
0:34	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21	4275.21

Fonte: Das autoras (2023).

Tabela 10 -Estabilização da Concentração de Cloreto de Potássio com 4% de Injeção na Linha de Gotejamento ao Longo do Tempo.

	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
Tempo (Minutos)	Concentração (mg/L)				
0:00	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6
0:01	5290.25	2247.49	639.69	85.6	85.6
0:02	6204.16	4594.68	2132.43	406.98	85.6
0:03	6204.16	5750.99	3832.79	1165.86	85.6
0:04	6204.16	6109.97	5093.24	2294.84	85.6
0:05	6204.16	6189.05	5777.16	3533.59	85.6
0:06	6204.16	6202.23	6066.84	4602.72	85.6
0:07	6269.26	6231.62	6174.46	5359.51	85.6
0:08	6286.22	6263.11	6222.22	5813.95	85.6
0:09	6286.22	6279.47	6251.68	6054.25	85.6
0:10	6286.22	6284.78	6270.27	6172.05	85.6

0:11	6286.22	6285.98	6280.05	6229.17	128.89
0:12	6286.22	6286.19	6284.21	6257.88	323.86
0:13	6286.22	6286.22	6285.66	6272.71	682.41
0:14	6286.22	6286.22	6286.09	6280.22	1237.78
0:15	6286.22	6286.22	6286.19	6283.78	1975.14
0:16	6286.22	6286.22	6286.22	6285.32	2826.18
0:17	6286.22	6286.22	6286.22	6285.92	3690.05
0:18	6286.22	6286.22	6286.22	6286.13	4469.06
0:19	6286.22	6286.22	6286.22	6286.2	5098.83
0:20	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	5559.31
0:21	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	5866.68
0:22	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	6055.97
0:23	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	6164.85
0:24	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	6224.19
0:25	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	6255.28
0:26	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	6271.14
0:27	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	6279.06
0:28	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	6282.93
0:29	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	6284.77
0:30	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	6285.61

0:31	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	6285.98
0:32	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	6286.13
0:33	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	6286.19
0:34	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22	6286.22

Fonte: Das autoras (2023).