

JOSÉ RUBENILDO DOS SANTOS

DESEMPENHO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR FAIXAS CULTIVADAS
COM MILHO (*Zea mays* L.) PARA SILAGEM, OPERANDO COM ÁGUAS
RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA

Tese apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção
do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2001

JOSÉ RUBENILDO DOS SANTOS

DESEMPENHO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR FAIXAS CULTIVADAS
COM MILHO (*Zea mays* L.) PARA SILAGEM, OPERANDO COM ÁGUAS
RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA

Tese apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, para obtenção do título de
“Magister Scientiae”.

APROVADA: 19 de outubro de 2001

Prof. Fernando Alves Pinto
(Conselheiro)

Prof. Paulo Roberto Cecon
(Conselheiro)

Prof. Mauro Aparecido Martinez

Prof. Wilson Deniculi

Prof. Rubens Alves de Oliveira
(Orientador)

A Deus, por tudo.

Aos meus pais, José Ferreira e Antônia.

Aos meus irmãos, Ester, Carlos, Robson, Edmar, José Geraldo e Rodrigo.

À Daniela, pelo incentivo e amor.

AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro.

Ao professor Rubens Alves de Oliveira, pelos ensinamentos e pela orientação.

Aos professores conselheiros Fernando Alves Pinto, Paulo Roberto Cecon e Antônio Teixeira de Matos, pelas contribuições e sugestões.

À Universidade Federal de Viçosa, por meio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de desenvolver o trabalho.

À Daniela Silva, pelo apoio, incentivo e esforço para realização deste trabalho.

Aos colegas dos cursos de Graduação e Pós-Graduação, pela amizade e pelo convívio ao longo dessas duas etapas de minha formação profissional.

Aos funcionários da Área Experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem, Sr. Francisco, Sr. Ataíde, Carlos Henrique, Geraldo e Ciríaco, pelo trabalho prestado.

À Polly, pela valiosa ajuda na correção lingüística e pelos momentos de descontração no “46”.

Àqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

JOSÉ RUBENILDO DOS SANTOS, filho de José Ferreira dos Santos e Antônia Anício dos Santos, nasceu em João Monlevade, MG, em 04 de setembro de 1970.

Ingressou na Universidade Federal de Viçosa em 1990, graduando-se em Engenharia Agrícola em setembro de 1996. Neste mesmo ano, trabalhou na Fazenda Alto Cafezal, atuando nas áreas de irrigação e mecanização, em Patrocínio, MG.

Em março de 1997, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em nível de Mestrado, concentrando seus estudos na área de Irrigação e Drenagem.

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Características quantitativas e qualitativas dos resíduo da suinocultura.....	5
2.2. Formas de tratamento de resíduos da suinocultura.....	9
2.3. Tratamento de águas residuárias por escoamento superficial...	12
2.4. Irrigação por superfície.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
APÊNDICE.....	62

RESUMO

SANTOS, José Rubenildo dos; M.S. Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2001. **Desempenho de sistema de irrigação por faixas cultivadas com milho (*Zea mays*, L.) para silagem, operando com águas residuárias de suinocultura.** Orientador: Rubens Alves de Oliveira. Conselheiros: Fernando Alves Pinto, Paulo Roberto Cecon e Antônio Teixeira de Matos.

A suinocultura tecnificada concentra grande número de animais em pequenas áreas, visando ao aumento da produção e da renda do produtor. No entanto, as águas residuárias da suinocultura são fontes de poluição do ambiente, particularmente das coleções de água. Apesar de apresentarem elevado potencial poluidor, essas águas podem se constituir em alternativa econômica para a propriedade rural, sem comprometimento da qualidade ambiental, se manejadas adequadamente. A partir da década de 70, a atividade suinícola em Minas Gerais, principalmente na região da Zona da Mata Norte, sofreu grande expansão. A Zona da Mata apresenta relevo bastante acidentado, que dificulta a aplicação adequada de águas residuárias no solo por meio de sistemas de irrigação. Assim, foi conduzido um experimento numa encosta localizada no Campus da Universidade Federal de Viçosa, visando avaliar a produtividade de milho para silagem e os parâmetros de desempenho do sistema de irrigação por faixas fechadas, com turno de rega de sete dias, usando-se água residuária da suinocultura. Na encosta foram construídas 16

faixas com 18 m de comprimento, 4 m de largura, 2% de declividade longitudinal e declividade transversal nula. Foram testadas as taxas de aplicação de 0,012; 0,024; 0,036; e 0,048 m³ min⁻¹ m⁻¹, usando-se água residuária bruta e água residuária peneirada. O experimento foi montado no esquema fatorial 4 x 2 (quatro taxas de aplicação e duas concentrações de águas residuárias), em um delineamento inteiramente casualizado com duas repetições. Os parâmetros de desempenho avaliados foram eficiência de aplicação, eficiência de armazenamento, perda por percolação e eficiência de déficit excesso. Foram ajustados modelos matemáticos para descrever as fases de avanço e recessão e a infiltração, em aplicações sucessivas, segundo metodologia descrita por BERNARDO (1995). A análise dos dados experimentais mostrou que, em geral, o peneiramento da água residuária da suinocultura não afetou a produtividade e os parâmetros de desempenho do sistema de irrigação por faixas. O aumento da vazão da água residuária da suinocultura proporcionou redução nos valores de eficiência de armazenamento e perda por percolação, além de provocar aumento da eficiência de aplicação e de déficit excesso. A taxa de aplicação de 0,048 m³ min⁻¹, por metro de largura de faixa, foi a que proporcionou melhor desempenho ao sistema. As taxas de aplicação de 0,012 e 0,024 m³ min⁻¹ m⁻¹ não são recomendáveis. A produtividade do milho para silagem não foi afetada pela taxa de aplicação de água residuária aplicada.

ABSTRACT

SANTOS, José Rubenildo dos; M.S. Universidade Federal de Viçosa, October 2001. **Performance of a “closed-lane” irrigation system, using the residual water of the swine culture, cultivated with corn for silage**, Adviser: Rubens Alves de Oliveira. Committee members: Fernando Alves Pinto, Paulo Roberto Cecon and Antônio Teixeira de Matos.

The tecnified swine culture concentrates a great number of animals in small areas, with the objective of increasing the production and monthly income of the producer. However, the residual water of the swine culture is a source of environmental pollution, specially, the collections of water. In spite of presenting a high polluting potential, when adequate methods are applied, this water can represent an economical alternative for the country estate, without jeopardizing the environmental quality. Since the 1970's, the swine culture activities in the state of Minas Gerais, Brazil, in particular, the North of the Zona da Mata region, have suffered a great expansion. The Zona da Mata region presents a very rugged salience which makes it difficult to apply the adequate residual water in the soil by means of irrigating systems. Thus, an experiment was conducted on a hillside located in the Campus of the Universidade Federal de Viçosa, with the objective of evaluating the crop of maize for silage and performance parameters of the "closed-lane" irrigation system, with watering shifts of seven days, using the residual water of the swine culture. Sixteen

tracks measuring 18 m in length, 4m in width, 2% of longitudinal declivity and nil transversal declivity. The application rates of 0.012, 0.024, 0.036, and 0.048 m³ min⁻¹ m⁻¹, using rough and drizzled residual water were tested. The experiment was set based on the factorial scheme 4 x 2 (four application rates and two concentrations of residual water) in a completely randomized design with two replicates. The analysis of the experimental data have shown that, generally, the drizzling of the residual water from the swine culture did not affect the production and the parameters of performance of the "lane" irrigation system. The increase of the residual water outflow from the swine culture provided a reduction in the values of the storage efficiency and loss by percolation, besides promoting an increase of the efficiency of application and of deficit excess. The rate of application of 0.048 m³ min⁻¹, for meter of width of lane, was the one that promoted the best performance of the system. The application rates of 0.012 and 0.024 m³ min⁻¹ m⁻¹ are not recommended. The production of maize for silage was not affected by the application rate of the applied residual water.

1. INTRODUÇÃO

Detentor do terceiro rebanho mundial, o Brasil tem, na suinocultura, um dos setores mais expressivos de sua atividade pecuária. Visando ao aumento de produtividade e à redução dos custos de produção, o setor sofreu, ao longo dos anos, profundas alterações tecnológicas nos seus sistemas de criação, modificando substancialmente as instalações, o manejo, a alimentação e a genética. A partir daí, com o confinamento e a intensificação da suinocultura ocorridos nas últimas décadas, ocorreu aumento da produtividade animal, passando-se a produzir grandes quantidades de águas residuárias em pequenas extensões de terra.

As águas residuárias de suínos criados em regime de confinamento são importantes fontes de poluição ambiental, particularmente das coleções de água. De maneira geral, a maioria dos empresários ligados à atividade de confinamento de animais ainda pratica o lançamento de grandes quantidades de águas residuárias em cursos d'água sem efetuar a redução do seu poder poluente em níveis aceitáveis.

No Brasil, os órgãos federais, estaduais e municipais, responsáveis pela qualidade do ambiente e saúde pública, têm atuado com rigor no cumprimento da legislação pertinente, sob pena de sanções para os infratores, o que tem preocupado empresários dos diversos setores da economia nacional, descompromissados com a conservação ambiental. Nesse contexto, a instalação, a manutenção e a expansão de atividades empresariais relacionadas à criação intensiva de animais ficam restritas não apenas a

aspectos econômicos, mas também à capacidade do empresário rural de se adequar à legislação ambiental vigente.

Os suinocultores, cientes da degradação ambiental causada pelo lançamento direto de águas residuárias da suinocultura nas coleções de água e diante da ação fiscalizadora implementada por órgãos públicos responsáveis pela qualidade do ambiente, buscam soluções específicas no sentido de dispor e aproveitar os resíduos.

A substituição do lançamento de águas residuárias da suinocultura em coleções de água por técnicas de disposição mais adequadas depende de vontade e decisão política para investimentos em áreas de pesquisa e assistência técnica, bem como de fontes de crédito para o suinocultor. O envolvimento e a ação integrada de todos os segmentos da sociedade, visando criar condições em curto e médio prazos, para que os produtores possam implementar sistemas eficientes de manejo e disposição de águas residuárias, são fundamentais para se atingirem os objetivos de preservação ambiental.

Considerando-se a escassez de informações técnicas específicas relativas à disposição de águas residuárias de suinoculturas no solo, cabe à pesquisa o papel de geradora de conhecimentos que possam contribuir para a solução destes problemas, propondo alternativas que sejam técnica e economicamente viáveis para a propriedade rural e ambientalmente aceitas pela sociedade.

A Zona da Mata Norte do Estado de Minas Gerais é um dos principais pólos produtores de suínos do país, sendo, também, grande produtora de águas residuárias. Essa região possui relevo bastante acidentado, que dificulta o manejo dessas águas, quando se pretende fazer sua disposição no solo para fertirrigação de pastagens e outras culturas, por causa do risco da ocorrência de escoamento superficial não controlado ao longo das encostas.

Neste trabalho foi proposto o sistema de irrigação por faixas fechadas, como uma alternativa para disposição desses resíduos nas condições de relevo da Zona da Mata Mineira, objetivando avaliar os parâmetros de desempenho desse sistema operando com dois tipos de águas residuárias da suinocultura, bruta e peneirada, aplicando-se quatro diferentes vazões.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A água é o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva, no homem mais de 60% de seu peso é constituído por água e em certos animais aquáticos pode chegar a 98%. A água é fundamental para a manutenção da vida, razão pela qual é importante saber como ela se distribui no nosso planeta: água do mar, 97%; geleiras, 2,2%; e água doce, 0,8%. Portanto, da água disponível, apenas 0,8% pode ser utilizada mais facilmente para abastecimento público; desta pequena fração, apenas 3% apresentam-se na forma de água superficial, a qual é de extração mais fácil. Esses valores ressaltam a grande importância de se preservarem os recursos hídricos na terra e evitar a contaminação da pequena fração mais facilmente disponível (VON SPERLING, 1996).

A inter-relação entre o uso da água e a qualidade requerida para a mesma é direta. Pode-se considerar que o uso mais nobre seja representado pelo abastecimento doméstico de água, o qual requer a satisfação de diversos critérios de qualidade. De forma oposta, o uso menos nobre é o da simples diluição dos despejos, o qual não possui requisito especial em termos de qualidade. No entanto, deve-se lembrar que diversos corpos d'água têm usos múltiplos previstos para os mesmos, decorrendo daí a necessidade da satisfação simultânea de diversos critérios de qualidade. Tal é o caso, por exemplo, de represas construídas com finalidade de abastecimento de água, geração de energia, recreação, irrigação e outros.

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade quanto da qualidade da água. No entanto, o aspecto da qualidade tem sido desprezado, em razão de, no passado, as fontes de água terem sido abundantes, de boa qualidade e fácil utilização.

As águas residuárias costumam ser classificadas em dois grupos principais: aquelas provenientes de instalações sanitárias e de instalações industriais. As primeiras são constituídas essencialmente de despejos domésticos, uma parcela de águas pluviais, águas de infiltração etc. Grandes volumes de água residuária são também gerados em indústrias, sendo que adquirem características próprias em função do processo industrial empregado (JORDÃO, 1995). No meio rural, volumes consideráveis de águas residuárias são originários da criação de suínos e bovinos, principalmente quando criados em regime de confinamento.

De acordo com JORDÃO (1995), a caracterização física de águas residuárias pode ser obtida por meio das seguintes determinações: matéria sólida, temperatura, odor, cor e turbidez. As características químicas podem ser classificadas em dois grupos: da matéria orgânica e matéria inorgânica. Quanto às características biológicas, normalmente são utilizados parâmetros biológicos indiretos na determinação de organismos indicadores de poluição.

Das características físicas, o teor de matéria sólida é o de maior importância, em termos de dimensionamento e controle de operações das unidades de tratamento (JORDÃO, 1995). PESCOD (1992) afirma que os sólidos totais das águas residuárias domésticas podem se apresentar dissolvidos ou em suspensão, sendo comum determinar para ambas as categorias as concentrações de sólidos fixos e sólidos voláteis. Além disso, é comum proceder-se à determinação da fração sedimentável dos sólidos totais nestas águas.

Trabalhos recentes têm mostrado que a agropecuária é um fator de relevante importância na poluição das águas, do ar e do solo. Os dejetos de animais, independentemente de suas qualidades e dos benefícios que possam trazer, são considerados, por muitos pesquisadores, substâncias indesejáveis e de difícil manejo (SUTTON, 1994).

As águas residuárias da suinocultura, até a década de 70, não constituíam fator preocupante, uma vez que a concentração de animais era

pequena e os solos das propriedades tinham capacidade para absorvê-las ou eram utilizadas como adubo orgânico. Atualmente, com o desenvolvimento da suinocultura, tem havido a produção de grandes quantidades de águas residuárias, as quais têm se tornado grande fonte de poluição da água e do ar. Os problemas de poluição ambiental ocasionados pelas águas residuárias da suinocultura podem ser diminuídos com adoção de diferentes técnicas de tratamento ou de aproveitamento, destacando-se a utilização de biodigestores aeróbios e anaeróbios, a separação de fases líquida e sólida, o uso de dejetos em piscicultura integrada, o uso de lagoas de estabilização e a disposição no solo.

2.1. Características quantitativas e qualitativas dos resíduos da suinocultura

De acordo com KONZEN (1983), as águas residuárias da suinocultura compõem-se de dejeções (fezes e urina), água desperdiçada pelos bebedouros e de higienização, resíduos de ração, pêlos e poeira decorrentes do processo criatório.

Em consequência das modificações no sistema de exploração de suínos, com o abandono do sistema totalmente extensivo e a adoção do semiconfinamento e confinamento, tem ocorrido grande concentração de animais em pequenas áreas, ocasionando, com isto, novos problemas que constituem desafios para criadores, técnicos e pesquisadores, destacando-se o manejo, o tratamento ou o aproveitamento da água residuária da suinocultura. Neste contexto, foram desenvolvidos vários estudos para quantificar o volume de águas residuárias produzidas na suinocultura.

CONRAD e MAYROSE (1971) afirmaram que o valor diário de dejetos produzidos por um suíno varia de 5 a 8% de seu peso vivo, sendo estes constituídos por 15 dag kg⁻¹ de matéria seca (MS). Este resultado foi semelhante ao descrito por BRUMM et al. (1977), com produção de dejetos aproximada de 6,7 a 8,4% do peso vivo dos suínos em fases de crescimento e terminação. A quantidade de dejetos produzidos varia de acordo com o desenvolvimento ponderal dos suínos, apresentando valores decrescentes de 8,5 a 4,9% de peso vivo por dia, considerando a faixa dos 15 aos 100 kg de peso vivo (Jelinek, 1977; citado por OLIVEIRA, 1993).

Estudos sobre produção, manejo e processamento de água residuária da suinocultura têm evidenciado que animais com 45 kg de peso produzem de 3,9 a 4,2 kg de dejetos/animal/dia, sendo que 45 a 75 dag kg⁻¹ do peso total desses resíduos são constituídos pelas fezes (Overcash e Hummenik, 1976, citados por KONZEN, 1980) e 30 a 40 dag kg⁻¹, pela urina (Taiganides e Hanzen, 1966, citados por CONRAD e MAYROSE, 1971).

Fatores como tamanho corporal, tipo de dieta, temperatura ambiental, saúde e diferenças individuais influenciam o consumo total de água. Em situações livres de estresse, a ingestão diária corresponde de 5 a 6 dag kg⁻¹ do peso corporal. Geralmente, o consumo de água pelos animais é de 2 a 2,5 kg por cada kg de matéria seca de alimento consumido. Animais mais jovens consomem mais água que os adultos, em função da maior perda pelos pulmões, superfície corporal e da menor capacidade em concentrar a urina (PERDOMO, 1995).

A quantidade total de dejetos produzidos cresce com o aumento da produção de urina, que, por sua vez, está diretamente relacionada com a quantidade de água ingerida. Um suíno na faixa de 15 a 100 kg produz, em média, 0,21 m³ de água residuária por mês (KONZEN, 1983; OLIVEIRA, 1994).

Ao longo dos anos, verificou-se que o volume de água residuária produzido em um sistema de produção de suínos é influenciado pela densidade de animais, pelo tipo de piso, pelo tipo de bebedouro, pela tipologia da edificação e pelo manejo da água para a operação de limpeza. De acordo com Sobestiansky (1994), citado por OLIVEIRA (1994), o gasto de água na limpeza das instalações é de 6 litros por porca/dia e 2 litros por animal/dia na terminação. Por outro lado, Thorton (1974), citado por KONZEN (1983), constatou que o desperdício de água nos bebedouros tipo chupeta pode elevar até 10% o volume da água residuária produzida diariamente pelos suínos. Este mesmo autor observou que suínos de 22 a 90 kg, recebendo ração seca, produziam 4,54 a 9,08 litros de dejetos (fezes + urina) e aqueles que recebiam ração umedecida, 9,08 a 18,16 litros.

Instalações hidráulicas mal dimensionadas e bebedouros ineficientes ou inadequados, para determinada fase de desenvolvimento do animal, também contribuem para aumentar o volume de água residuária produzido em um sistema de criação (OLIVEIRA, 1994).

Os suinocultores, cientes de degradação ambiental causada pelo lançamento direto de águas residuárias da suinocultura nas coleções de água e diante da ação fiscalizadora implementada por órgãos públicos responsáveis pela qualidade do ambiente, buscam soluções específicas no sentido de dispor ou reutilizar esses resíduos.

Existem várias maneiras de aproveitar os dejetos da suinocultura, desde a forma bruta até as processadas por meio de técnicas de desidratação, separação de sólidos, peletização, compostagem, silagem ou tratamento químico.

As diferentes técnicas de manejo adotadas podem influenciar sua composição química das águas residuárias produzidas a qual pode variar, enormemente, em função da quantidade de água e urina incorporadas, do tipo de alimentação utilizada, da idade dos animais e do sistema de coleta e de estocagem adotados, ou seja, o modo como são manuseadas e armazenadas (OLIVEIRA, 1994).

ORR et al. (1971) avaliaram a composição química de águas residuárias da suinocultura e encontraram valores de 21,6 dag kg⁻¹ de proteína bruta, 1,0 dag kg⁻¹ de potássio, 0,26 dag kg⁻¹ de sódio, 2,5 dag kg⁻¹ de cálcio, 1,6 dag kg⁻¹ de fósforo e 800 ppm de cobre. Valores semelhantes para proteína bruta (20,62 dag kg⁻¹), sódio (0,20 dag kg⁻¹), cálcio (2,7 dag kg⁻¹) e fósforo (2,06 dag kg⁻¹) foram obtidos por EGGUN e CHRISTENSEN (1974). Estes mesmos autores encontraram valores de 7,50 dag kg⁻¹ de extrato etéreo, 18,10 dag kg⁻¹ de fibra bruta, 15,80 dag kg⁻¹ de matéria mineral, 0,6 dag kg⁻¹ de magnésio, 0,09 dag kg⁻¹ de ferro e 0,06 dag kg⁻¹ de zinco. Já KORNEGAY et al. (1977), estudando a utilização de esterco seco de suínos, determinaram que estes continham 24,0 dag kg⁻¹ de proteína bruta, 15,0 dag kg⁻¹ de fibra bruta, 2,7 dag kg⁻¹ de cálcio, 2,1 dag kg⁻¹ de fósforo, 0,9 dag kg⁻¹ de magnésio e 1,3 dag kg⁻¹ de potássio. Trabalhando com esterco seco de matrizes e suínos em crescimento, STANOGLIAS e PEARCE (1978) obtiveram valores de 14,8 dag kg⁻¹ de proteína bruta, 23,5 dag kg⁻¹ de fibra bruta, 5,9 dag kg⁻¹ de extrato etéreo, 20,4 dag kg⁻¹ de matéria mineral, 4.111 kcal/kg de energia bruta e 554 mg kg⁻¹ de cobre.

Por outro lado, HARMON et al. (1973) encontraram, em dejetos da suinocultura, valores, com base na matéria seca, de 49,0 dag kg⁻¹ de proteína

bruta, 1,42 dag kg⁻¹ de lisina, 1,96 dag kg⁻¹ de treonina, 0,77 dag kg⁻¹ de metionina e 0,28 dag kg⁻¹ de triptofano, além de altas concentrações de minerais, como cálcio (3,33 dag kg⁻¹), fósforo (3,83 dag kg⁻¹), magnésio (1,49 dag kg⁻¹), sódio (2,75 dag kg⁻¹), potássio (4,14 dag kg⁻¹), ferro (550,70 dag kg⁻¹), cobre (7,10 dag kg⁻¹) e zinco (114,80 dag kg⁻¹).

Estudos realizados por KONZEN (1983), utilizando dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejados na forma líquida, proporcionaram valores de 8,89 dag kg⁻¹ de MS, 1,21 dag kg⁻¹ de fibra bruta, 391,26 kcal/kg de energia bruta, 3,78 dag kg⁻¹ de proteína bruta, 0,25 dag kg⁻¹ de fósforo e 0,57 dag kg⁻¹ de cálcio, baseados na matéria natural. Quando expressos na matéria seca, os valores foram de 13,40 dag kg⁻¹ de fibra bruta, 4.351,35 kcal/kg de energia bruta, 42,93 dag kg⁻¹ de proteína bruta, 6,35 dag kg⁻¹ de cálcio e 2,76 dag kg⁻¹ de fósforo. As variações na porcentagem de matéria seca podem estar associadas ao conteúdo de água e à quantidade de urina presentes nos dejetos, enquanto as diferenças encontradas nos valores de proteína bruta, às diferenças nas rações e, principalmente, à presença ou não de urina.

Segundo QUEIROZ (2000), a concentração média diária de nutrientes determinada semanalmente para água residuária da suinocultura resultou em valores de 469,09 dag kg⁻¹ de N total, 258,43 dag kg⁻¹ de P, 111,46 dag kg⁻¹ de K, 40,09 dag kg⁻¹ de Na, 463,50 dag kg⁻¹ de Ca, 50,03 dag kg⁻¹ de Mg, 40,32 dag kg⁻¹ de Zn, 280,62 dag kg⁻¹ de Fe e 3,42 dag kg⁻¹ de Cu.

As fezes de animais contêm vários tipos de microrganismos patogênicos e parasitos, em níveis que dependem do grau de infecção ou da infestação do rebanho, podendo contaminar o solo e o ar. A presença de organismos danosos à saúde humana e animal deve ser considerada quando as águas residuárias são usadas para alimentação animal (HRUBANT et al., 1972; JACKHMOLA et al., 1988).

As águas residuárias de animais das diferentes espécies contêm de 10⁸ a 10¹⁰ microrganismos por grama de matéria seca e podem conter *Salmonella*, outros microrganismos patogênicos e ovos de vermes (MINER et al., 1967; HRUBANT et al., 1972; HENNING e FLACHOWSKY, 1982; DIÁZ et al., 1991). Os ovos de nematelmintos, como *Trechostrongilus axei*, *Ostertagia*

ostertagia e *Cooperia oncophora*, são excretados nas fezes e podem reinfestar os animais (CIORDIA e ANTHONY, 1969).

Não tem sido verificada a ocorrência de doenças em consequência da utilização de dejetos de suinocultura na alimentação animal. Contudo, causa preocupação o risco potencial representado pelos microrganismos patogênicos quando dispersos na água e no solo. Em vista disso, têm sido estudados métodos de tratamento, visando reduzir o potencial patogênico das águas residuárias.

2.2. Formas de tratamento de resíduos da suinocultura

Segundo VON SPERLING (1996), a decisão quanto ao processo a ser adotado para o tratamento das fases líquida e sólida deve ser derivada fundamentalmente de um balanceamento entre critérios técnicos e econômicos, com apreciação dos méritos quantitativos e qualitativos de cada alternativa. Se a decisão quanto ao aspecto econômico pode parecer relativamente simples, o mesmo pode não ocorrer quanto aos aspectos técnicos. Ademais, os pontos técnicos são muitas vezes inatingíveis e, em grande número de situações, a decisão final pode assumir um caráter de subjetividade. Para que a decisão conduza realmente a uma alternativa mais adequada para a configuração em análise, os critérios ou pesos devem ser atribuídos a diversos aspectos, vinculados essencialmente à realidade em foco. Não há fórmulas generalizadas para tal e, ainda que o lado econômico seja fundamental, deve-se lembrar que nem sempre a melhor alternativa é simplesmente a que apresenta o menor custo em estudos econômicos financeiros.

Vários métodos de tratamento de dejetos da suinocultura visando a sua utilizá-los de forma racional, aumentar a sua palatabilidade, destruir os agentes patogênicos e reduzir os odores e a proliferação de moscas, têm sido propostos, como peneiramento, secagem natural ou artificial, compostagem, uso de lagoas de estabilização e outros. Os níveis de tratamento vão desde o preliminar até o terciário, sendo o primeiro deles correspondente à retirada de sólidos grosseiros e o último, à remoção de poluentes não suficientemente

removidos no tratamento secundário, no caso de tratamento terciário, ou de poluentes específicos, no caso de tratamento avançado.

De acordo com Green e Kramer (1979), citados por OLIVEIRA (1993), o fósforo existente na água é o fosfato, na forma de ortofosfatos e polifosfatos. Os fosfatos, juntamente com outros nutrientes, contribuem para a eutrofização dos mananciais de água. A aplicação no solo de águas residuárias contendo fosfatos parece ser a melhor solução. Entretanto, a excessiva aplicação de fosfatos, além do nível requerido para o crescimento vegetal, pode aumentar suas quantidades em águas superficiais, causando contaminação. O monitoramento dos fosfatos é importante sob todas as formas, perto das descargas de águas residuárias.

A precipitação com uso de produtos químicos é justificada na remoção do fósforo nas águas residuárias da suinocultura, quando estes não são aproveitados na fertilização dos solos ou quando se procede à separação de fases, utilizando-se parte como fertilizante (fase sólida) e tratando-se a outra parte (fase líquida) para descarga em lagos, rios etc.

Os produtos mais usados na precipitação do fósforo (Loehr, 1974, citado por OLIVEIRA, 1993) são a cal, o alumínio e os sais de ferro, havendo preferência para o uso da cal, em função do baixo custo e da facilidade de aquisição.

A utilização de tratamento químico deve levar em consideração a necessidade de grande demanda de produto químico para realização do processo e a quantidade de resíduos produzidos para serem tratados.

A disposição das águas residuárias da suinocultura nos solos agrícolas é recomendável, porém requer uma combinação harmoniosa dos princípios da ciência dos solos, saúde pública e hidrologia (TAIGANIDES, 1977).

MATOS et al. (1995) relatam que a incorporação dos resíduos de granja suinícola ao solo permite economia de fertilizantes, além de contribuir para melhorar suas condições químicas, físicas e biológicas e elevar a produtividade das culturas. Entretanto, os autores advertem que deve ser feita de forma cuidadosa, para evitar a contaminação das águas com nitrato e do solo e das plantas com metais pesados; a salinização e a depreciação das propriedades físico-químicas do solo; e o aumento da incidência de agentes patogênicos ao homem e animais.

Segundo WILKINSON (1979), as águas residuárias, de modo geral, são fertilizantes que possuem muitas características reconhecidas e aceitas para seu uso com sucesso na produção agrícola, desde que se proceda à análise de alguns itens:

a) as águas residuárias da suinocultura possuem grande variação no teor de água e na quantidade de nutrientes para as plantas;

b) as águas residuárias da suinocultura contêm, geralmente, baixos teores de nutrientes requeridos pelas plantas em comparação aos fertilizantes comerciais;

c) as águas residuárias da suinocultura contêm altas porcentagens de carbono, o qual serve de alimento da meso e macrofauna e, também, dos microrganismos presentes no solo (ativadores da vida no solo); e

d) por causa do alto teor de água e carbono, as águas residuárias da suinocultura apresentam grande volume, sendo altos os custos de manuseio, estocagem e aplicação por unidade de nutrientes utilizados pelas plantas, em comparação aos fertilizantes comerciais.

ALCARDE et al. (1989) relatam que é muito importante distinguir-se bem a eficiência dos fertilizantes minerais e orgânicos. Comparando-se os conceitos de fertilizante e condicionador, verifica-se que os materiais orgânicos se enquadram muito melhor no segundo, pois sua ação é muito mais eficaz no aumento da porosidade, abrasão, retenção de água, atividade microbiana e capacidade de retenção de cátions do que como fornecedor de nutrientes. Isto porque os materiais orgânicos contêm nutrientes vegetais em baixas concentrações, necessitando-se de grandes quantidades desses produtos para funcionarem como fertilizantes. Isto fica limitado pela disponibilidade de produto e pelo custo, principalmente do transporte.

VAN RAIJ (1981) ratifica esta afirmação mencionando que a matéria orgânica do solo não é apenas uma fonte de nutrientes. Talvez, tão ou mais importantes sejam as notáveis propriedades da natureza coloidal, que são decorrentes de sua estrutura orgânica complexa, aliada a uma fina subdivisão de partículas. A matéria orgânica atua na agregação de partículas, conferindo ao solo condições favoráveis de arejamento e friabilidade, além de aumentar a retenção de água e ser responsável, em grande parte, pela capacidade de troca de cátions.

Para as plantas utilizarem os nutrientes contidos no esterco, é necessária a sua mineralização, isto é, a transformação de um elemento que faz parte de um composto orgânico para elemento mineral simples, que poderá ser útil para as plantas, já que elas somente absorvem nutrientes sob esta forma (BALDISSERA, 1991).

Segundo SCHERER et al. (1984), os adubos orgânicos apresentam, em geral, maior efeito residual no solo que os de origem mineral, o que pode ser explicado pela lenta mineralização dos compostos orgânicos, tornando os nutrientes disponíveis em maior período de tempo. Dessa forma, os nutrientes ficam menos sujeitos às reações químicas do solo, ao contrário do que acontece com os adubos minerais. No caso específico do nitrogênio, o adubo orgânico tende a suprir este nutriente por mais tempo com a mineralização lenta dos compostos orgânicos, enquanto o elemento mineral pode ser mais facilmente perdido por lixiviação e volatilização.

A escolha do método de irrigação a ser usado em cada área deve basear-se na viabilidade técnica e econômica do projeto e nos seus benefícios sociais. Em geral, os sistemas de irrigação por superfície são os de menor custo, por unidade de área, os de aspersão de custo médio e os de gotejamento de maior custo (BERNARDO, 1995).

2.3. Tratamento de águas residuárias por escoamento superficial

A disposição de águas residuárias sobre o solo apresenta, segundo TAYLOR e NEAL (1982), uma série de vantagens, podendo-se citar, entre outras, benefício agrícola, baixo investimento, pequeno custo de operação e baixo consumo de energia. Estima-se que essa forma de tratamento representa de 30 a 50% do custo do tratamento convencional.

Segundo COURACCI FILHO (1991), no sistema de infiltração percolação, a remoção dos poluentes das águas residuárias se dá por meio da filtração, pelo solo, das substâncias contidas nas águas residuárias. Este método de tratamento ocupa pequena área, não incluindo vegetação, exigindo que existam condições adequadas para ocorrer rápida infiltração, não sendo recomendável para águas com altas concentrações de sólidos.

A aplicação da água residuária no solo pode ser feita por aspersores de média ou de alta pressão ou por tubos perfurados (na maioria dos casos por tubos janelados). A superfície do solo para escoamento da água residuária deve ser plana e uniforme, com declividade variando de 2 a 8% (COURACCI FILHO, 1991).

A taxa de aplicação deve variar conforme as características da água residuária a ser tratada. Na aplicação de efluentes da indústria alimentícia e do esgoto doméstico bruto, o valor da taxa está compreendido entre 1 e 2 cm d⁻¹ e, no caso de esgoto doméstico, após tratamentos primário e secundário, de 1,50 a 3,00 e 1,50 a 6,00 cm d⁻¹, respectivamente (SMITH, 1982).

O escoamento das águas residuárias sobre gramados tem sido utilizado há vários anos como tratamento secundário de esgotos municipais na Austrália, obtendo-se redução de cerca de 95% na quantidade de sólidos em suspensão e na DBO₅ e remoções de 70 a 90% e 50 a 60% nas concentrações de nitrogênio e fósforo, respectivamente (BRAILE e CAVALCANTI, 1979). No Brasil, o seu emprego tem ocorrido, recentemente, com aplicações de águas residuárias de indústria de citros, açucareira, entre outras. COURACCI FILHO e FIGUEIREDO (1995) obtiveram eficiência superior a 80% na remoção da DBO₅ de águas residuárias de indústria de laticínios, tratados por escoamento sobre o solo.

FIGUEIREDO (1985) afirmou que o processo de escoamento superficial no solo, para tratamento de esgotos doméstico e industrial, tem demonstrado alta eficiência na remoção de material orgânico, sólidos suspensos, nutrientes e metais pesados. Outra vantagem apontada pelo autor é o poder depurador de esgoto no estado bruto, sendo os resultados melhores que aqueles obtidos com esgotos que receberam tratamento primário. HAWKINS et al. (1995) avaliaram o processo de escoamento superficial para tratamento do efluente da segunda célula de lagoa anaeróbia de águas residuárias da suinocultura. No experimento, foram utilizadas duas declividades (5 e 11%) e duas taxas de aplicação (0,33 e 0,99 m³ m⁻¹ h⁻¹). A água residuária foi aplicada três vezes por semana, durante duas horas, por um período de seis meses. Foram realizadas amostragens do efluente e do solo nas profundidades de 0,30; 0,90; e 1,50 m. Esses autores concluíram, por meio de balanço de massa, que o sistema é eficiente na redução das concentrações de N, P e K das águas residuárias, que

foram de 69, 72 e 64% na declividade de 11% e 77, 79 e 74% na declividade de 5%, respectivamente. Entretanto, nas rampas com declividade de 11%, encontraram incremento de 1,7 vezes na concentração de nitrato.

O objetivo primário de se utilizar o solo como meio de tratamento de águas residuárias é o aproveitamento do filtro natural constituído pelas plantas e microrganismos, juntamente com as propriedades de adsorção química e física do solo, para promover a remoção dos sólidos, da carga orgânica, dos nutrientes e dos microrganismos patogênicos das águas residuárias (HUBBARD et al., 1987). A depuração é decorrente da interceptação dos sólidos em suspensão pelas plantas e pelo solo, além da oxidação do material orgânico promovida por bactérias que se estabelecem no colo das plantas e no próprio solo.

CAMPELO (1999) avaliou a influência de aplicações sucessivas de águas residuárias de granjas de suínos sobre as características físico-hídricas e químicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo. Foram utilizadas quatro diferentes concentrações de sólidos totais (2,40; 7,00; 16,30; e 26,90 g L⁻¹). O autor verificou aumento nas concentrações de Ca, P, Cu e Zn na camada de 10 a 20 cm. Observou, também, aumento nas concentrações de K, Ca e Mg ao longo do perfil, que foi maior na superfície do que em profundidade. Houve tendência de aumento do pH do solo nas diversas camadas estudadas, exceto no solo em que foi aplicada água residuária com concentração de 26,90 g L⁻¹ de sólidos totais.

2.4. Irrigação por superfície

A irrigação por superfície compreende os métodos de irrigação nos quais a condução da água do sistema de distribuição (canais ou tubulações) até qualquer ponto de infiltração, dentro da parcela a ser irrigada, é feita diretamente sobre a superfície do solo.

Os métodos mais comuns de irrigação por superfície são: irrigação por sulco, irrigação por faixa e irrigação por inundação intermitente ou permanente (WALKER e SKOGERBOE, 1987; SOARES e OLIVEIRA, 2001).

A irrigação por sulco consiste na condução da água em pequenos canais ou sulcos situados paralelos às fileiras das plantas, durante o tempo necessário para que a água infiltrada ao longo do sulco seja suficiente para umedecer o solo na zona radicular da cultura. Para que se possa obter boa eficiência de irrigação com este método, é necessário que o terreno seja sistematizado (BERNARDO, 1995).

A irrigação por faixas consiste na aplicação de água em faixas de terra, geralmente com declividade longitudinal, delimitadas por diques ou taipas. Sempre que possível a declividade transversal deve ser nula, para se obter melhor uniformidade de distribuição da água. A perda de água, por escoamento superficial no final da área, é uma característica da irrigação por faixa e a vazão de entrada, Q_0 , é comumente expressa por unidade de largura de faixa (SOARES e OLIVEIRA, 2001).

Irrigação por inundação é o método de irrigação em que a aplicação d'água é feita em bacias ou tabuleiros, os quais são áreas quase planas, de tamanho variado, limitadas por diques ou taipas. Esse método é um dos mais simples e mais usados, inclusive no Brasil, e adapta-se à irrigação de diversos tipos de culturas, sendo o principal método de irrigação usado na cultura do arroz (BERNARDO, 1995).

A irrigação por superfície pode ser dividida em quatro fases distintas: avanço, reposição, depleção e recessão (SOARES e OLIVEIRA, 2001). A fase de avanço começa com o início da aplicação da água na área irrigada e termina quando a água atinge o final da área. A fase de reposição, também conhecida como fase de armazenamento, começa quando a frente de avanço atinge o final da área e termina quando a vazão é cortada no início da área. Neste instante, começa a fase de depleção, com tempo de duração relativamente curto, a qual termina quando é exposto qualquer ponto da base da seção de escoamento ao longo da área. A fase de recessão começa quando a profundidade da água sobre qualquer ponto da superfície é reduzida a zero e termina quando não há mais água sobre a superfície do solo (BASSET e FITZSMONS, 1976; SOARES e OLIVEIRA, 2001).

As fases de avanço e recessão definem o início e o final do processo de irrigação e podem ser representadas analiticamente e graficamente. A diferença entre os tempos de avanço e recessão de qualquer ponto, ao longo

do comprimento da área, obtida pelas curvas ou equações de avanço e de recessão, é denominada tempo de oportunidade e corresponde ao tempo em que ocorre infiltração naquele ponto (SOARES e OLIVEIRA, 2001). O ideal seria que a duração das fases de avanço e recessão fosse infinitamente pequena ou de igual duração para que a lâmina de água aplicada fosse uniforme, reduzindo a perda de água por percolação profunda, que é uma das características da irrigação por superfície.

A infiltração da água no solo é o parâmetro mais importante em dimensionamento e avaliação de sistemas de irrigação por superfície (HOLZAPFEL et al., 1988) e a validade de qualquer procedimento desenvolvido no sentido de dimensionar ou manejar um sistema de irrigação por superfície é dependente da precisão dos dados de infiltração.

A infiltração da água no solo, durante uma irrigação por superfície, é função de grande número de fatores, muitos deles sujeitos a variações espacial e temporal (IZADI e WALLENDER, 1985). Vazão de entrada, declividade longitudinal da base de escoamento, geometria e rugosidade da seção de escoamento, perímetro molhado, profundidade da água sobre a superfície, umidade inicial do solo, rachaduras ou pequenas cavernas no solo, características físico-químicas do perfil do solo e qualidade da água de irrigação afetam a infiltração de alguma forma. Portanto, em termos práticos, é muito difícil considerar todas as variáveis na descrição da infiltração ocorrida durante uma irrigação.

A infiltração afeta não apenas a quantidade de água que infiltra no solo, mas também o avanço da água no mesmo (WALKER e SKOGERBOE, 1987).

O volume total de água infiltrado pode ser determinado com o auxílio da regra dos trapézios, descrita por SOARES (2001), conhecendo o perfil de infiltração da água no solo ao longo da área.

Existem vários métodos e maneiras para determinar a velocidade de infiltração de água em um solo. Para que o seu valor seja significativo, o método de determiná-la deve ser condizente com o tipo de irrigação que será usado naquela área. Para isso, podem-se classificar os diversos tipos de irrigação, segundo a infiltração, em dois grupos: quando a infiltração se processa apenas na vertical, o que ocorre nas irrigações por aspersão e

inundações, e quando a infiltração ocorre tanto na direção vertical como horizontal, como é o caso da irrigação em sulco.

A velocidade de infiltração nos solos diminui com o aumento do tempo de aplicação d'água. Inicialmente, ela é relativamente alta e diminui gradativamente, até um valor quase constante. Nesse ponto, onde a variação da velocidade de infiltração é muito pequena, praticamente constante, ela é chamada de velocidade de infiltração básica.

O valor da velocidade de infiltração básica de um solo é um fator de grande importância em irrigação, pois indica quais os métodos de irrigação possíveis de serem usados naquele solo (BERNARDO, 1995).

A velocidade de infiltração da água no solo tem sido representada por várias equações analíticas ou empíricas. Das equações empíricas, as duas mais amplamente utilizadas são a de Kostiakov e a de Kostiakov modificada ou Kostiakov-Lewis, equações 1 e 2, respectivamente:

$$I = k t^a \quad (1)$$

$$I = k t^a + Vib t \quad (2)$$

em que

I = infiltração acumulada, L;

t = tempo de oportunidade de infiltração, T;

k e a = parâmetros de ajuste;

Vib = velocidade de infiltração básica do solo, L T⁻¹.

O parâmetro k tem maior representação na descrição da infiltração ocorrida nos primeiros momentos do processo e, portanto, depende das condições em que o solo se encontra, por exemplo, estrutura e umidade do solo imediatamente antes do início da irrigação. Solos com baixa umidade e alta porcentagem de macroporos têm valores de k elevados. O parâmetro a indica a forma com que a velocidade de infiltração se reduz com o tempo. Assim, depende de possíveis alterações na estrutura do solo em decorrência do seu molhamento: solos que se expandem quando molhados e tendem a tornar-se impermeáveis têm valores de a relativamente pequenos, enquanto solos

com estrutura estável têm valores de a superior a 0,6, podendo aproximar-se de 1,0 (GAVANDE, 1972; SILVA e DUARTE, 1980; PEREIRA, 1991).

As características de infiltração de água no solo podem ser determinadas diretamente no campo por meio de infiltrômetros ou simuladores, utilizando-se modelos computacionais.

Os infiltrômetros mais comuns são os de anéis concêntricos, de sulco, de bacia, de entrada e saída e de reciclagem.

A irrigação por superfície, embora seja o mais comum e mais antigo método de irrigação de que se tem notícia, é também a que apresenta menores níveis de desempenho.

A irrigação por superfície requer superfícies uniformes e com declividade não muito acentuada. Assim, terrenos com declividade acentuada limitam o uso da irrigação por superfície, permitindo somente irrigação por aspersão e por gotejamento. A uniformidade da superfície do terreno é também muito importante. A irrigação por superfície exige áreas uniformes, sem elevações e depressões, que possam evitar a falta ou acúmulo de água. Para colocar a superfície do terreno em condições de se praticar eficiente irrigação por superfície, há, em geral, necessidade de sistematizar o terreno. Quanto maior for a desuniformidade natural do terreno, mais altos serão os custos e maiores os problemas, com a sistematização. Dependendo do seu custo e da profundidade dos cortes a serem realizados, expondo o subsolo, não se recomenda irrigação por superfície, podendo-se indicar aspersão ou gotejamento.

O tipo de solo da área a ser irrigada é importante, pois solos com baixa capacidade de retenção de água exigem irrigações leves e freqüentes, as quais são de difícil manejo na irrigação por superfície e de fácil manejo na irrigação por aspersão e por gotejamento.

No Brasil, os projetos de irrigação por superfície geralmente apresentam baixos índices de eficiência quanto ao uso de água (SOARES, 2001). BERNARDO (1995) cita que as principais causas do baixo desempenho da maioria dos projetos de irrigação no Brasil são o manejo deficiente e a falta de drenagem.

ELLIOTT e WALKER (1982) admitem que, embora os valores da eficiência de aplicação em irrigação por superfície fiquem entre 50 e 70%, é possível alcançar valores de 85 a 90%, quando se adotam a automação e um cuidadoso monitoramento da umidade do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido numa encosta com declividade acentuada, destinada à pastagem. Antes do início da condução do experimento, foi efetuado um levantamento topográfico para definição da localização da tubulação adutora, do reservatório de coleta da água residuária da suinocultura, da estação de bombeamento, da tubulação de recalque e do reservatório superior, além da locação das faixas de infiltração.

Consta na Figura 1, em planta baixa, a localização da área experimental e das dependências dos setores de suinocultura e avicultura, pertencentes ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG, que tem coordenadas geográficas de 20° 45' S de latitude e 42° 51' W de longitude, com altitude de 651 metros.

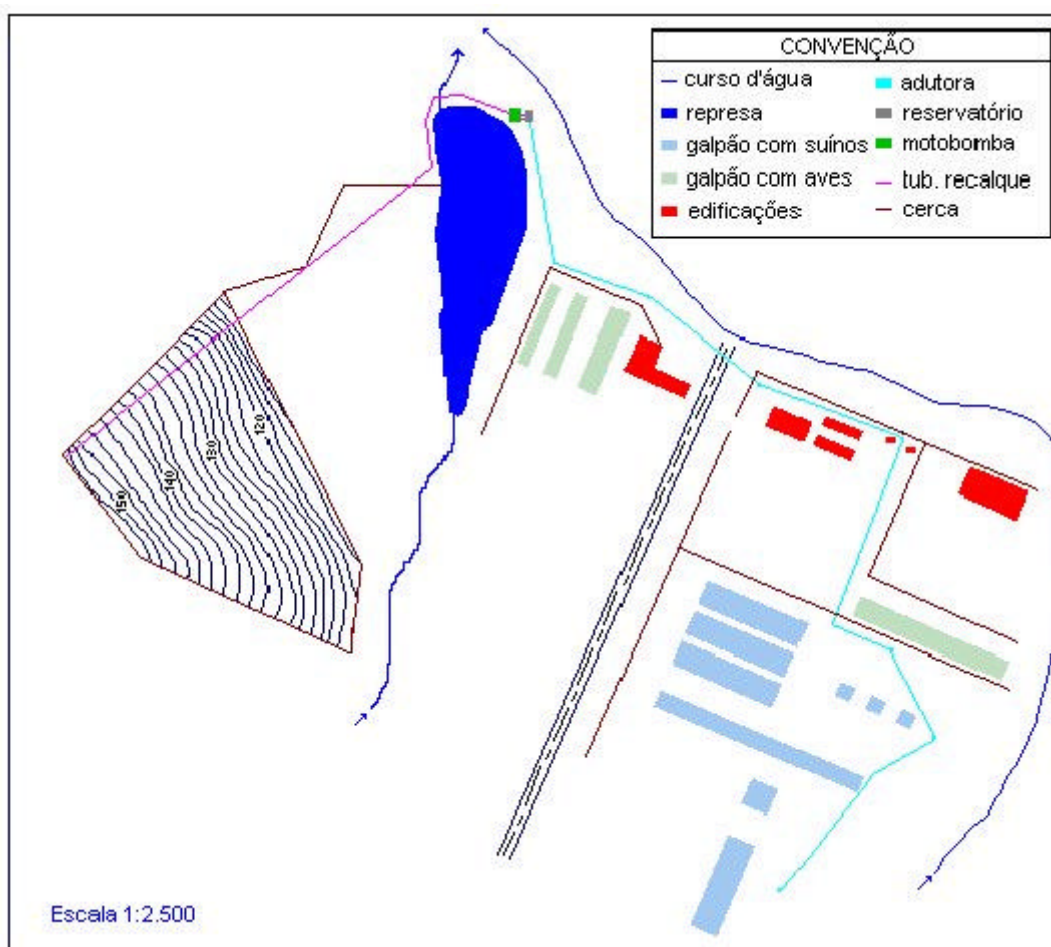


Figura 1 - Planta de situação dos setores de suinocultura e avicultura e da área experimental.

A tubulação adutora representada na Figura 2 foi usada para conduzir toda a água residuária do Setor de Suinocultura até um reservatório de concreto, construído com a finalidade de armazenamento. A tubulação adutora foi totalmente enterrada, usando-se retroescavadeira para abertura da vala, com declividade do fundo igual a 7‰, para facilitar a condução da água residuária por gravidade até o reservatório. O assentamento da tubulação adutora foi executado sobre uma camada de pó de pedra, distribuída no fundo da vala.



Figura 2 - Vista parcial de um trecho da tubulação adutora, antes de ser enterrada.

Em cada local de mudança de direção da tubulação adutora, ou quando o comprimento do trecho era grande, foi construída uma caixa de passagem (Figura 3) constituída por tampas e manilhas de 1 m de diâmetro, com acabamento de argamassa no fundo. O comprimento da tubulação adutora foi de 550 m, sendo constituída por tubos de PVC de 250 mm de diâmetro.



Figura 3 - Caixa de passagem da tubulação adutora.

O reservatório de captação (Figura 4) foi construído nas seguintes dimensões: comprimento de 14 m, largura de 9 m e profundidade média de 1,5 m. O fundo do reservatório foi feito de concreto armado, com declividade suave para promover o escoamento do fluido para uma canaleta na qual foram instaladas as tubulações de sucção dos dois conjuntos motobomba. As paredes laterais foram feitas com blocos de concreto. O fundo do reservatório ficou em cota inferior ao nível da água de uma represa, localizada nas proximidades, para possibilitar a condução de água por gravidade até a tubulação de sucção da motobomba de rotor tubular, usada para limpeza do sistema.



Figura 4 - Vista do reservatório de captação e à direita, uma tubulação de recirculação da água residuária.

No reservatório de captação foram instaladas duas tubulações, sendo uma para descarga, localizada no fundo, e outra para funcionar como vertedor. Na tubulação de descarga foi instalada uma válvula de gaveta, para eventual esvaziamento e limpeza do reservatório.

Uma infra-estrutura básica foi instalada para sistema de acionamento e proteção do sistema elétrico dos conjuntos motobomba.

Foi construída uma casa de bombas (Figura 5) próximo ao reservatório. A estação de bombeamento foi constituída de dois conjuntos motobomba, como medida de segurança e de operacionalização do sistema. Um conjunto motobomba possuía bomba com rotor helicoidal, marca Geremia, para bombeamento de água residuária para as faixas de irrigação, e o outro conjunto possuía bomba com rotor tubular, marca KSB. Esses conjuntos forneciam vazão média de 10 L s^{-1} , quando operando com altura manométrica aproximada de 83 mca. A bomba com rotor tubular era também usada para recirculação da água residuária no reservatório de captação, antes do início das aplicações.



Figura 5 - Vista parcial da casa de bombas.

A tubulação de recalque (Figura 6) foi constituída por tubos de aço zincado flangeado, com diâmetro de 100 mm, no trecho inicial de 150 m, e por tubos de PVC com diâmetro de 100 mm, no trecho final de 100 m de comprimento. Esta tubulação conduzia a água residuária da estação de bombeamento até uma caixa de distribuição (Figura 7), construída na parte mais alta da encosta. Parte da tubulação de recalque ficou enterrada e parte ficou à superfície, sendo, neste caso, ancorada com madeira ou concreto em locais onde havia depressões ou mudança de direção.



Figura 6 - Vista parcial de uma estrutura de apoio da tubulação de recalque.



Figura 7 - Caixa de distribuição de água residuária apresentando na parte central uma tela para separação do material grosseiro.

A caixa de distribuição foi construída com blocos de concreto, com as seguintes dimensões: comprimento de 4 m, largura de 3 m e profundidade de 2,5 m. Essa caixa possuía parede divisória, com abertura para instalação de uma tela com malha de 20 mesh. Assim, a água residuária era bombeada e descarregada por cima numa das divisórias, atravessava a tela, quando se desejava fazer o peneiramento, e saía pela tubulação de distribuição com seção de entrada localizada no fundo da outra divisória. Quando era o caso de aplicação de água residuária bruta, simplesmente retirava-se a tela.

A encosta onde foram construídos os patamares contendo as faixas de irrigação (Figura 8) possuía declividade média de 40%. Os patamares foram locados transversalmente na encosta com uso de nível ótico, apresentando declividade longitudinal de 2% e declividade transversal nula. Cada patamar tinha 4 m de largura e o comprimento variando de 50 a 120 m. Para construção dos patamares, foi utilizado um trator de esteira. O acabamento final do plano de sistematização relativo a cada patamar foi executado com uso de motoniveladora. Foram construídos seis patamares, numerados em ordem crescente de cima para baixo. Utilizaram-se o terceiro, quarto e quinto patamares, doravante denominados patamares superior, intermediário e inferior, respectivamente, localizados na parte mediana da encosta.



Figura 8 - Vista da área experimental mostrando a encosta com os patamares.

O solo dos três patamares usados foi preparado com enxada rotativa. Nos patamares superior e intermediário, foram locadas cinco faixas de irrigação em cada um e no patamar inferior, seis faixas, totalizando 0,115 ha. As dimensões de cada faixa foram 18 m de comprimento e 4 m de largura. Na Figura 9 está mostrado o esquema de distribuição das parcelas experimentais no campo.

Faixa 5 Repetição 1 ARP, Q ₃	Faixa 4 Repetição 2 ARP, Q ₃	Faixa 3 Repetição 2 ARP, Q ₁	Faixa 2 Repetição 1 ARP, Q ₁	Faixa 1 Repetição 2 ARP, Q ₂	
Faixa 10 Repetição 2 ARB, Q ₂	Faixa 9 Repetição 2 ARB, Q ₄	Faixa 8 Repetição 2 ARP, Q ₄	Faixa 7 Repetição 1 ARP, Q ₂	Faixa 6 Repetição 1 ARP, Q ₄	
Faixa 16 Repetição 2 ARB, Q ₃	Faixa 15 Repetição 2 ARB, Q ₁	Faixa 14 Repetição 1 ARB, Q ₃	Faixa 13 Repetição 1 ARB, Q ₂	Faixa 12 Repetição 1 ARB, Q ₄	Faixa 11 Repetição 1 ARB, Q ₁

ARP - água residuária peneirada.

** ARB - água residuária bruta.

Q₁ = 0,012 m³ min⁻¹ m⁻¹; Q₂ = 0,024 m³ min⁻¹ m⁻¹; Q₃ = 0,036 m³ min⁻¹ m⁻¹; Q₄ = 0,048 m³ min⁻¹ m⁻¹

Figura 9 - Esquema de distribuição das parcelas no campo, apresentando no patamar superior as faixas de 1 a 5, no patamar intermediário as faixas de 6 a 10 e no patamar inferior as faixas de 11 a 16.

Antes de realizar o plantio, foram retiradas amostras de solo representativas da camada de 0 a 60 cm de profundidade, em nove pontos distintos da área experimental, obtendo-se uma amostra composta. Essa amostra foi seca ao ar, homogeneizada, destorroada e passada em peneira com malha de 2 mm. Da amostra composta foram retiradas subamostras que foram encaminhadas aos Laboratório de Análise Química e de Física do Solo, da Universidade Federal de Viçosa, para determinação das características químicas e físicas, respectivamente. O resultado das análises está apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Características químicas e físicas de amostras de solo provenientes da área experimental

Características químicas	
^{1/} pH	4,85
^{2/} P (mg dm ⁻³)	1,50
^{2/} K ⁺ (mg dm ⁻³)	10,00
^{3/} Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,25
^{3/} Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,10
Características físicas	
Areia grossa (dag kg ⁻¹)	16,00
Areia fina (dag kg ⁻¹)	13,30
Silte (dag kg ⁻¹)	6,00
Argila (dag kg ⁻¹)	64,60
Classificação textural	Muito argilosa
^{1/} pH em água, relação 1:2,5. ^{2/} Extrator Mehlich 1. ^{3/} Extrator: KCl – 1 mol L ⁻¹ .	

Amostras não deformadas foram retiradas na área experimental, com uso de trado tipo Uhland, representativas das camadas de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm de profundidade, para determinação da densidade do solo, fazendo-se três repetições. Nessas mesmas camadas, foram também retiradas amostras deformadas para a obtenção da curva de retenção de água no solo, com uso de extrator de placa porosa tipo Richards, seguindo-se a metodologia descrita em EMBRAPA (1997). Na Figura 10 estão apresentadas as curvas de retenção de água no solo.

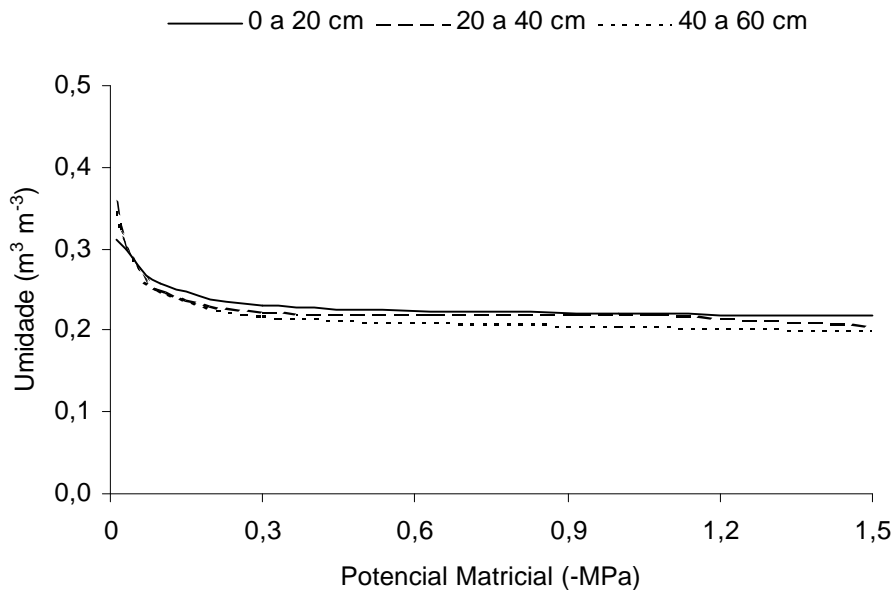


Figura 10 - Curvas de retenção de água no solo da área experimental, camadas de 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm de profundidade.

O limite superior de água disponível, correspondente à capacidade de campo, foi tomado como o do valor de umidade média das três camadas de solo para o potencial matricial de 0,03 MPa.

Antes da execução dos testes para avaliar os parâmetros do sistema de irrigação por faixas em cada faixa foi efetuado o plantio do milho (*Zea mays L.*), cultivar C 505, indicada para silagem, em 01 de março de 2000. O espaçamento entre fileiras de plantio foi de 0,6 m, com 10 sementes por metro linear, usando-se adubo 4-14-8, na proporção de 450 kg ha⁻¹. Cada faixa de irrigação ficou com 6 fileiras de plantio, sendo que a medição de parâmetros relativos à cultura foi efetuada nas quatro fileiras internas.

No início de cada faixa, abriu-se um sulco transversal (Figura 11), com o intuito de uniformizar o avanço da frente de molhamento ao longo da largura da faixa. Ao longo do comprimento de cada faixa de irrigação foram cravadas estacas distanciadas de 3 m (Figura 12), sendo colocadas três estacas, distanciadas de um metro, em cada seção transversal, com a finalidade de

aumentar a precisão na obtenção dos dados relativos às fases de avanço e de recessão. No ajuste dos modelos usados para descrever as fases de avanço e recessão de água residuária sobre o solo, usou-se o valor médio dos três dados obtidos para cada distância, relativos à fase em estudo.



Figura 11 - Estaqueamento das faixas.



Figura 12 - Sulco transversal no início da faixa.

Após o estaqueamento das faixas, montou-se a tubulação de distribuição (Figura 13), com a qual foi conduzida por gravidade a água residuária da caixa de distribuição até as parcelas experimentais. A tubulação de distribuição foi constituída por tubos de aço zincado flangeado com válvulas de gaveta. Em cada válvula foi conectada a tubulação de PVC (Figura 14), montada na interface do plano da faixa com a encosta, para condução da água residuária até a entrada de cada parcela experimental. Em cada tubulação de PVC, foram instaladas válvulas de linha (Figura 15) distanciadas de 18 m, que foram usadas, juntamente com curvas de derivação, para controlar a vazão na entrada das parcelas experimentais.



Figura 13 - Vista da tubulação de distribuição, montada no sentido descendente da encosta.



Figura 14 - Detalhe da válvula de gaveta usada para derivação de água residuária para as faixas.



Figura 15 - Válvula de linha usada na aplicação de água residuária na parcela experimental.

Os testes de avanço e recessão foram conduzidos com águas residuárias da suinocultura, bruta e peneirada, e quatro taxas de aplicação: 0,012, 0,024, 0,036 e 0,048 m³ min⁻¹ m⁻¹, com duas repetições. A taxa de aplicação na entrada das faixas foi controlada manualmente com uso de uma curva de derivação, sendo medida por meio do método direto, antes do início da aplicação na parcela experimental.

O teste de avanço iniciou-se com a aplicação de água residuária na faixa e, quando a frente de avanço alcançou cada estaca, anotou-se o tempo gasto. A aplicação de água residuária ocorria até que a frente de avanço atingisse o final da faixa. A partir daí, acompanhava-se o transcorrer da fase de recessão, visto que desconsiderou-se a fase de depleção em decorrência de sua curta duração, anotando-se o tempo em que a água desaparecia da superfície do solo, em todas as estacas cravadas ao longo da faixa.

Amostras de águas residuárias foram coletadas antes do início de cada aplicação, sendo usadas para análise de sólidos totais seguindo-se a metodologia descrita em APHA (1995). Os valores médios de sólidos totais obtidos foram, respectivamente, de 598 e 1.316 mg L⁻¹, para água residuária peneirada e bruta.

No dia anterior a cada evento de irrigação conduziu-se um teste de infiltração, seguindo-se a metodologia descrita por BERNARDO (1995), utilizando-se um infiltrômetro de anel e o tipo de água residuária a ser aplicada na respectiva parcela experimental.

Antes de cada irrigação retirou-se, em cada faixa, amostras de solo nas profundidades médias de 10, 30 e 50 cm para determinação da umidade do solo por meio do método gravimétrico.

As irrigações começaram a ser efetuadas sete dias depois do plantio; por causa da ocorrência de chuva no décimo quarto dia após o plantio, o segundo evento de irrigação ocorreu somente no vigésimo primeiro dia. A partir daí, as demais irrigações foram feitas obedecendo-se o turno de rega de sete dias.

Para cada evento de irrigação foram ajustados modelos matemáticos para descrever a infiltração da água no solo e as fases de avanço e de recessão.

Para determinação da irrigação real necessária foi aplicada a equação 3:

$$IRN = \frac{(CC - Ua)}{10} da Z \quad (3)$$

em que:

IRN = irrigação real necessária, mm;

CC = capacidade de campo, % em peso;

Ua = umidade atual do solo, % em peso,

da = densidade do solo, g cm⁻³; e

Z = profundidade efetiva do sistema radicular, cm.

Após o ajuste das equações de infiltração, avanço e recessão, obteve-se o perfil de infiltração, possibilitando, assim, efetuar a avaliação de cada evento de irrigação mediante o cálculo da eficiência de aplicação, perda por percolação, eficiência de armazenamento e eficiência de déficit excesso.

Para condições de irrigação deficiente ou parcialmente deficiente, calcularam-se os parâmetros de desempenho aplicando-se as equações 4, 5, 6 e 7 (SOARES e OLIVEIRA, 2001):

$$E_a = \frac{(IRN X_a)}{Q_0 t_i} 100 \quad (4)$$

$$P_p = \frac{(V_a - IRN X_a)}{Q_0 t_i} 100 \quad (5)$$

$$P_e = 0 \quad (6)$$

$$E_r = \frac{(IRN X_a + V_d)}{IRN L} 100 \quad (7)$$

em que

E_a = eficiência de aplicação, %;

P_p = perdas de água por percolação, %;

P_e = perdas de água por escoamento, %;

E_r = eficiência de armazenamento, %;

E_{de} = eficiência de déficit excesso, %;

IRN = irrigação real necessária, $m^3 \text{ min}^{-1} m^{-1}$;

Q_0 = vazão no início da faixa, $m^3 \text{ min}^{-1}$;

t_i = tempo de aplicação de água no início da faixa, min;

X_a = comprimento da área adequadamente irrigada, m;

V_d = volume de água infiltrado no trecho deficientemente irrigado, m^3 ;

V_a = volume de água infiltrado no trecho adequadamente irrigado, m^3 ; e

V_i = volume total de água infiltrado, m^3 .

Para condição de irrigação adequada ou excessiva, os parâmetros de desempenho foram calculados aplicando-se as equações 8, 9 e 10 (SOARES e OLIVEIRA, 2001):

$$E_a = \frac{IRN L}{Q_0 t_i} 100 \quad (8)$$

$$P_p = \frac{V_i - IRN L}{Q_0 t_i} 100 \quad (9)$$

$$E_{de} = \frac{E_a E_r}{E_a + E_r - E_a E_r} \quad (10)$$

O volume total infiltrado ao longo da área foi calculado aplicando-se a equação 11 (SOARES e OLIVEIRA, 2001):

$$V_i = \frac{L}{2n} (I_0 + 2I_1 + 2I_2 + \dots + I_n) \quad (11)$$

em que:

L = comprimento da área, m;

I_i = infiltração acumulada no ponto i, $m^3 m^{-1}$; e

n = número de trechos ao longo da área.

Além da avaliação dos parâmetros de desempenho foi obtida a produtividade do milho para silagem cultivado em cada faixa sob condições das diferentes taxas de aplicação e qualidades de água residuária aplicadas.

Trinta e oito dias após o plantio, aplicou-se o inseticida piretróide “Decis”, utilizando-se pulverizador costal, na dosagem de 200 mL ha⁻¹, para controlar o ataque de lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda*.

A colheita foi realizada aos 104 dias após o plantio, cortando-se as plantas rentes ao solo. Ao longo de cada faixa, considerou-se 6 trechos de 3 m, delimitados pelas estacas. Em cada trecho, colheu-se as plantas localizadas na área definida pelas quatro fileiras internas, deixando-se 0,5 m como bordadura nas extremidades inicial e final de cada trecho. Dessa maneira, colheu-se as fileiras internas, num total de 12 m ao longo de cada faixa. Toda a parte aérea das plantas foi pesada em uma balança com precisão de 100 g.

O experimento foi montado no esquema fatorial 4 X 2 (quatro taxas de aplicação e duas concentrações de águas residuárias) no delineamento inteiramente casualizado com duas repetições.

Os dados foram analisados por meio de análises de variância e regressão; independentemente de a interação lâmina X água residuária ser ou não significativa, optou-se pelo desdobramento da mesma, devido ao interesse. Os modelos foram escolhidos com base na significância do coeficiente de regressão, utilizando-se o teste de F, no coeficiente de determinação ($R^2 = SQR/SQL$) e no fenômeno em estudo.

No Quadro 2 estão apresentados os dados climáticos médios semanais de temperaturas máxima, média e mínima, umidade relativa do ar e totais semanais de precipitação pluvial fornecidos pelo Laboratório de Meteorologia do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. No período experimental, a temperatura máxima foi de 29,5°C e a mínima, de 8,1°C, enquanto a umidade relativa do ar variou de 72 a 97%, sendo a precipitação total do período igual a 135,1 mm.

Quadro 2 - Valores médios de temperaturas máxima, média e mínima e de umidade relativa do ar (UR), e totais semanais de precipitação (P) durante o período experimental, em Viçosa-MG

Período	Temperaturas médias (°C)			UR (%)	P (mm)
	Máxima	Média	Mínima		
05/03/00 a 11/03/00	25,77	21,29	18,48	83,89	27,9
12/03/00 a 18/03/00	26,27	21,44	18,60	91,64	28,0
19/03/00 a 25/03/00	28,01	21,81	18,31	86,60	37,4
26/03/00 a 01/04/00	28,51	22,00	18,05	85,14	12,2
02/04/00 a 08/04/00	26,34	20,42	16,54	84,28	0,3
09/04/00 a 15/04/00	28,04	21,56	17,41	85,61	29,8
16/04/00 a 22/04/00	26,92	20,51	17,05	83,42	7,0
23/04/00 a 29/04/00	25,97	17,21	10,75	82,57	0,0
30/04/00 a 06/05/00	26,00	19,89	15,77	88,50	5,8
07/05/00 a 13/05/00	24,70	18,06	14,31	82,50	0,0
14/05/00 a 20/05/00	25,52	17,00	11,00	83,03	0,0
21/05/00 a 27/05/00	23,63	15,85	10,57	84,60	0,0
28/05/00 a 03/06/00	25,31	18,18	14,52	86,07	14,6

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

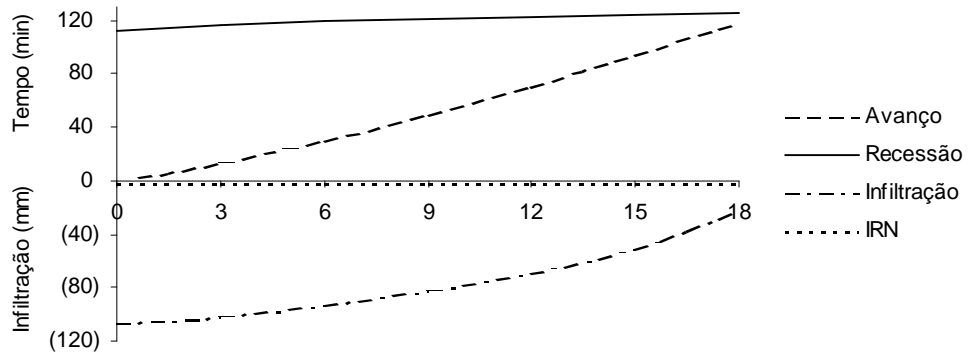
Na Figura 16 estão apresentadas as curvas de avanço, de recessão, do perfil de infiltração, obtidas a partir das equações de regressão do Quadro 3 e a irrigação real necessária, para as faixas operando com vazão de $0,012 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de água residuária bruta, para o primeiro (a), sexto (b) e décimo primeiro (c) eventos de irrigação.

Analisando a Figura 16, gráfico (a), observa-se que o valor da irrigação real necessária foi muito pequeno para o primeiro evento de irrigação, por causa da ocorrência de precipitações na ocasião do início do experimento, que provocaram o aumento do nível de umidade do solo. Do ponto de vista de irrigação, não seria necessário aplicar água, mas isso ocorreu para atender a um planejamento prévio. Nesse evento, em todos os tratamentos, apesar de o solo estar com umidade alta, observou-se um tempo relativamente longo para a frente de avanço atingir o final da faixa, por causa da maior rugosidade do terreno, contribuindo para que ocorressem elevadas perdas por percolação.

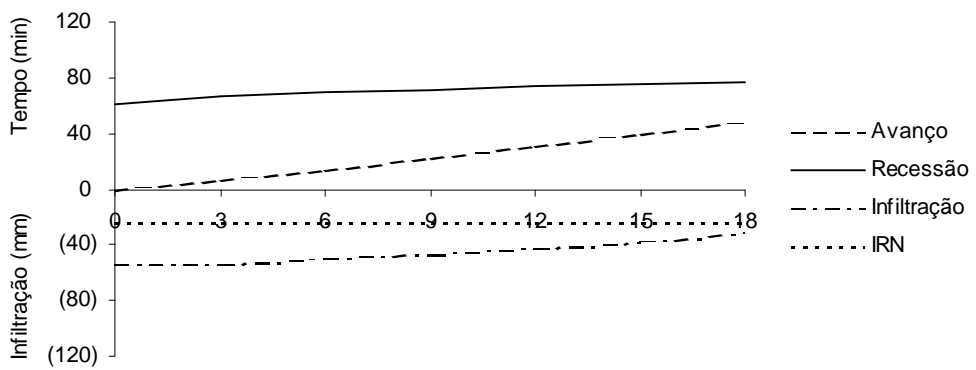
Na Figura 16, gráficos (b) e (c), relativos à sexta e décima primeira irrigações, respectivamente, mesmo com maior valor da irrigação real necessária, observou-se elevada perda por percolação, principalmente no início da faixa, diminuindo a eficiência de aplicação. Nesses eventos, e em todos os demais com aplicação da vazão de $0,012 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$, a irrigação foi excessiva, aumentando o risco de contaminação de água subterrânea.

Na Figura 17 estão mostradas as curvas de avanço e recessão, do perfil de infiltração, obtidas a partir das equações de regressão do Quadro 3, e a irrigação real necessária, para as faixas operando com vazão de $0,012 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de água residuária peneirada, para o primeiro (a), sexto (b) e décimo primeiro (c) eventos de irrigação. De maneira geral, observou-se que o peneiramento não influenciou o comportamento das fases de irrigação por faixa, em comparação com os resultados obtidos com água residuária bruta.

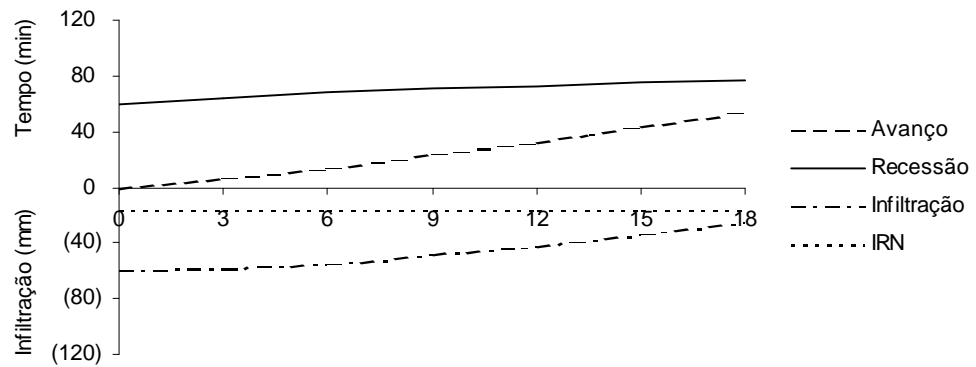
No Quadro 3 são apresentadas as equações de regressão ajustadas, relacionando o avanço, a recessão e a infiltração com a qualidade da água residuária utilizada e a taxa de aplicação e os coeficientes de determinação.



(a)

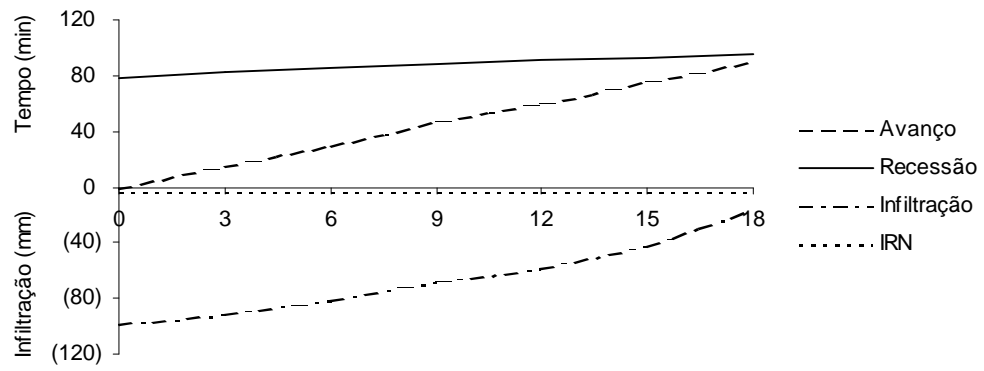


(b)

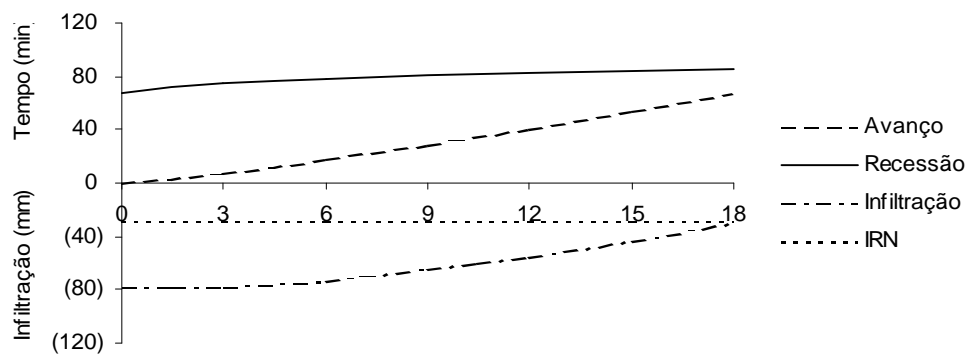


(c)

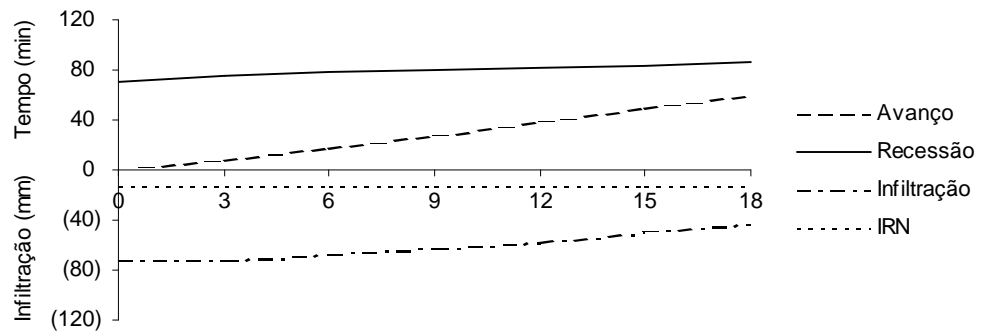
Figura 16 - Curvas de avanço, recessão e infiltração e a irrigação real necessária para as faixas operando com taxa de aplicação de $0,012 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de água residuária bruta, para o primeiro (a), sexto (b) e décimo primeiro (c) eventos de irrigação.



(a)



(b)



(c)

Figura 17 - Curvas de avanço, recessão e infiltração e a irrigação real necessária para as faixas operando com taxa de aplicação de $0,012 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de água residuária peneirada, para o primeiro (a), sexto (b) e décimo primeiro (c) eventos de irrigação.

Quadro 3 - Equações de regressão ajustadas relacionando os parâmetros avanço, recessão e a infiltração, em função da água residuária aplicada, e os coeficientes de determinação

Água	Variável	Taxa de aplicação $m^3 \text{ min}^{-1} m^{-1}$	Equação ajustada	R ²
ARB	Avanço	0,012	$y_1 = 3,36586 * d^{1,2191}$	0,99
ARB	Avanço	0,012	$y_6 = 1,71550 * d^{1,1580}$	0,99
ARB	Avanço	0,012	$y_{11} = 1,53056 * d^{1,2376}$	0,99
ARB	Recessão	0,012	$y_1 = 111,7372 * d^{0,0380} + 111$	0,97
ARB	Recessão	0,012	$y_6 = 60,57819 * d^{0,0812} + 48$	0,97
ARB	Recessão	0,012	$y_{11} = 57,39114 * d^{0,1013} + 55$	0,97
ARB	Infiltração	0,012	$y_1 = 0,73420 * t^{0,5667}$	0,98
ARB	Infiltração	0,012	$y_6 = 0,29299 * t^{0,7104}$	0,97
ARB	Infiltração	0,012	$y_{11} = 0,24553 * t^{0,7806}$	0,98
ARB	Avanço	0,048	$y_1 = 0,60653 * d^{1,0836}$	0,98
ARB	Avanço	0,048	$y_6 = 0,33333 * d^{1,00}$	0,99
ARB	Avanço	0,048	$y_{11} = 0,30891 * d^{1,0106}$	0,92
ARB	Recessão	0,048	$y_1 = 12,2204 * d^{0,2276} + 13$	0,98
ARB	Recessão	0,048	$y_6 = 5,73854 * d^{0,2690} + 6$	0,96
ARB	Recessão	0,048	$y_{11} = 4,64618 * d^{0,4519} + 5$	0,98
ARB	Infiltração	0,048	$y_1 = 0,73420 * t^{0,5667}$	0,98
ARB	Infiltração	0,048	$y_6 = 0,29299 * t^{0,7104}$	0,97
ARB	Infiltração	0,048	$y_{11} = 0,24553 * t^{0,7806}$	0,98
ARP	Avanço	0,012	$y_1 = 4,51132 * d^{1,0407}$	0,99
ARP	Avanço	0,012	$y_6 = 2,13972 * d^{1,1916}$	0,99
ARP	Avanço	0,012	$y_{11} = 2,37269 * d^{1,1192}$	0,99
ARP	Recessão	0,012	$y_1 = 2,999105 * d^{0,6149} + 77$	0,99
ARP	Recessão	0,012	$y_6 = 7,026145 * d^{0,3987} + 64$	0,99
ARP	Recessão	0,012	$y_{11} = 10,663940 * d^{0,3013} + 60$	0,99
ARP	Infiltração	0,012	$y_1 = 0,70984 * t^{0,6350}$	0,99
ARP	Infiltração	0,012	$y_6 = 0,38015 * t^{0,7205}$	0,98
ARP	Infiltração	0,012	$y_{11} = 0,77230 * t^{0,5300}$	0,99
ARP	Avanço	0,048	$y_1 = 0,17425 * d^{1,60}$	0,99
ARP	Avanço	0,048	$y_6 = 0,33333 * d^{1,00}$	0,99
ARP	Avanço	0,048	$y_{11} = 0,20719 * d^{1,0659}$	0,97
ARP	Recessão	0,048	$y_1 = 16,02803 * d^{0,2303} + 16$	0,98
ARP	Recessão	0,048	$y_6 = 5,31020 * d^{0,3227} + 6$	0,95
ARP	Recessão	0,048	$y_{11} = 4,09839 * d^{0,4596} + 5,2$	0,99
ARP	Infiltração	0,048	$y_1 = 0,70984 * t^{0,6350}$	0,99
ARP	Infiltração	0,048	$y_6 = 0,38015 * t^{0,7205}$	0,98
ARP	Infiltração	0,048	$y_{11} = 0,77230 * t^{0,5300}$	0,99

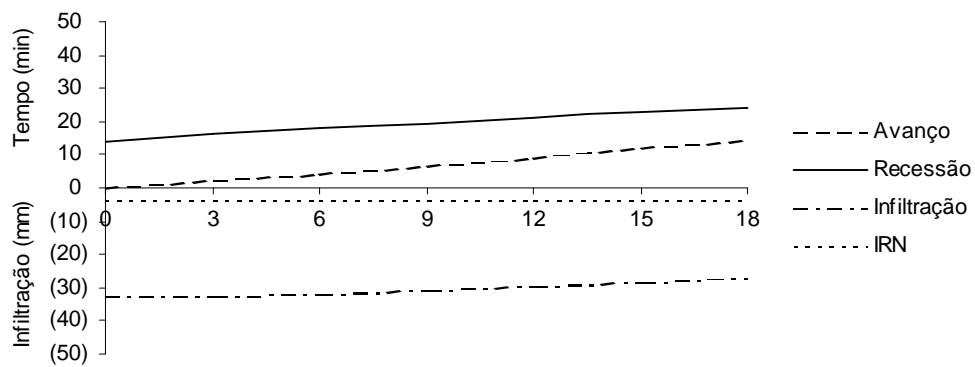
Na Figura 18 estão mostradas as curvas de avanço, de recessão, do perfil de infiltração, obtidas a partir das equações de regressão do Quadro 3 e a irrigação real necessária, para as faixas operando com vazão de $0,048 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de água residuária bruta, para o primeiro (a), sexto (b) e décimo primeiro (c) eventos de irrigação.

A análise das irrigações efetuadas com aplicação da vazão de $0,048 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$ mostrou a ocorrência de perda por percolação apenas nos primeiros eventos, gráfico (a) da Figura 18, por causa da maior rugosidade da superfície da faixa, que dificultou o avanço da frente de molhamento, associada ao pequeno valor da irrigação real necessária.

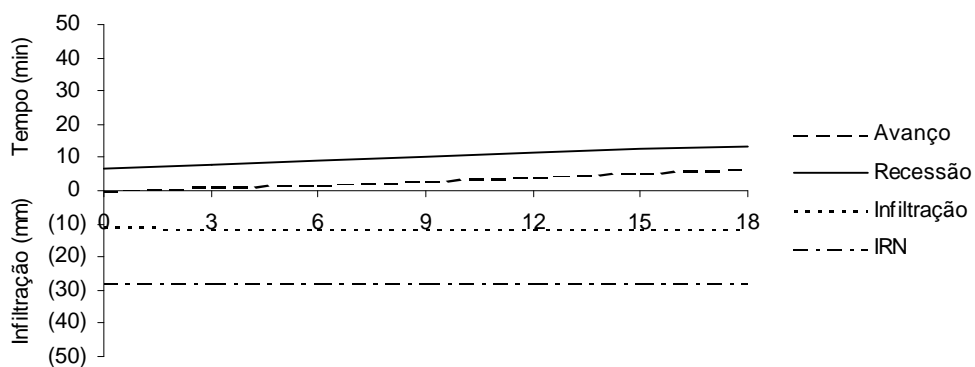
Nos eventos de irrigação intermediários e finais, gráficos (b) e (c) da Figura 18, observou-se, em geral, que o tempo de avanço da água sobre o solo foi relativamente pequeno para atingir o final da faixa, ocasionando a aplicação de lâminas menores que a irrigação real necessária, caracterizando irrigações totalmente deficientes. Nesses casos, as perdas por percolação e por escoamento foram nulas, sendo a eficiência de aplicação igual a 100%. No entanto, a eficiência de armazenamento foi menor que 100%, sendo, nestes casos, importante analisar o valor da eficiência déficit excesso como indicador de que a irrigação não está tão boa quanto parece, quando cada parâmetro é analisado isoladamente.

Em muitos eventos de irrigação com uso da maior vazão ($0,048 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$), ocorreu acúmulo de água residuária sobre o solo no final da faixa, o que provocou a inversão do perfil de infiltração com lâmina menor no início. Em situações práticas com faixas de maior comprimento, essa inversão é importante por contribuir para aumentar a uniformidade da lâmina ao longo da faixa irrigada.

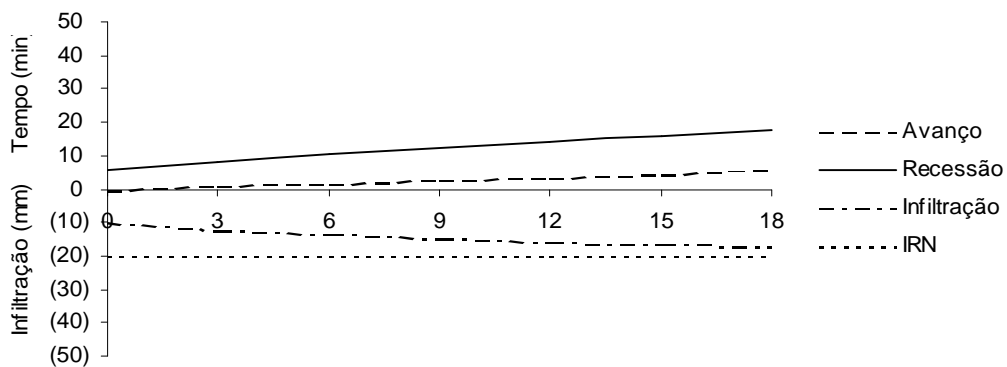
Constam na Figura 19 as curvas de avanço, de recessão e do perfil de infiltração, obtidas a partir das equações de regressão do Quadro 3 e a irrigação real necessária, para as faixas operando com vazão de $0,048 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de água residuária peneirada, para o primeiro (a), sexto (b) e décimo primeiro (c) eventos de irrigação. De maneira geral, observou-se que o peneiramento, semelhantemente ao uso da vazão de $0,012 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$, não influenciou no comportamento das fases de avanço da irrigação por faixa, comparativamente ao uso de água residuária bruta.



(a)



(b)



(c)

Figura 18 - Curvas de avanço, recessão e infiltração e a irrigação real necessária, para as faixas operando com taxa de aplicação de $0,048 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de água residuária bruta, para o primeiro (a), sexto (b) e décimo primeiro (c) eventos de irrigação.

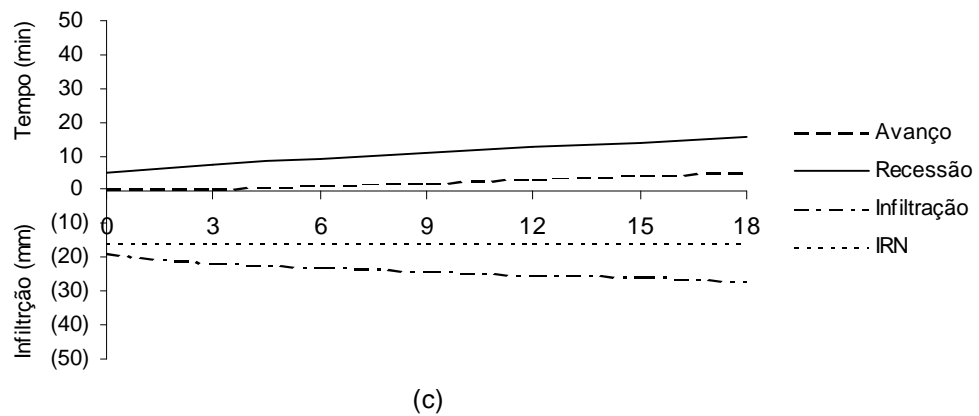
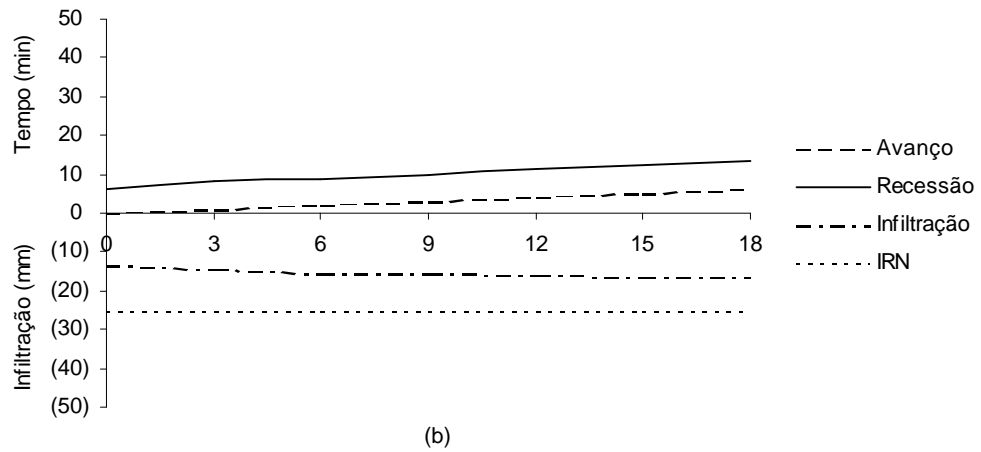
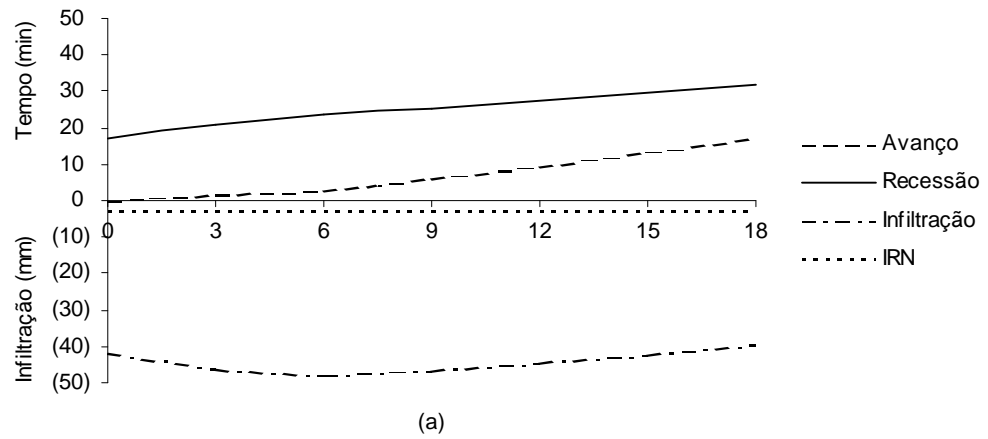


Figura 19 - Curvas de avanço, recessão e infiltração e a irrigação real necessária para as faixas operando com taxa de aplicação de $0,048 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de água residuária peneirada, para o primeiro (a), sexto (b) e décimo primeiro (c) eventos de irrigação.

No Quadro 4 está apresentado o resumo da análise de variância dos parâmetros eficiência de aplicação (Ea), eficiência de armazenamento (Er), perda por percolação (Pp) eficiência déficit excesso (Ede), produtividade e os respectivos coeficientes de variação, para o sistema de irrigação por faixas operando com duas qualidades de água residuária da suinocultura, usando-se quatro taxas de aplicação.

Analisando o Quadro 4, observa-se que não houve efeito significativo ($P>0,05$) do fator qualidade da água residuária sobre os parâmetros de desempenho da irrigação, à exceção da eficiência déficit excesso. Para a vazão, pode-se observar que houve efeito significativo desse fator ($P<0,05$) sobre todos os parâmetros de desempenho da irrigação, o mesmo não ocorrendo ($P>0,05$) para a interação da qualidade da água residuária e da taxa de aplicação.

A análise dos dados apresentados no Quadro 4 mostra, ainda, que a produtividade do milho para silagem não foi afetada significativamente ($P>0,05$) por nenhum dos fatores estudados.

Quadro 4 - Resumo da análise de variância dos parâmetros eficiência de aplicação (Ea), eficiência de armazenamento (Er), perda por percolação (Pp) eficiência déficit excesso (Ede), produtividade, e os respectivos coeficientes de variação, para o sistema de irrigação por faixas operando com duas qualidades de água residuária da suinocultura, usando-se quatro taxas de aplicação

F.V.	G.L.	Quadrados médios				
		Ea	Er	Pp	Ede	Produtividade
Água resid.	1	56,14 ^{ns}	1,75 ^{ns}	62,53 ^{ns}	39,13 [*]	27,60 ^{ns}
Taxa de aplicação	3	1412,67 ^{**}	142,83 ^{**}	1426,30 ^{**}	858,30 [*]	36,13 ^{ns}
Água resid. x Taxa	3	3,05 ^{ns}	0,40 ^{ns}	3,86 ^{ns}	5,11 ^{ns}	13,25 ^{ns}
Resíduo	8	14,12	4,15	15,12	6,31	55,31
CV (%)		6,97	2,13	8,76	4,90	13,18

^{**} F significativo a 1% de probabilidade.

^{*} F significativo a 5% de probabilidade.

^{ns} não-significativo a 5% de probabilidade.

No Quadro 5 estão apresentados os valores médios percentuais das variáveis eficiência de aplicação (Ea), eficiência de armazenamento (Er), perda por percolação, eficiência de déficit excesso (Ede) e a produtividade (kg ha⁻¹) do milho para silagem, considerando a qualidade da água residuária aplicada e as quatro taxas de aplicação estudadas.

A análise dos dados apresentados no Quadro 5 mostra que a qualidade da água residuária não afetou significativamente ($P > 0,05$) nenhum parâmetro de desempenho do sistema de irrigação por faixas, para todas as taxas de aplicação estudadas. Pode-se observar, também, que houve tendência de obtenção de maior produtividade, quando se usou água residuária peneirada, comparativamente à água residuária bruta, sendo que houve diferença significativa ($p < 0,05$) apenas quando se aplicou a vazão de $0,036 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Os valores de produtividade média de matéria fresca obtidos (47,19 e 71,25 t ha⁻¹) foram maiores que os observados por FREITAS (2001), que encontrou valores médios de produção de matéria fresca em cultivo de milho (*Zea mays L.*), com água residuária bruta e peneirada, de 45,00 e 46,08 t há⁻¹, respectivamente.

Quadro 5 - Valores médios percentuais das variáveis eficiência de aplicação (Ea), eficiência de armazenamento (Er), perda por percolação, eficiência de déficit excesso (Ede) e a produtividade de matéria fresca (kg há⁻¹) do milho para silagem, considerando a qualidade das águas residuárias e as quatro taxas de aplicação estudadas

Parâmetro		Taxa de aplicação (m ³ min ⁻¹ m ⁻¹)			
		0,012	0,024	0,036	0,048
Ea (%)	ARB	33,61 ^a	55,39 ^a	65,60 ^a	75,71 ^a
	ARP	27,70 ^a	51,06 ^a	63,66 ^a	72,91 ^a
Er (%)	ARB	100 ^a	97,35 ^a	97,10 ^a	85,81 ^a
	ARP	99,89 ^a	97,76 ^a	97,87 ^a	87,38 ^a
Pp (%)	ARB	66,38 ^a	44,52 ^a	34,39 ^a	24,28 ^a
	ARP	72,86 ^a	48,94 ^a	36,34 ^a	27,26 ^a
Ede (%)	ARB	33,61 ^a	52,84 ^a	62,84 ^a	61,86 ^a
	ARP	27,69 ^a	48,83 ^a	61,70 ^a	60,42 ^a
Produtividade (kg há ⁻¹)	ARB	56.354 ^a	53.246 ^a	47.187 ^b	48.975 ^a
	ARP	60.903 ^a	56.562 ^a	71.250 ^a	56.910 ^a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna, considerando cada variável individualmente, não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

No Quadro 6 estão apresentadas as equações de regressão ajustadas, relacionando a produtividade de matéria fresca de milho para silagem e os parâmetros de desempenho da irrigação, em função das taxas de aplicação estudadas, para os dois tipos de águas residuárias, e os respectivos coeficientes de determinação. Para a produtividade, a equação de regressão resultou igual à média. Vale mencionar que essas equações são aplicadas para valores de taxa de aplicação compreendidas dentro do intervalo estudado (0,012 a 0,048 m³min⁻¹ m⁻¹).

Quadro 6 - Equações de regressão ajustadas para as variáveis eficiência de aplicação (Ea), eficiência de armazenamento (Er), perdas por percolação (Pp), eficiência déficit excesso (Ede) e produtividade de matéria fresca, em função da taxa aplicada para as duas qualidades de água residuária da suinocultura estudadas, e os respectivos coeficientes de determinação

Variável	Água	Equação ajustada ¹	R ²
Ea	ARB	= 16,78 + 1235,17**Q	0,95
	ARP	= 23,45 + 1137,71**Q	0,96
Er	ARB	= 94,6238 + 559,641**Q - 14522,5*Q ²	0,91
	ARP	= 94,9701 + 543,244**Q - 14999,9*Q ²	0,92
Pp	ARB	= 102,250 - 2790,82**Q + 25763,7*Q ²	0,99
	ARP	= 76,5025 - 1136,88**Q	0,96
Ede	ARB	= - 6,1222 + 3260,73**Q - 38923,3*Q ²	0,99
	ARP	= 3,8376 + 2894,86**Q - 35086,6*Q ²	0,99
Produtividade	ARB	= 60.577,76	-
	ARP	= 52.269,96	-

¹ Aplicável para valores de vazão compreendidos dentro do intervalo estudado.

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Em irrigação por superfície, verifica-se que um parâmetro isolado não reflete o desempenho conjunto do sistema. Por exemplo, uma irrigação totalmente deficiente, em que a infiltração acumulada ao longo de toda a área é menor que a irrigação real necessária, e que a perda por escoamento é zero, terá uma eficiência de aplicação de 100%, isto é, toda água aplicada ficará retida na região explorada pelas raízes e, conseqüentemente, será útil para a cultura. No entanto, a cultura estará sofrendo com a deficiência de água, principalmente na extremidade final da área onde a infiltração acumulada será zero. Sendo assim, deve-se fazer a análise conjunta dos parâmetros de desempenho para que se possa avaliar o sistema de irrigação de maneira adequada, com a finalidade de indicar mudanças que possam melhorar a eficiência de uso de água e de nutrientes e, conseqüentemente, a produtividade da cultura.

Nas Figuras 20 e 21 estão mostrados gráficos representativos da variação da eficiência de déficit excesso para as diferentes taxas de aplicação

estudadas, durante os diversos eventos de irrigação, para o sistema de irrigação por faixa operando com água residuária bruta e peneirada da suinocultura, respectivamente. A análise dessas figuras mostra que os menores valores de eficiência déficit excesso ocorreram quando o sistema de irrigação por faixa operou com taxa de aplicação de $0,012 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$, para todos os eventos de irrigação e as duas qualidades de água residuária estudadas. Isso ocorreu por causa da grande perda por percolação verificada quando se aplicou essa taxa que, por sua vez, contribuiu para reduzir a eficiência de aplicação, diminuindo conseqüentemente a eficiência de déficit excesso, apesar de ter sido constatado um valor igual a 100% para eficiência de armazenamento. Neste caso, a eficiência de déficit excesso foi determinado pelo valor da eficiência de aplicação.

Os pequenos valores de eficiência de déficit excesso observados na primeira, segunda e quinta irrigações foram causados por valores elevados de umidade do solo ocasionados por precipitação ocorrida pouco antes das irrigações. Considerando que, em condições práticas, um dos objetivos do projeto geralmente é a destinação final de resíduos, efetuaram-se as irrigações, obtendo-se baixos valores de eficiência ocasionados por elevada perda por percolação.

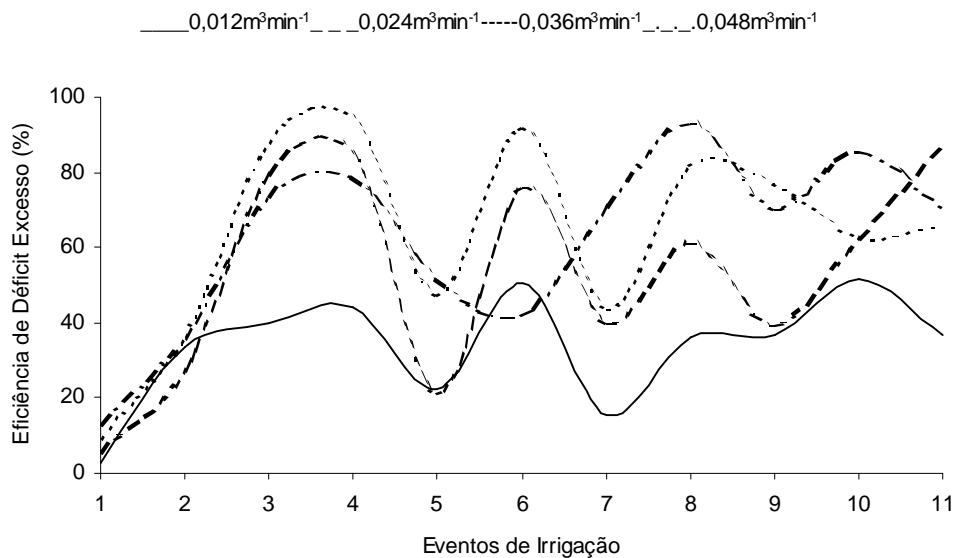


Figura 20 - Variação da eficiência de déficit excesso para as diferentes taxas de aplicação estudadas, durante os diversos eventos de irrigação, para o sistema de irrigação por faixa operando com água residuária bruta.

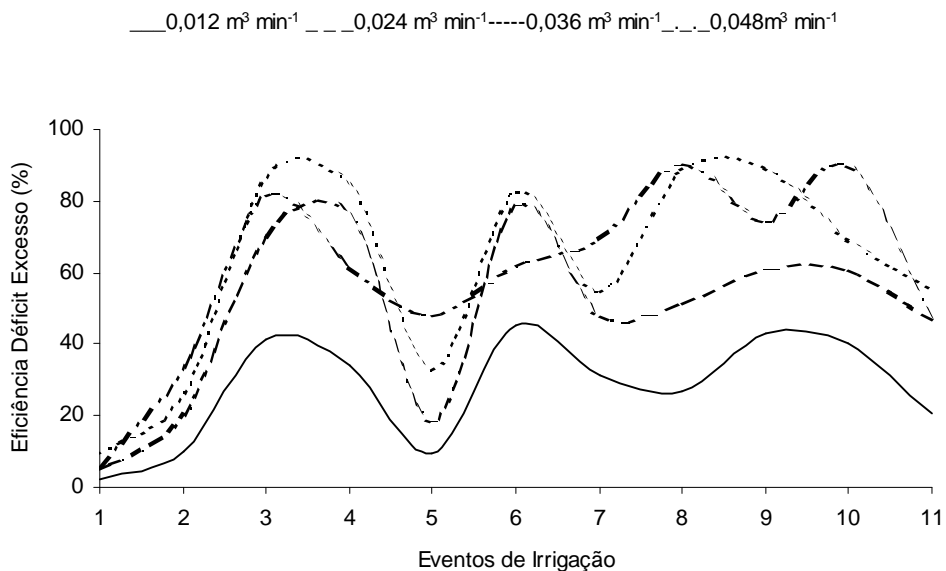


Figura 21 - Variação da eficiência de déficit excesso para as diferentes taxas de aplicação estudadas, durante os diversos eventos de irrigação, para o sistema de irrigação por faixa operando com água residuária peneirada.

Nas Figuras 22 e 23 estão apresentadas as variações das eficiências de aplicação, de armazenamento, de déficit excesso e das perdas por percolação, em função das quatro taxas de aplicação estudadas, com o sistema operando com água residuária bruta e peneirada, respectivamente. Os gráficos foram obtidos das equações de regressão apresentadas no Quadro 5.

A análise de variação da eficiência de aplicação e da eficiência déficit excesso nas Figuras 22 e 23 mostra que, em média, a qualidade das irrigações melhorou, à medida que aumentou a taxa aplicada, para as duas qualidades de águas residuárias estudadas. Nessas figuras, a variação da eficiência de armazenamento mostra que o tempo de oportunidade usado durante a aplicação das maiores taxas não foi suficiente para aplicação da irrigação real necessária, o que não foi suficiente para afetar significativamente a produtividade da cultura (Quadro 5). A perda de água por percolação profunda foi relativamente alta quando se aplicou a vazão de $0,012 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$, reduzindo, à medida que a taxa de aplicação se elevou. Este fato é relevante, por se tratar de fluido com grande potencial de ocasionar contaminação de águas subterrâneas, principalmente por nitrato. Considerando que, em condições normais de cultivo, as faixas podem ter comprimento muito superior ao utilizado no experimento, é de se prever que a aplicação das menores vazões ($0,012$ e $0,024 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$) irá ocasionar maiores perdas de água por percolação, principalmente no início das faixas, não se recomendando, portanto, o seu uso.

Quando se analisam as curvas referentes à perda por percolação nas Figuras 22 e 23, verifica-se que a maior quantidade de sólidos totais presente na água residuária bruta (1316 mg L^{-1}) não foi suficiente para provocar redução significativa nesse tipo de perda de água, comparativamente ao uso de água residuária peneirada (598 mg L^{-1}).

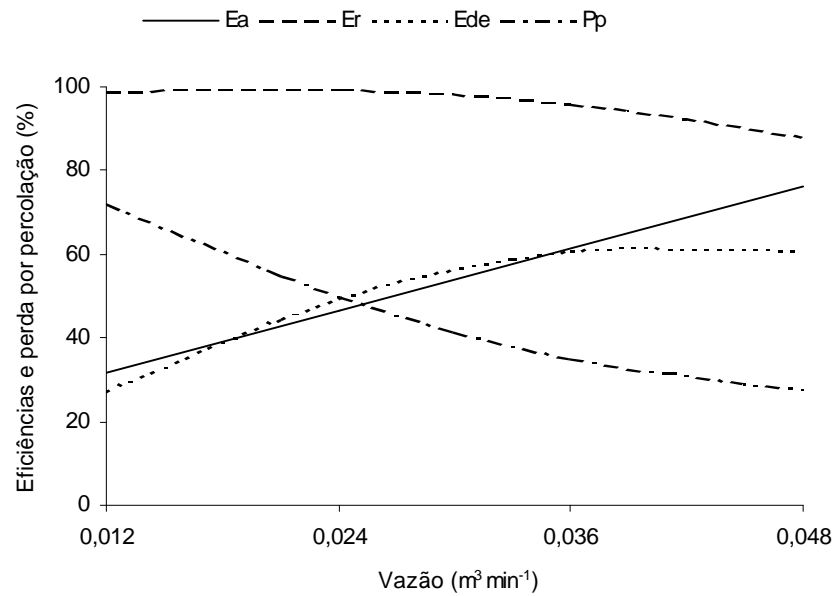


Figura 22 - Estimativa da variação da eficiência de aplicação (Ea), eficiência de armazenamento (Er), eficiência déficit excesso (Ede) e perda por percolação (Pp), em função das taxas de aplicação estudadas, com o sistema operando com água residuária bruta da suinocultura.

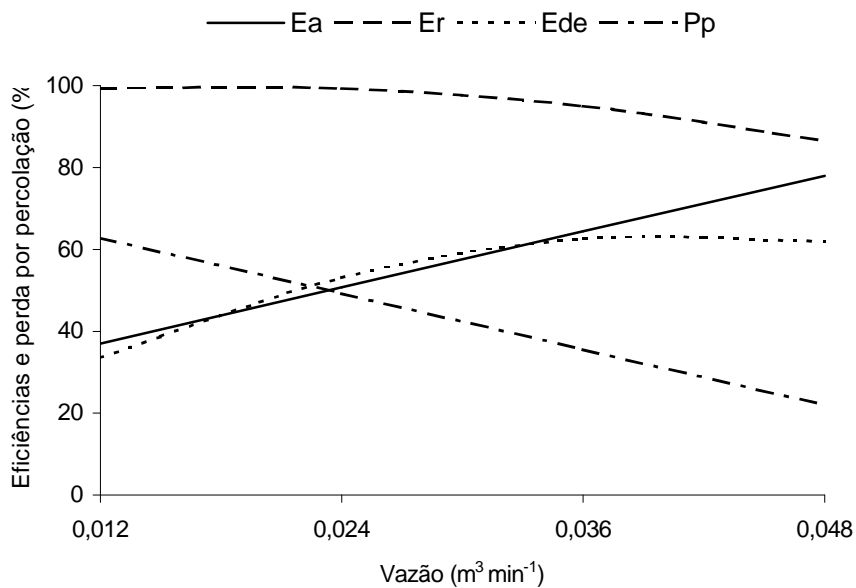


Figura 23 - Estimativa da variação da eficiência de aplicação (Ea), eficiência de armazenamento (Er), eficiência déficit excesso (Ede) e perda por percolação (Pp), em função das taxas de aplicação estudadas, com o sistema operando com água residuária peneirada da suinocultura.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

A suinocultura tecnificada, geralmente, concentra grande número de animais em pequenas áreas, visando o aumento da produção e da renda do produtor. No entanto, as águas residuárias de suinocultura são fontes de poluição do ambiente, particularmente das coleções de água. Apesar de apresentarem elevado potencial poluidor, essas águas podem se constituir em alternativa econômica para a propriedade rural, sem comprometimento da qualidade ambiental, se manejados adequadamente. A disposição controlada de águas residuárias da suinocultura no solo tem sido considerada importante alternativa para minimizar os problemas de poluição decorrentes dessa atividade. Entretanto, na Zona da Mata Mineira, que apresenta relevo bastante acidentado, sendo possuidora de rebanho suíno expressivo, a aplicação adequada de águas residuárias no solo fica dificultada. Assim, um experimento foi conduzido numa encosta localizada no Campus da Universidade Federal de Viçosa, com o objetivo de avaliar a produtividade de milho para silagem e os parâmetros de desempenho de um sistema de irrigação por faixas fechadas, com turno de rega de sete dias, usando-se água residuária da suinocultura. Na encosta foram construídas 16 faixas de irrigação com 18 m de comprimento, 4 m de largura, 2% de declividade longitudinal e declividade transversal nula. Foram avaliadas as taxas de aplicação de 0,012; 0,024; 0,036; e 0,048 m³ min⁻¹ m⁻¹, usando-se água residuária bruta e água residuária peneirada. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com oito tratamentos e duas

repetições. Modelos matemáticos foram ajustados para descrever as fases de avanço e recessão e a infiltração, em irrigações sucessivas, seguindo-se a metodologia descrita por BERNARDO (1995). Os parâmetros de desempenho avaliados foram eficiência de aplicação, eficiência de armazenamento, perda por percolação e eficiência de déficit excesso.

Nas condições em que o experimento foi conduzido, concluiu-se que:

- A produtividade do milho para silagem não foi afetada pela taxa de aplicação de água residuária da suinocultura.
- Em geral, o peneiramento da água residuária da suinocultura não afetou os parâmetros de desempenho do sistema de irrigação por faixas e a produtividade do milho para silagem.
- Aumento da taxa de aplicação da água residuária da suinocultura acarretou redução nos valores de eficiência de armazenamento e perda por percolação, além de aumento da eficiência de aplicação e de déficit excesso.
- A taxa de aplicação de $0,048 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$ foi a que apresentou melhor resultado, considerando os valores dos parâmetros de desempenho do sistema. As taxas de aplicação de $0,012$ e $0,024 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$ proporcionaram maiores perdas por percolação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J.C., GUIDOLIN, J.A. LOPES, A.S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. São Paulo: ANDA, 1989. 35p. (ANDA/SP. Boletim Técnico, 3).

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19.ed. New York: APHA, WWA, WPCR, 1995.

BALDISSERA, I.T. **Utilização do esterco de suínos como fertilizante**. Chapecó: EMPASC, 1991. 5p. (apostila).

BASSETT, D.L., FITZSIMMONS, D.W. Simulating overland flow in border irrigation. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.15, n.5, p.666-671, 1976.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6.ed., Viçosa, MG Universidade Federal de Viçosa, 1995. 657p.

BRAILE, P.M., CAVALCANTI, J.E.W.A., **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1979. 764p.

BRUMM, M.C., SUTTON, L., MAYROSE, V. B. et al. Effect of cooper in swine diets on fresh waste production, composition and anaerobic decomposition. **J. Anim. Sci.**, v. 44, n.4, p. 521-31, 1977.

- CAMPELO, P.L.G., **Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura nas características físico-hídricas e químicas de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 55p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- CIORDIA, H., ANTHONY, W.B. Viability of parasitic nematodes in wastelage. **J. Anim. Sci.**, v.28, p.133-134, 1969.
- CONRAD, J.H., MAYROSE, V. B. Animal waste handling and disposal in confinement production of swine. **J. Anim. Sci.**, v.32, n.4, p.811-815, 1971.
- COURACCI FILHO, B., **Tratamento de esgotos domésticos no solo pelo método do escoamento superficial**. São Paulo: USP, 1991. 400p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1991.
- COURACCI FILHO, B., FIGUEIREDO, R.F. Tratamento de efluentes de laticínios no solo pelo método do escoamento superficial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1995, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1995. p.459.
- DÍAZ, I.C., INATA, A.S., SOTO, A.C., ALCAÍNO, H.C. Caracterización bacteriológica y parasitológica del de desecho fecal porcino en Chile. **Avances en ciências veterinárias**, v.6, n.1, p.23-28, 1991.
- EGGUM, B.O., CHRISTENSEN, K.D. Utilization by rats of proteins in pig faeces relative to barley and fortified casein proteins. **Agric. Envir.**, v.1, p.59-64, 1974.
- ELLIOTT, R.L., WALKER, W.R. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.25, n.2, p.396-400, 1982.
- EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. Ed. Rio de Janeiro. EMBRAPA, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS, Documento, 1)
- FIGUEIREDO, R.F. Tratamento de esgotos pelo processo de escoamento superficial no solo. **Revista DAE**, São Paulo, v. 45, n. 140, p.62-66,1985.

- FREITAS, W.S. **Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura nas características agrônômicas e nutricionais do milho (*Zea mays* L.)**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 59p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2001
- GAVANDE, S.A. **Física del suelos: principios e aplicaciones**. México, Limusa-Wiley, 1972. 351p.
- HARMON, B.G., DAY, D.L., JENSEN, A.H., BAKER, D.H. Nutritive value of aerobically sustained swine excrement. **J. Anim. Sci.**, v.34, n.3, p.403-407, 1973.
- HAWKINS, G.L., HILL, D.T., ROCHESTER, E.W., WOOD, C.W. Evaluation of overland flow treatment for swine lagoon effluent. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.38, n.1, p.397-402, 1995.
- HENNIG, A., FLACHOWSKY, G., WOLFRAM, D., LOHNERT, H.J., WOLF, I. Use of pig slurry in the feeding of feedlot cattle. **Feeding of Animals**, v.52, n.8, p.471, 1982.
- HOLZAPFEL, E.A., MARIÑO, M.A., VALENZUELA, A., DIAZ, F. Comparison of infiltration measuring methods for surface irrigation. **J. Irrig. Drain. Div.**, ASCE, v.114, n.1R1, p.130-142, 1988.
- HRUBANT, G.R., DAUGHERTY, R.V., RHODES, R.A. Enterobacteria in feedlot waste and runoff. **Applied Microbiology**, v. 24, n.3, p.378-383, 1972.
- HUBBARD, R.D., THOMAS, D.L., LEONARD, R.A., BUTLER, J.L. Surface runoff and shallow ground water quality as affected by center pivot applied dairy cattle waste. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.2, p.430-4327, 1987.
- IZADI, B., WALLENDER, W.W. Furrow hydraulic characteristics and infiltration. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.28, n.6, p.1901-1908, 1985.
- JACKMOLA, A.N., KUNDU, S.S., PUNJ, M.L., SINGH, K., KAMRA, D.N., SINGH, R. Animal excreta as ruminant feed - Scope and limitations under Indian conditions. **Anim. Feed Sci. Tech.**, v.19, p.1-23, 1988.
- JORDÃO, E.P., PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 720p.

- KONZEN, E. A. **Avaliação quantitativa e qualitativa dos dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejados em forma líquida.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1980, 56p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Minas Gerais, 1980.
- KONZEN, E.A. **Manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 1983. 31p. (Circular Técnica n.6)
- KORNEGAY, E.T., HOLLAND, M.R., WEBB, K.E. et al. Nutrient characterization of swine fecal waste and utilization of these nutrients by swine. **J. Ani. Sci.**, v.44, n.44, p.608-619, 1977.
- MATOS, A.T., SEDIYAMA, M.A.N. Riscos potenciais ao ambiente pela aplicação de dejetos líquido de suínos ou compostos orgânicos no solo. SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS, 1., 1995, Ponte Nova, MG. **Anais...** Ponte Nova, MG: EPAMIG/EMATER/UFV/ASSUVAP, 1995. p.45-54.
- MINER, J. R., FINA, L.R., PIATT, C. *Salmonella infants* en cattle feedlot waste and runoff. **Applied Microbiology**, St. Joseph, v.15, n.3, p.627-628, 1967.
- OLIVEIRA, P.A.V. **Manual de manejo e utilização de dejetos de suínos.** Florianópolis: EMBRAPA – CNPSA, 1993. 188 p. (Documentos 27)
- OLIVEIRA, P.A.V. **Impacto ambiental causado pelos dejetos de suínos.** Concórdia: EMBRAPA, CNPSA, 1994. 40p.
- ORR, D.E., MILLER, E.R., KU, P.K. et al. Recycling of dried waste in swine. **J. Anim. Sci.**, v.33, n.5, p.1152, 1971. (Abstracts).
- PERDOMO, C.C. **Uso racional da água no manejo de dejetos de suínos.** In: Seminário Mineiro sobre utilização de dejetos de suínos ,1,1995, Ponte Nova, MG: EPAMIG/EMATER/UFV/ASSUVAP, 1995. p.8-23.
- PEREIRA, G.M. **Estudo das características de avanço e infiltração da água em sulcos, em um latossolo vermelho-escuro álico, com aplicação de água contínua e intermitente.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1991. 83p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- PESCOD, M.B. **Wastewater treatment and use in agriculture.** FAO: Roma, 1992. 125p. (Irrigation and Drainage Paper 47)

- PONS, A.L., MATZENAUER, R., NUSS, C.N. **O uso da água na cultura do milho**. Porto Alegre: EMATER, 1987. 16p.
- QUEIROZ, F.M. **Avaliação de gramíneas forrageiras para o tratamento de águas residuárias de suinocultura**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- RAYEJ, M., WALLENDER, W.W. Furrow model with specified space intervals. **J. Irrig. Drain. Div.**, New York, ASCE, v.113, n.1R4, p.536-548, 1987.
- RAYEJ, M., WALLENDER, W.W. Time solution of kinematics-wave model with stochastic infiltration. **J. Irrig. Drain. Div.**, New York, ASCE, v.114, n.1R4, p.605-621, 1988.
- ROCHA, R. **Emprego de dejetos de suínos na alimentação de bovinos**. In : Dia de Campo sobre Manejo e Utilização de Dejetos de Suínos. Florianópolis: EMBRAPA – CNPSA, 1994. p.39-42.
- SCHERER, E.E., CASTILHOS, E.G., JUCKSCH, I., NADAL, R. **Efeito da adubação com esterco de suínos, nitrogênio e fósforo em milho**. Florianópolis: EMPASC, 1984. 26p. (EMPASC. Boletim Técnico, 24).
- SILVA, A.T., DUARTE, E.F. **Irrigação – fundamentos e métodos**. Itaguai: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1980. 179p.
- SMITH, R.G. **The overland flow process**. Davis, Califórnia: Environmental Progress University of Califórnia, 1982. p. 195-205. (Separata)
- SOARES, A.A., OLIVEIRA, R.A. **Irrigação por superfície**. Brasília: ABEAS, 2001. 89p. (Módulo 3 da série Engenharia e Manejo da Irrigação de Irrigação).
- STANOGLIAS, G., PEARCE, G.R. Digestibility by cattle of diets containing dried pig feces. **Anim. Feed Sci. Tech.**, v.3, n.1, p.155-161, 1978.
- SUTTON, A.L. Proper animal manure utilization. **Journal of Soil and Water Conservation**, West Lafayette, Purdue University, v.49, n.2, p.65-70, 1994. (Special Supplement- Nutrient Management).
- TAIGANIDES, E.P. **Animal wastes**. London: Applied Science Publishers, 1977. 429p.

TAYLOR, G.L., NEAL, L.A. Land treatment of waste as an industrial siting advantage. In: INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE, 37, 1982, Purdue, **Proceedings**...Purdue University, 1982. p. 11-13.

VAN, R.B. **Avaliação da Fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.

VON SPERLING, E. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais/Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.2, 1996. 211p.

WALKER, W.R., SKOGERBOE, G.V.S. **Surface Irrigation: theory and practice**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, Logan: Utah State University, 1987. 386p.

WILKINSON, S.R. Plant nutrient and economic value of animal manures. **J. Anim. Sci.**, v.48, n.1, p.121-138, 1979.

APÉNDICE

APÊNDICE

Quadro 1 - Dados das curvas de retenção de água nas amostras de solo provenientes da área experimental, na camada de 0 a 60 cm de profundidade

Amostras	Umidade (dag kg^{-1})					
	0,01 MPa	0,03 MPa	0,1 MPa	0,3 MPa	1,0 MPa	1,5 MPa
Amostra 1	34,3	31,5	26,7	23,9	22,7	22,5
Amostra 2	34,4	28,8	25,8	23,0	22,2	21,8
Amostra 3	33,6	29,3	24,4	22,1	21,2	20,8
Amostra 4	35,0	29,9	25,6	22,6	24,4	21,0
Amostra 5	36,0	29,8	24,7	22,7	21,4	20,9
Amostra 6	35,9	30,0	24,7	21,8	20,6	20,2
Amostra 7	34,2	28,3	24,0	21,4	20,0	19,6
Amostra 8	34,2	30,7	25,6	22,1	20,8	20,4
Amostra 9	34,2	30,8	25,4	21,6	20,7	20,3

Quadro 2 - Valores do teor de umidade do solo antes do início de cada irrigação, para cada uma das faixas

Irrig	Data	Faixas															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	14/03	22,4	27,0	26,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	15/03	-	-	-	27,2	23,6	25,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16/03	-	-	-	-	-	-	27,2	27,6	25,8	25,8	-	-	-	-	-	-
	17/03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,4	24,2	27,0	24,9	28,1	26,6
2	27/03	23,8	24,7	24,2	22,8	21,8	21,8	23,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	28/03	-	-	-	-	-	-	-	23,3	21,3	22,0	25,3	21,5	22,7	23,0	21,0	22,3
	29/03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,0	21,0	22,3
3	04/04	20,6	21,4	21,8	21,7	21,3	22,0	21,9	21,8	-	-	-	-	-	-	-	-
	05/04	-	-	-	-	-	-	-	-	22,1	19,8	22,6	20,0	21,6	22,8	21,8	21,0
4	11/04	21,9	23,3	24,5	26,6	24,3	24,3	21,9	23,0	-	-	-	-	-	-	-	-
	12/04	-	-	-	-	-	-	-	-	24,5	23,8	24,0	23,9	23,9	24,3	24,2	22,9
5	17/04	27,0	28,0	28,0	27,8	26,9	26,9	27,8	26,3	-	-	-	-	-	-	-	-
	18/04	-	-	-	-	-	-	-	-	25,9	27,5	26,0	26,3	27,3	26,2	28,0	26,3
6	26/04	24,3	24,0	24,1	25,0	24,3	24,6	23,9	24,6	-	-	-	-	-	-	-	-
	27/04	-	-	-	-	-	-	-	-	23,9	24,6	25,0	24,2	26,2	25,3	25,0	25,7
7	03/05	25,0	26,0	25,9	26,0	26,8	25,4	26,5	27,0	-	-	-	-	-	-	-	-
	04/05	-	-	-	-	-	-	-	-	26,2	26,5	27,0	26,1	25,9	26,7	25,1	26,2
8	08/05	25,3	26,8	26,3	24,9	25,4	25,2	26,0	25,3	-	-	-	-	-	-	-	-
	09/05	-	-	-	-	-	-	-	-	26,2	26,5	27,0	26,1	25,9	26,7	25,1	26,2
9	16/05	25,3	24,8	24,0	23,9	24,2	23,9	24,7	24,5	-	-	-	-	-	-	-	-
	17/05	-	-	-	-	-	-	-	-	24,3	26,3	26,8	24,4	25,3	24,1	24,4	25,3
10	24/05	26,1	24,8	25,8	26,1	25,5	25,0	24,3	25,6	-	-	-	-	-	-	-	-
	25/05	-	-	-	-	-	-	-	-	25,9	24,9	25,9	24,7	25,8	25,9	25,5	25,7
11	30/05	26,9	27,7	28,0	27,5	27,6	27,9	27,2	26,8	-	-	-	-	-	-	-	-
	31/05	-	-	-	-	-	-	-	-	26,6	27,6	26,9	26,8	27,0	26,1	27,2	27,5

Quadro 3 - Equação de regressão ajustada para a infiltração da água no solo para água residuária da suinocultura bruta, em função do tempo, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2)

Equação de regressão	R^2
1 = $0,734204 * t^{0,56674}$	0,98
2 = $0,704387 * t^{0,63831}$	0,97
3 = $0,417697 * t^{0,67142}$	0,98
4 = $0,506598 * t^{0,57081}$	0,88
5 = $0,363566 * t^{0,89467}$	0,99
6 = $0,292997 * t^{0,71044}$	0,97
7 = $0,750263 * t^{0,6125}$	0,99
8 = $0,361538 * t^{0,89687}$	0,99
9 = $0,359380 * t^{0,89920}$	0,99
10 = $0,57316 * t^{0,77360}$	0,99
11 = $0,24553 * t^{0,78063}$	0,98

Quadro 4 - Equação de regressão ajustada para a infiltração da água no solo para água residuária da suinocultura peneirada, em função do tempo, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2)

Equação de regressão	R^2
1 = $0,709843 * t^{0,63508}$	0,99
2 = $0,916557 * t^{0,54895}$	0,94
3 = $0,276111 * t^{0,73365}$	0,98
4 = $0,411534 * t^{0,64711}$	0,94
5 = $0,716523 * t^{0,63066}$	0,99
6 = $0,380154 * t^{0,72053}$	0,98
7 = $0,971288 * t^{0,52601}$	0,98
8 = $0,709767 * t^{0,63283}$	0,99
9 = $0,726060 * t^{0,62493}$	0,99
10 = $0,81578 * t^{0,57950}$	0,98
11 = $0,77230 * t^{0,53001}$	0,99

Quadro 5 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 1, com vazão de 0,012 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 2,7696*d ^{1,2970}	0,99
2 = 0,7390*d ^{1,0164}	0,97
3 = 2,0073*d ^{1,0770}	0,88
4 = 0,5720*d ^{1,5788}	0,98
5 = 0,9418*d ^{1,4764}	0,98
6 = 1,3836*d ^{1,2401}	0,95
7 = 1,1092*d ^{1,2649}	0,96
8 = 1,4532*d ^{1,2561}	0,99
9 = 0,9399*d ^{1,3889}	0,98
10 = 1,9854*d ^{1,1316}	0,96
11 = 1,4657*d ^{1,2605}	0,98

Quadro 6 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 2, com vazão de 0,012 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 3,4350*d ^{1,2227}	0,98
2 = 0,4219*d ^{1,0551}	0,97
3 = 1,5328*d ^{1,1081}	0,97
4 = 1,6909*d ^{1,1916}	0,99
5 = 0,7986*d ^{1,5299}	0,98
6 = 2,4191*d ^{1,0308}	0,88
7 = 1,2961*d ^{1,2405}	0,90
8 = 1,3601*d ^{1,2812}	0,95
9 = 2,0829*d ^{1,1039}	0,98
10 = 2,2177*d ^{1,0774}	0,97
11 = 1,7605*d ^{1,1840}	0,99

Quadro 7 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 1, com vazão de $0,024 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2)

Equação de regressão	R^2
1 = $1,2730*d^{1,1735}$	0,95
2 = $0,8430*d^{1,0018}$	0,96
3 = $0,2496*d^{1,0879}$	0,99
4 = $0,3576*d^{1,0379}$	0,94
5 = $0,5257*d^{1,1885}$	0,99
6 = $0,4903*d^{1,3141}$	0,96
7 = $0,3840*d^{1,4000}$	0,97
8 = $0,5687*d^{1,1927}$	0,95
9 = $0,6516*d^{1,1690}$	0,91
10 = $0,6744*d^{1,1900}$	0,91
11 = $0,6129*d^{1,0020}$	0,95

Quadro 8 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 2, com vazão de $0,024 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2)

Equação de regressão	R^2
1 = $0,8672*d^{1,3172}$	0,98
2 = $0,4047*d^{1,3985}$	0,99
3 = $0,6563*d^{1,0005}$	0,90
4 = $0,3024*d^{1,0286}$	0,98
5 = $0,4230*d^{1,0961}$	0,96
6 = $0,4490*d^{1,2840}$	0,89
7 = $0,4196*d^{1,3949}$	0,96
8 = $0,4200*d^{1,3647}$	0,90
9 = $0,2303*d^{1,2290}$	0,97
10 = $0,5080*d^{1,0693}$	0,97
11 = $0,1409*d^{1,6183}$	0,94

Quadro 9 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 1, com vazão de $0,036 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2)

Equação de regressão	R^2
1 = $1,0894*d^{1,0008}$	0,95
2 = $0,1936*d^{1,2782}$	0,96
3 = $0,1426*d^{1,3030}$	0,99
4 = $0,1602*d^{1,1919}$	0,94
5 = $0,1096*d^{1,3966}$	0,99
6 = $0,6913*d^{1,0079}$	0,94
7 = $0,1666*d^{1,4053}$	<u>0,97</u>
8 = $0,6270*d^{1,0043}$	0,97
9 = $0,1861*d^{1,2385}$	0,91
10 = $0,4228*d^{1,0134}$	0,91
11 = $0,1197*d^{1,3889}$	0,95

Quadro 10 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 2, com vazão de $0,036 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2)

Equação de regressão	R^2
1 = $0,8834*d^{1,2425}$	<u>0,98</u>
2 = $0,2236*d^{1,0986}$	<u>0,99</u>
3 = $0,1873*d^{1,4166}$	0,90
4 = $0,2441*d^{1,0144}$	0,98
5 = $0,1846*d^{1,2111}$	0,96
6 = $0,4650*d^{1,0728}$	0,89
7 = $0,2177*d^{1,1373}$	0,96
8 = $0,2224*d^{1,2807}$	0,96
9 = $0,1693*d^{1,3989}$	0,97
10 = $0,2834*d^{1,2615}$	0,97
11 = $0,2046*d^{1,2035}$	0,94

Quadro 11 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 1, com vazão de 0,048 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 0,8310*d ^{1,0007}	0,99
2 = 0,1957*d ^{1,2894}	0,98
3 = 0,2849*d ^{1,0081}	0,98
4 = 0,2008*d ^{1,0240}	0,99
5 = 0,2094*d ^{1,0799}	0,99
6 = 0,2238*d ^{1,1249}	0,99
7 = 0,2476*d ^{1,1508}	0,97
8 = 0,3423*d ^{1,0803}	0,98
9 = 0,2104*d ^{1,0855}	0,99
10 = 0,2411*d ^{1,0636}	0,98
11 = 0,1789*d ^{1,2004}	0,99

Quadro 12 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 2, com vazão de 0,048 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 0,5169*d ^{1,1346}	0,98
2 = 0,1462*d ^{1,4699}	0,98
3 = 0,1760*d ^{1,2102}	0,98
4 = 0,2364*d ^{1,0077}	0,96
5 = 0,1723*d ^{1,1735}	0,97
6 = 0,4044*d ^{1,0007}	0,98
7 = 0,1331*d ^{1,2289}	0,9
8 = 0,1844*d ^{1,2320}	0,99
9 = 0,1978*d ^{1,1877}	0,99
10 = 0,2474*d ^{1,1877}	0,99
11 = 0,1665*d ^{1,2147}	0,99

Quadro 13 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), repetição 1, com vazão de $0,012 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2)

Equação de regressão	R^2
1 = $7,3655*d^{1,2251}$	0,99
2 = $1,0968*d^{1,5154}$	0,99
3 = $0,9912*d^{1,4326}$	0,99
4 = $1,7502*d^{1,3307}$	0,99
5 = $2,8659*d^{1,0155}$	0,97
6 = $2,0266*d^{1,2634}$	0,99
7 = $2,0999*d^{1,0659}$	0,94
8 = $2,0353*d^{1,1284}$	0,95
9 = $2,9046*d^{1,0074}$	0,93
10 = $2,7006*d^{1,0559}$	0,97
11 = $2,7713*d^{1,0387}$	0,94

Quadro 14 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), repetição 2, com vazão de $0,012 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2)

Equação de regressão	R^2
1 = $9,2451*d^{1,0025}$	0,93
2 = $2,1674*d^{1,2967}$	0,99
3 = $2,3872*d^{1,0885}$	0,97
4 = $0,3630*d^{1,9453}$	0,98
5 = $3,2268*d^{1,0160}$	0,98
6 = $2,2337*d^{1,1217}$	0,97
7 = $3,0575*d^{1,0026}$	0,97
8 = $2,4708*d^{1,0267}$	0,94
9 = $2,3678*d^{1,0831}$	0,97
10 = $2,3641*d^{1,0882}$	0,97
11 = $2,2318*d^{1,1675}$	0,97

Quadro 15 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), repetição 1, com vazão de $0,024 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2)

Equação de regressão	R^2
1 = $1,4057*d^{1,2911}$	0,96
2 = $0,9297*d^{1,0145}$	0,95
3 = $0,9498*d^{1,0439}$	0,95
4 = $0,3822*d^{1,0360}$	0,99
5 = $0,8796*d^{1,0008}$	0,88
6 = $0,9254*d^{1,0008}$	0,9
7 = $0,5904*d^{1,0995}$	0,90
8 = $1,6502*d^{1,0002}$	0,95
9 = $0,1471*d^{1,7165}$	0,98
10 = $0,2955*d^{1,4712}$	0,97
11 = $0,1846*d^{1,6278}$	0,99

Quadro 16 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), com repetição 2, vazão de $0,024 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2)

Equação de regressão	R^2
1 = $2,3162*d^{1,2271}$	0,89
2 = $1,7754*d^{1,0104}$	0,96
3 = $0,6239*d^{1,2304}$	0,99
4 = $0,3799*d^{1,1065}$	0,98
5 = $0,9103*d^{1,1205}$	0,97
6 = $1,0730*d^{1,0065}$	0,95
7 = $1,3513*d^{1,0089}$	0,90
8 = $1,9152*d^{1,0016}$	0,95
9 = $0,8750*d^{1,1304}$	0,97
10 = $0,8505*d^{1,1515}$	0,97
11 = $1,0720*d^{1,0521}$	0,99

Quadro 17 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), repetição 1, com vazão de 0,036 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 0,9531*d ^{1,00057}	0,98
2 = 1,2477*d ^{1,00285}	0,94
3 = 0,3348*d ^{1,45933}	0,99
4 = 0,2307*d ^{1,12591}	0,99
5 = 0,5217*d ^{1,01379}	0,94
6 = 0,5826*d ^{1,16877}	0,96
7 = 0,5899*d ^{1,01431}	0,92
8 = 0,4834*d ^{1,00640}	0,95
9 = 0,3381*d ^{1,41003}	0,99
10 = 0,9881*d ^{1,0178}	0,97
11 = 0,4973*d ^{1,00155}	0,96

Quadro 18 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), repetição 2, com vazão de 0,036 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 1,5778*d ^{1,0049}	0,97
2 = 0,7168*d ^{1,0949}	0,93
3 = 0,7796*d ^{1,0029}	0,98
4 = 0,2657*d ^{1,0472}	0,99
5 = 0,4686*d ^{1,0042}	0,98
6 = 0,3406*d ^{1,3229}	0,97
7 = 0,4758*d ^{1,0024}	0,91
8 = 0,4133*d ^{1,0027}	0,92
9 = 0,6726*d ^{1,0055}	0,97
10 = 0,6468*d ^{1,0027}	0,94
11 = 0,1813*d ^{1,3130}	0,99

Quadro 19 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), repetição 1, com vazão de 0,048 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 0,3629*d ^{1,3971}	0,98
2 = 0,1549*d ^{1,4123}	0,98
3 = 0,1957*d ^{1,4092}	0,97
4 = 0,1806*d ^{1,0492}	0,99
5 = 0,2636*d ^{1,0218}	0,95
6 = 0,3428*d ^{1,0117}	0,99
7 = 0,2192*d ^{1,1580}	0,98
8 = 0,1290*d ^{1,2436}	0,97
9 = 0,2869*d ^{1,0414}	0,98
10 = 0,2360*d ^{1,1136}	0,99
11 = 0,1704*d ^{1,1317}	0,97

Quadro 20 - Equação de regressão ajustada para o avanço de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), repetição 2, com vazão de 0,048 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 0,1681*d ^{1,5146}	0,93
2 = 0,1871*d ^{1,2172}	0,97
3 = 0,6218*d ^{1,0011}	0,96
4 = 0,1856*d ^{1,0944}	0,99
5 = 0,1495*d ^{1,2441}	0,99
6 = 0,3373*d ^{1,0029}	0,97
7 = 0,3519*d ^{1,0012}	0,97
8 = 0,3579*d ^{1,0670}	0,88
9 = 0,2050*d ^{1,1232}	0,99
10 = 0,2475*d ^{1,0502}	0,98
11 = 0,1421*d ^{1,2926}	0,98

Quadro 21 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 1, com vazão de 0,012 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 2,8701*d ^{0,5158} +115,92	0,78
2 = 2,4765*d ^{0,0661} +13,17	0,50
3 = 5,0482*d ^{0,3779} +59,11	0,70
4 = 1,0998*d ^{0,9625} +55,28	0,91
5 = 1,5556*d ^{0,8674} +69,86	0,66
6 = 2,6785*d ^{0,5989} +61,83	0,93
7 = 2,2418*d ^{0,4882} +47,69	0,77
8 = 3,1859*d ^{0,4299} +56,45	0,83
9 = 1,2676*d ^{0,8603} +60,15	0,98
10 = 2,7909*d ^{0,6403} +62,70	0,96
11 = 1,8342*d ^{0,8638} +61,08	0,96

Quadro 22 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 2, com vazão de 0,012 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 2,6702*d ^{0,5595} +108,50	0,76
2 = 1,0220*d ^{0,8995} +9,56	0,54
3 = 1,0870*d ^{0,8663} +40,28	0,75
4 = 3,5122*d ^{0,5214} +55,09	0,67
5 = 1,9085*d ^{0,5925} +61,77	0,57
6 = 2,0827*d ^{0,7222} +61,94	0,93
7 = 2,0454*d ^{0,8083} +68,52	0,84
8 = 3,3160*d ^{0,2957} +64,47	0,88
9 = 4,2783*d ^{0,4340} +57,02	0,56
10 = 4,2826*d ^{0,4239} +57,28	0,60
11 = 3,6656*d ^{0,4727} +58,61	0,60

Quadro 23 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 1, com vazão de 0,024 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 2,1249*d ^{0,5118} +46,21	0,63
2 = 2,1190*d ^{0,6346} +17,87	0,02
3 = 0,7563*d ^{0,9183} +5,69	0,54
4 = 0,6486*d ^{0,9628} +5,48	0,63
5 = 0,5987*d ^{0,9412} +10,86	0,95
6 = 0,8613*d ^{0,7760} +26,57	0,96
7 = 0,5948*d ^{0,9973} +25,33	0,93
8 = 0,8633*d ^{0,7268} +20,81	0,68
9 = 0,8390*d ^{0,9149} +25,59	0,87
10 = 0,7290*d ^{0,8783} +28,67	0,82
11 = 0,5885*d ^{0,9953} +11,21	0,70

Quadro 24 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 2, com vazão de 0,024 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 1,1555*d ^{0,6629} +39,08	0,65
2 = 0,6257*d ^{0,8979} +23,06	0,65
3 = 0,8422*d ^{0,7532} +15,33	0,67
4 = 0,9575*d ^{0,9459} +6,44	0,55
5 = 0,4780*d ^{0,9695} +11,44	0,89
6 = 0,6078*d ^{0,9813} +25,99	0,94
7 = 0,6321*d ^{0,9602} +28,71	0,94
8 = 0,5764*d ^{0,9809} +26,14	0,76
9 = 0,8758*d ^{0,8892} +25,59	0,65
10 = 0,5484*d ^{0,9591} +10,76	0,87
11 = 1,5783*d ^{0,5897} +15,26	0,76

Quadro 25 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 1, com vazão de 0,036 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 1,4496*d ^{0,7123} +20,08	0,98
2 = 0,9327*d ^{0,9981} +7,61	0,58
3 = 0,9699*d ^{0,9768} +6,49	0,91
4 = 1,1710*d ^{0,8087} +4,8	0,55
5 = 0,7747*d ^{0,9510} +6,99	0,82
6 = 1,9944*d ^{0,4763} +15,52	0,90
7 = 2,0238*d ^{0,7496} +11,74	0,77
8 = 0,6510*d ^{0,8622} +10,66	0,93
9 = 0,8360*d ^{0,9591} +6,66	0,70
10 = 0,5963*d ^{0,9392} +9,34	0,59
11 = 1,2417*d ^{0,8141} +6,98	0,64

Quadro 26 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 2, com vazão de 0,036 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 1,8243*d ^{0,5380} +29,9	0,93
2 = 0,9645*d ^{0,8664} +5,86	0,58
3 = 0,9509*d ^{0,9754} +10,79	0,90
4 = 1,1417*d ^{0,8798} +4,44	0,61
5 = 0,7389*d ^{0,9484} +8,0	0,76
6 = 1,1034*d ^{0,8559} +13,78	0,96
7 = 2,0011*d ^{0,7564} +10,07	0,96
8 = 1,9126*d ^{0,7575} +11,47	0,86
9 = 0,9956*d ^{0,9506} +12,21	0,96
10 = 1,0888*d ^{0,9422} +13,09	0,94
11 = 0,7554*d ^{0,9443} +7,72	0,62

Quadro 27 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 1, com vazão de 0,048 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 1,3137*d ^{0,7831} +12,99	0,90
2 = 1,5774*d ^{0,9138} +7,5	0,95
3 = 1,1163*d ^{0,9838} +4,92	0,72
4 = 1,4908*d ^{0,9208} +4,06	0,77
5 = 0,8410*d ^{0,9911} +4,96	0,71
6 = 0,5191*d ^{0,9478} +5,09	0,76
7 = 1,5143*d ^{0,7034} +7,96	0,68
8 = 0,5761*d ^{0,8749} +8,67	0,72
9 = 0,9938*d ^{0,9797} +4,92	0,65
10 = 1,0151*d ^{0,8505} +5,56	0,72
11 = 0,9270*d ^{0,9258} +5,88	0,74

Quadro 28 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura bruta (ARB), repetição 2, com vazão de 0,048 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 0,4757*d ^{0,9919} +14,59	0,71
2 = 0,7812*d ^{0,9814} +10,58	0,62
3 = 0,4383*d ^{0,9848} +5,66	0,50
4 = 0,5693*d ^{0,9672} +4,31	0,52
5 = 1,2512*d ^{0,9172} +5,60	0,66
6 = 0,4017*d ^{0,9276} +7,91	0,79
7 = 0,7577*d ^{0,8382} +5,32	0,78
8 = 0,4616*d ^{0,9966} +7,63	0,56
9 = 0,5608*d ^{0,9933} +7,26	0,70
10 = 0,4330*d ^{0,9979} +8,47	0,67
11 = 0,7675*d ^{0,8996} +6,07	0,53

Quadro 29 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), repetição 1, com vazão de 0,012 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 6,0557*d ^{0,2528} +248,73	0,98
2 = 1,0646*d ^{0,9185} +94,28	0,84
3 = 4,8800*d ^{0,3911} +62,50	0,54
4 = 4,5564*d ^{0,3646} +82,39	0,83
5 = 3,6123*d ^{0,7020} +60,72	0,64
6 = 4,6743*d ^{0,4655} +72,61	0,51
7 = 3,6384*d ^{0,5962} +53,87	0,73
8 = 4,6625*d ^{0,3600} +64,22	0,60
9 = 4,4659*d ^{0,5035} +63,88	0,61
10 = 1,2815*d ^{0,7234} +65,72	0,98
11 = 4,2725*d ^{0,4884} +69,61	0,53

Quadro 30 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), repetição 2, com vazão de 0,012 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 4,3912*d ^{0,6337} +141	0,66
2 = 1,9403*d ^{0,7386} +93,13	0,49
3 = 5,2227*d ^{0,3836} +67,57	0,59
4 = 1,1388*d ^{0,8309} +90,44	0,92
5 = 0,7241*d ^{0,9201} +66,06	0,70
6 = 4,1375*d ^{0,5572} +62,02	0,57
7 = 3,4301*d ^{0,4697} +59,52	0,56
8 = 3,9717*d ^{0,4044} +58,70	0,50
9 = 4,6441*d ^{0,4255} +61,82	0,51
10 = 4,7119*d ^{0,4160} +61,72	0,64
11 = 1,4458*d ^{0,7787} +71,39	0,67

Quadro 31 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), repetição 1, com vazão de 0,024 m³min⁻¹ em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 3,0334*d ^{0,2834} +70,34	0,80
2 = 1,0650*d ^{0,8894} +16,75	0,49
3 = 2,9711*d ^{0,5664} +23,05	0,97
4 = 1,4861*d ^{0,7438} +7,89	0,51
5 = 3,0662*d ^{0,5770} +20,44	0,88
6 = 4,6414*d ^{0,4187} +22,03	0,44
7 = 3,8319*d ^{0,4281} +20,48	0,63
8 = 3,76732*d ^{0,4984} +30,42	0,95
9 = 5,3239*d ^{0,3372} +24,04	0,42
10 = 4,2823*d ^{0,4455} +24,12	0,56
11 = 1,7980*d ^{0,6725} +21,07	0,63

Quadro 32 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), repetição 2, com vazão de 0,024 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 4,8839*d ^{0,4335} +64,54	0,57
2 = 1,2073*d ^{0,8427} +37,97	0,57
3 = 9,8072*d ^{0,3074} +21,32	0,97
4 = 0,7535*d ^{0,9422} +8,99	0,65
5 = 1,0913*d ^{0,8701} +26,74	0,58
6 = 1,3549*d ^{0,7501} +22,73	0,60
7 = 2,0428*d ^{0,5943} +24,12	0,66
8 = 3,9347*d ^{0,3307} +32,11	0,88
9 = 1,2721*d ^{0,7027} +25,31	0,65
10 = 1,3042*d ^{0,7007} +25,42	0,50
11 = 1,5207*d ^{0,6986} +23,82	0,53

Quadro 33 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), repetição 1, com vazão de 0,036 m³min⁻¹ em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 0,6329*d ^{0,9831} +18,2	0,66
2 = 1,1245*d ^{0,9365} +25,18	0,99
3 = 0,4830*d ^{0,9907} +21,01	0,96
4 = 0,9583*d ^{0,8670} +6,08	0,53
5 = 0,6525*d ^{0,8065} +11,59	0,78
6 = 2,3550*d ^{0,5091} +20,17	0,92
7 = 1,3842*d ^{0,6338} +13,0	0,91
8 = 0,4052*d ^{0,9844} +10,63	0,95
9 = 0,8684*d ^{0,7558} +22,27	0,91
10 = 1,0371*d ^{0,7161} +21,15	0,94
11 = 0,4921*d ^{0,9403} +9,47	0,67

Quadro 34 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), repetição 2, com vazão de 0,036 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 1,6525*d ^{0,8066} +18,2	0,96
2 = 0,4511*d ^{0,9251} +21,17	0,92
3 = 1,0413*d ^{0,7792} +15,23	0,96
4 = 0,7561*d ^{0,9414} +5,75	0,54
5 = 0,3519*d ^{0,8616} +11,34	0,50
6 = 0,4495*d ^{0,9789} +18,44	0,93
7 = 0,4617*d ^{0,9974} +10,8	0,87
8 = 2,7759*d ^{0,4416} +9,44	0,95
9 = 0,5276*d ^{0,9897} +13,88	0,96
10 = 0,5472*d ^{0,9467} +13,67	0,94
11 = 0,7535*d ^{0,9551} +8,79	0,72

Quadro 35 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), repetição 1, com vazão de 0,048 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 2,6285*d ^{0,4417} +23,3	0,52
2 = 1,0172*d ^{0,9796} +10,27	0,57
3 = 0,5208*d ^{0,9200} +12,38	0,83
4 = 0,8368*d ^{0,9358} +3,81	0,66
5 = 1,6463*d ^{0,6618} +5,41	0,59
6 = 0,6246*d ^{0,8069} +6,49	0,82
7 = 1,1956*d ^{0,6644} +6,89	0,68
8 = 0,9198*d ^{0,7833} +5,25	0,58
9 = 0,9860*d ^{0,7376} +6,32	0,68
10 = 1,0840*d ^{0,7626} +5,9	0,58
11 = 1,0313*d ^{0,8136} +5,01	0,67

Quadro 36 - Equação de regressão ajustada para a recessão de água no solo para água residuária da suinocultura peneirada (ARP), repetição 2, com vazão de 0,048 m³min⁻¹, em função da distância, e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R²)

Equação de regressão	R ²
1 = 1,1806*d ^{0,9764} +11,26	0,74
2 = 0,7779*d ^{0,8926} +6	0,58
3 = 0,6204*d ^{0,8746} +11,44	0,94
4 = 0,7449*d ^{0,9797} +4,32	0,55
5 = 1,1938*d ^{0,6279} +5,24	0,57
6 = 0,6343*d ^{0,8552} +6,81	0,81
7 = 0,3945*d ^{0,9910} +7,1	0,90
8 = 0,6278*d ^{0,9430} +7,11	0,66
9 = 0,6817*d ^{0,9578} +5,35	0,57
10 = 0,9372*d ^{0,7396} +4,68	0,76
11 = 0,6731*d ^{0,9313} +5,42	0,58