

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

***Análise do impacto socioeconômico e das alterações no sistema solo-planta  
com a irrigação de água residuária no cultivo do milho***

ROBERLAINE RIBEIRO JORGE

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

**Orientador:** Prof. Dr. José Antônio Saldanha Louzada

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Luís Carlos Timm - UFPel

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nilza Maria dos Reis Castro – IPH/UFRGS

Dr. Tiago Zschornack – Pesquisador Instituto Riograndense do Arroz (IRGA)

Porto Alegre, Dezembro de 2013.

O presente trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Professor José Antônio Saldanha Louzada

“Se você falar com um homem numa linguagem que ele compreende, isso entra na cabeça dele. Se você falar com ele em sua própria linguagem, você atinge seu coração.” (Nelson Mandela)

Dedico este trabalho a meus pais, Wilson (in memoriam) e Auzonia (in memoriam),  
aos meus irmãos, Rejane, Rodjane e Rodislaine e  
a minha mulher Rita e a minha filha Dora

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor José Antônio Saldanha Louzada, pela orientação, apoio e compreensão em todos os momentos.

Ao Professor Osvaldo José de Oliveira, pelos ensinamentos, dedicação, amizade e suporte dado durante toda a árdua jornada.

Ao Professor Luiz Olinto Monteggia, pela acolhida e apoio na condução do projeto.

A Professora Nilza Maria dos Reis Castro, pelo suporte técnico dado ao projeto de pesquisa.

Aos bolsistas de iniciação científica Giovani, Diego e Cecília que foram de extrema importância na realização do experimento.

Ao colega Hélio pelo apoio, amizade e bom humor demonstrado em todo o período.

Ao colega e fraterno amigo Carlos Aurélio pelo incentivo e apoio dado principalmente nos momentos de dificuldades.

Aos colegas Adriana e Madruga, de prestimosa ajuda na finalização do estudo.

Aos demais colegas e professores do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, pelos conhecimentos compartilhados e a fraterna convivência ao longo da minha permanência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela oportunidade de realizar esta pesquisa.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....  | 8  |
| 1.1 ÁGUAS RESIDUÁRIAS .....   | 8  |
| 1.2 REÚSO NA AGRICULTURA .....  | 9  |
| 1.2 EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS DE REÚSO AGRÍCOLA.....  | 11 |
| 1.3 OBJETIVOS.....  | 12 |
| 1.3.1 <i>Objetivo Geral</i> .....   | 12 |
| 1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....  | 12 |
| 1.4 ESTRUTURA DO ESTUDO .....   | 13 |
| REFERÊNCIAS .....   | 14 |
| 2. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PRODUTIVO DA CULTURA DO MILHO<br>IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA .....                         | 17 |
| RESUMO .....  | 17 |
| 2.1 INTRODUÇÃO .....  | 19 |
| 2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....  | 20 |
| 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 26 |
| 2.4 CONCLUSÃO.....  | 30 |
| REFERÊNCIAS .....   | 31 |
| 3. ANÁLISE DO EFEITO SALÍNICO DA IRRIGAÇÃO DO MILHO COM ÁGUA<br>RESIDUÁRIA EM AMBIENTE PROTEGIDO E A CÉU ABERTO ..... | 35 |
| RESUMO .....  | 35 |
| 3.1 INTRODUÇÃO .....  | 37 |
| 3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....  | 38 |
| 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 43 |
| 3.4 CONCLUSÃO.....  | 49 |
| REFERÊNCIAS .....   | 50 |
| 4. ANÁLISE NUTRICIONAL DO MILHO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA EM<br>AMBIENTE PROTEGIDO E A CÉU ABERTO.....             | 54 |
| RESUMO .....  | 54 |
| 4.1 INTRODUÇÃO .....  | 56 |
| 4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....  | 58 |
| 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 66 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.4 CONCLUSÃO.....   | 76  |
| REFERÊNCIAS .....  | 76  |
| 5. ANÁLISE DO CULTIVO DE MILHO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA COMO FONTE DE SUPRIMENTO DA ALIMENTAÇÃO ESCOLAR NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE-RS..... | 82  |
| RESUMO .....   | 82  |
| ABSTRACT .....   | 83  |
| 5.1 INTRODUÇÃO .....   | 84  |
| 5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....   | 86  |
| 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 94  |
| 5.4 CONCLUSÃO.....   | 102 |
| REFERÊNCIAS .....  | 103 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....   | 111 |

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Águas Residuárias

No Brasil a maioria das águas residuárias é lançada em corpos d'água receptores, causando a eutrofização devido ao excesso de nitrogênio e fósforo não removidos pelo processo de tratamento. Os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, publicados no Atlas de Saneamento de 2011 evidenciam essa situação, onde se destaca positivamente a Região Sudeste que apresenta um alto percentual de esgoto coletado (95,1%) seguida da Nordeste (45,6%), Sul (39,7%) e Centro-Oeste (28,3%). O mesmo relatório levanta uma taxa de tratamento do esgoto coletado superior a 70% na maioria dos estados brasileiros. Porém, os estados do Rio Grande do Sul, Acre, Amazonas, Alagoas e Minas Gerais apresentam uma taxa inferior a 50% de tratamento do esgoto coletado. Considerando que os investimentos em saneamento tendem a aumentar nos próximos anos, a deposição do esgoto tratado nos mananciais hídricos deve crescer. Nessa perspectiva, o aproveitamento das águas residuárias oriundas do esgoto tratado deve ser levada em consideração quando se busca a sustentabilidade ambiental e a racionalização dos recursos hídricos.

O aproveitamento de águas residuárias para uso agrícola traz uma série de vantagens sob o ponto de vista ambiental e econômico, destacando-se: o aporte nutricional as culturas pela reciclagem de nutrientes (reduzindo ou eliminando o uso de fertilizantes) e a conservação dos mananciais (van der Hoek et al., 2002). Segundo Medeiros (2007), o reúso é a melhor alternativa na conservação e preservação d'água, seja para consumo humano ou agrícola.

A prática do reúso indo diretamente do ponto de descarga até o local final, não sendo descarregado no meio ambiente, evidencia que ainda é pequena no Brasil, conforme se observa na Figura 1.





Figura 1. Mapa dos municípios que adotam a prática do reúso de águas residuárias.  
 Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008 (IBGE, 2011).

A Figura 1 mostra que o aproveitamento das águas residuárias ainda é pequeno no Brasil. A pouca utilização de águas residuárias pode ser atribuída a razões culturais, principalmente quando verificamos o uso noutros países (Cameron et al., 1997).

## 1.2 Reúso na Agricultura

A irrigação responde com cerca de 70% do total da demanda de água, tornando-se esse um dos principais desafios dos órgãos internacionais e governamentais no sentido de racionalizar o uso (Hespanhol, 2003). A Figura 2 ilustra os usos múltiplos da água nas duas regiões hidrográficas do Rio Grande do Sul.



Figura 2. Usos múltiplos da água no Rio Grande do Sul nas Regiões Hidrográficas do Uruguai e Atlântico Sul.

Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008 (IBGE, 2011).

As regiões hidrográficas possuem características sócio-econômicas e de uso do solo que as conferem um diferencial quanto as demandas de uso de água.

A expectativa é que dentro de poucos anos a agricultura represente um uso consumptivo de 80%, diminuindo a disponibilidade para uso humano e industrial (Hespanhol, 2003). A adoção do reúso reduz o uso de águas dos mananciais, entre 10% e 95%, no caso das indústrias e, entre 10% e 50%, no caso do consumo doméstico (Hespanhol, 2003).

O uso do esgoto doméstico tratado é uma alternativa ao aumento da demanda para irrigação, todavia essa prática requer precauções em função do potencial salínico e sódico do solo que a recebe (Miranda, et al., 2001). Hespanhol (2008) ressalta que a drenagem das áreas irrigadas com águas residuárias (esgoto) assume relevância, haja vista o efeito na minimização da salinização dos solos receptores.

A irrigação com águas residuárias recicla os nutrientes presentes no esgoto doméstico, reduz o uso de fertilizantes comerciais e diminui os impactos ambientais pela não deposição das águas residuárias nos cursos d'água (De Freitas et al., 2012). O reúso de águas residuárias para irrigação é uma prática cada vez mais adotada e recomendada, devido ao suprimento nutricional e hídrico das plantas (Haruvy, 1997).

Segundo Gonzaga Neto (2000), a irrigação pode representar aumento da produtividade na faixa de 200% para grande parte das culturas. O manejo da irrigação deve ter por base a conservação do meio ambiente, a fim de possibilitar a maximização dos benefícios advindos com a sua adoção (Castro et al., 2002).

O reúso de águas residuárias de esgoto doméstico tratado na irrigação requer cuidados devido a presença de grande variedade de organismos patogênicos, dentre eles: bactérias, protozoários, vírus e helmintos (Metcalf e Eddy, 2003). Portanto, o aspecto sanitário deve ser observado com muita atenção, ou seja, o esgoto precisa necessariamente passar por tratamento, previamente ao seu uso.

Júnior et al. (2011) considera a prática do reúso de águas residuárias na irrigação como um pós-tratamento desse efluente, sendo bastante eficiente. A disposição das águas residuárias se configura como uma alternativa natural de remoção da carga poluidora nele contida.

Dentro dessa perspectiva, o reúso no cultivo do milho ocupa um espaço cada vez maior, haja vista as suas necessidades em termos hídricos e de nitrogênio somadas ao seu elevado poder de absorção de nutrientes (Andrade et al., 2005).

## **1.2 Experiências Internacionais de Reúso Agrícola**

As primeiras experiências de reúso datam do século XIX na Inglaterra de onde rapidamente se disseminaram pela Europa e Estados Unidos da América. Na cidade de Melbourne na Austrália, há um sistema em operação desde 1897 (Bastos et al., 2003).

No início da prática do reúso o principal objetivo era tratar o esgoto e a irrigação com águas residuárias se constituía como uma alternativa, porém, os riscos a saúde pública a desaconselhavam em meados do século XX (Bastos et al., 2003 e Giafferis, 2011). Medeiros (2007) ressalta que no Japão, Espanha, Alemanha, EUA, Israel e Austrália o reúso agrícola é uma prática corrente, tendo incentivo por parte dos órgãos governamentais.

Segundo Bastos (1999), o Chile e o Peru se destacam na América Latina como exemplos relevantes no reúso agrícola do esgoto. A cidade de Santiago do Chile direciona a totalidade das águas residuárias para irrigação de áreas agrícolas situadas na periferia e o Peru adota o reúso essencialmente nas hortaliças e culturas consideradas industriais como a mamona e algodão. Outros países que se destacam na utilização de águas residuárias são China, Argentina e Arábia Saudita.

De acordo com Brito et al., (2004) o Brasil necessita de maior controle na reutilização de efluentes, já que na maioria das vezes em que se pratica o reúso, ocorre de forma não controlada sem nenhum monitoramento técnico e sanitário.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Avaliar o impacto socioeconômico e as alterações no sistema solo-planta, a partir da irrigação com água residuária no cultivo do milho em ambiente protegido e a céu aberto.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos do estudo são:

- Analisar o potencial produtivo do milho irrigado com água residuária;
- Analisar o efeito salínico com o cultivo do milho submetido à irrigação com água residuária com efluentes de esgoto doméstico tratado em dois ambientes de cultivo: céu aberto e ambiente protegido;
- Avaliar o efeito do aporte de nutrientes com águas de reúso na nutrição das plantas de milho (grãos e folhas) em dois ambientes de cultivo: céu aberto e ambiente protegido;
- Verificar a viabilidade de suprimento do milho da alimentação escolar no município de Porto Alegre-RS, a partir da produção com água residuária em núcleos de produção familiar.

## 1.4 Estrutura do Estudo

A estrutura do estudo está composta por quatro artigos, o qual se dividiu em seis capítulos, sendo eles:

- Capítulo 1: Introdução.
- Capítulo 2: Avaliação do Potencial Produtivo da Cultura do Milho Irrigado com Água Residuária.
- Capítulo 3: Análise do Efeito Salínico da Irrigação do Milho com Água Residuária em Ambiente Protegido e a Céu Aberto;
- Capítulo 4: Análise Nutricional do Milho Irrigado com Água Residuária em Ambiente Protegido e a Céu Aberto;
- Capítulo 5: Análise do Cultivo de Milho Irrigado com Água Residuária em Sistema de Produção Familiar como Fonte de Suprimento da Alimentação Escolar no Município de Porto Alegre-RS
- Capítulo 6: Considerações Finais.

O capítulo nº 1 faz uma introdução geral sobre o tema central, ressaltando o problema, justificando a sua escolha.

O capítulo nº 2 aborda a avaliação do potencial produtivo do milho sob irrigação com água residuária. Sabendo-se do risco de salinização e sodificação que pode resultar a partir da irrigação com efluentes de esgoto tratado, no capítulo nº 3 é discutido o tema. No capítulo nº 4, o tema em questão é a nutrição das plantas de milho. No capítulo nº 5 é estudada a alternativa de introduzir esse modelo de produção em sistema familiar.

Por fim, no capítulo nº 6, são realizadas as considerações finais perpassando pelos quatro artigos, indicando abordagens futuras do assunto.

## Referências

ANDRADE, I. P., MONTENEGRO, A. D. A., SILVA, J. D., FREIRE, M. B. G. S., SANTOS, T. E. M. (2005). Impacto do reuso de efluentes de esgoto no lixiviado de solos cultivados com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9, 212-216.

BASTOS, R. K. X. *Utilização agrícola de esgotos sanitários*. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999, 84p.

BASTOS, R. K. X. et al. Disposição no solo como método de tratamento, reciclagem ou destino final de esgotos sanitários. In: Bastos, R. K. X. (Coord.). *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*. Rio de Janeiro: RiMa, 2003. p. 1-22.

BRITO, L. P., TINÔCO J. D., COSTA, J. T., II – 019 – Reúso planejado de esgoto no semiárido nordestino: Serra Negra do Norte – RN um estudo de caso. XI Silubesa – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004.

CAMERON, K. C.; DI, H. J.; MCLAREN, R. G. Is soil an appropriate dumping ground for our wastes. *Australian Journal of Soil Research*, v.35, n.5, p.995-1035, 1997.

CASTRO, R. S. DE; SILVA, I. J. O. da. Utilização de efluente de viveiro de peixes para a irrigação do tomate cereja cultivado em diferentes substratos. *Horticultura Brasileira*, v.20, p.9-17, 2002.

DE FREITAS, C. A. S., DA SILVA, A. R. A., BEZERRA, F. M. L., FERREIRA, C. D. S., e ANDRADE, R. R. D. Crescimento vegetativo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) irrigada com água de esgoto doméstico tratado. *Conexões-Ciência e Tecnologia*, 6(1) (2012).

GIAFFERIS, G. P. Avaliação do potencial de reuso agrícola do efluente de uma estação de tratamento de esgoto com alagados construídos. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista.

GONZAGA NETO, L. Produtividade e competitividade dependem do aumento de hectares irrigados. Revista dos Agrônomos, v.3, p.14-20, 2000

HARUVY, N. Agricultural reuse of wastewater: nation-wide cost-benefit analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 66, p. 133-119, 1997.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO P. C. S., SANTOS, H. F. dos (eds). Reúso de Água. Barueri, SP: Manole, 2003.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. Estudos Avançados, v.22, n.63, p.131-158, 2008.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Atlas de Saneamento, 2011. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas\\_saneamento/default\\_zip.shtml](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtml)>. Acesso em 29 de janeiro de 2012.

JÚNIOR, A. J.; RIBEIRO, T. A. P.; DE PAULA JÚNIOR, D. R. Eficiência do reúso de águas residuárias na irrigação da cultura do milho. Irriga, v. 15, n. 3, 2011.

MEDEIROS, G. M. G. Condições de Reúso dos Efluentes Finais das ETE's do Estado da Paraíba. 2007. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

METCALF e EDDY. INC. Wastewater engineering treatment disposal reuse. 4 th ed. New York: McGraw - Hill Book, 2003. 1815 p.

MIRANDA, R. J. A.; et al. Evolução da salinidade em solo irrigado com esgoto sanitário tratado. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa-PB. Anais. ABES, 2001, p.1-6.

VAN DER HOEK, W.; HASSAN, U. M.; ENSINK, J. H. J.; FEENSTRA, S.; RASCHID-SALLY, L.; MUNIR, S.; ASLAM, R.; ALIM, N.; HUSSAIM, R.; MATSUNO, Y. Urban Wastewater: A valuable resource for agriculture; a case study from Horoonabad,

Pakistan. Research Report 63. Colombo: International Water Management Institute. 2002.



## 2. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PRODUTIVO DA CULTURA DO MILHO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA

### RESUMO

O reúso agrícola de águas residuárias vem crescendo nos últimos anos e tornando-se objeto de estudo em várias culturas e regiões. Dentro dessa perspectiva, esse trabalho teve por objetivo analisar a produção do milho irrigado com água residuária oriunda de reator anaeróbio com Tempo de Detenção Hidráulica de 10 dias e de Lagoa de Polimento e o seu efeito no sistema solo-planta. O estudo foi desenvolvido na Estação de Tratamento de Esgoto – ETE São João Navegantes no município de Porto Alegre-RS. Para tanto, além da produtividade, verificou-se o Índice de Área Foliar – IAF como parâmetros de referência. O aporte de nutrientes introduzidos no sistema com a irrigação com água residuária e a compactação provocada pelo manejo resultaram em valores de IAF da ordem de 9,77 / 7,28 / 3,03 para o tratamento testemunha - T1, T2 e T3, respectivamente. Ambos parâmetros apresentaram valores dentro da normalidade para o cultivo do milho. As produtividades obtidas em T1 (8,4 Mg ha<sup>-1</sup>), T2 (9,2 Mg ha<sup>-1</sup>) não diferiram estatisticamente pelo Teste de Tukey, ficando acima de T3 (6,3 Mg ha<sup>-1</sup>), indicando que há um potencial de aplicação agrícola desses efluentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** irrigação por sulco, produção de milho, reúso agrícola, índice de área foliar.

## EVALUATION OF THE POTENTIAL PRODUCTION OF CORN CROP FERTIGATION WITH WASTEWATER

### ABSTRACT

Agricultural reuse of wastewater has increased in recent years and becoming the object of study in various cultures and regions. Within this perspective, this study aimed to analyze the production of irrigated corn with wastewater originating from anaerobic reactor with Hydraulic detention time of 10 days, and polishing ponds and their effect on soil-plant system. The study was developed in the Sewage Treatment Plant – São João Navegantes in the city of Porto Alegre-RS. For this, as well as yield, there was the Leaf Area Index - LAI as benchmarks. The nutrient input into the system with irrigation with wastewater and compaction caused by management resulted in LAI values of about 9,77 / 7,28 / 3,03 for the control treatment - T1, T2 and T3, respectively. Both parameters showed values within the normal range for maize cultivation. Fruit yield in T1 (8,4 Mg ha<sup>-1</sup>) , T2 (9,2 Mg ha<sup>-1</sup>) did not differ by Tukey test , getting above T3 (6,3 Mg ha<sup>-1</sup>), indicating a potential application of these agricultural effluents.

**KEYWORDS:** furrow irrigation, maize production, agricultural reuse, leaf area index.

## 2.1 Introdução

Estima-se que no mundo mais de 99% da água é imprópria para o consumo humano ou tem custo muito elevado para sua exploração (Mancuso et al., 2003). Segundo Reis et al. (2005), o reúso agrícola das águas residuárias é uma excelente prática de sustentabilidade, pois propicia o controle da poluição, reciclagem dos nutrientes e o aumento da produção.

Dentre as culturas com potencial de aplicação de águas residuárias, destaca-se o milho em função do seu elevado poder de absorção de nutrientes (Melloul et al., 2001). Outra característica que o favorece o cultivo do milho com águas residuárias é o fato de não desenvolver-se rente ao solo, ficando menos exposto aos organismos presentes. O milho é uma cultura de subsistência para os pequenos e médios produtores e a sua produção ocorre, comumente em sistema não irrigado.

Por conta da escassez de chuvas, a produtividade do milho da safra 2011/2012 na região Sul foi bastante afetada e no Nordeste, houve registros de lavouras abandonadas em função do grau de comprometimento. Segundo dados da CONAB (2012), a redução da produção brasileira de milho nesta safra foi de 2,8%.

A irrigação com água residuária reduz ou até mesmo elimina o emprego de fertilizantes químicos (Hespanhol, 2003). Segundo Bastos (2003) e Florencio et al. (2006), os nutrientes presentes nesses efluentes, provenientes de estações de tratamento de esgoto, apresentam potencial de aproveitamento pelas plantas e animais (peixes). De acordo com Pescod (1992), os nutrientes contidos no efluente de esgoto doméstico tratado podem vir a substituir os fertilizantes.

É importante salientar que a disposição dos efluentes no solo, mesmo tratados não poderá causar poluição nem contaminação das águas de acordo com o artigo 29 da Resolução Conama 357/05. Ou seja, o aproveitamento das águas residuárias requer uma adequada gestão a fim de evitar passivos ambientais previstos em lei.

As alterações estruturais provocadas no solo pelos diferentes sistemas adotados na irrigação com águas residuárias podem modificar a densidade do solo, a porosidade, a infiltração de água no solo e o desenvolvimento radicular das culturas, repercutindo diretamente no rendimento produtivo. Diante disso, propõe-se neste estudo a avaliação do efeito da irrigação com água residuária no milho a partir do acompanhamento da cultura, analisando-se o índice de Área Foliar (IAF) como parâmetro biométrico e a produtividade.

## 2.2 Material e Métodos

O estudo proposto foi implantado na Estação Piloto de Tratamento de Esgoto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, construída junto a Estação de Tratamento de Esgoto São João Navegantes do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) de Porto Alegre-RS (29°59'25,54"S; 51°11'36,33 W elev 5m). A região do estudo apresenta clima Cfa, subtropical úmido com verão quente (Bergamaschi et al., 2003).

Os efluentes utilizados na irrigação originaram-se de dois processos, reator anaeróbio de fluxo ascendente com Tempo de Detenção Hidráulica - TDH de 10 dias (T2) e Lagoa de Polimento com TDH de 30 dias (T3), conforme é ilustrado na Figura 1. Adotou-se um Tratamento Testemunha (T1), irrigado com água tratada acrescido de adubação de base e cobertura.

O solo da área experimental pode ser classificado como um substrato em função de ser composto por materiais das mais diversas origens, inclusive RCD (resíduos de construções e demolições). A análise química do solo antes da implantação do experimento na camada de 0,0 a 0,6 m, tem como resultado médio os valores apresentados na Tabela 1.



Figura 1. Vista da área do experimento. A: Reator Anaeróbio – TDH-10; B: Lagoa de Polimento – TDH-30; C: Tratamento 1 (T1) ; D: Tratamento 2 (T2); E: Tratamento 3 (T3); F: Casa de Vegetação. Porto Alegre-RS (01/06/2009). Fonte: GOOGLE EARTH – MAPAS (2012).

Tabela 1. Análise química do solo antes da instalação do experimento.

| Parâmetro  | Tratamento 1<br>(T1) | Tratamento 2<br>(T2) | Tratamento 3<br>(T3) |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| Índice SMP   | 7,5                  | 7,4                  | 7,6                  |
| Fósforo - P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )  | > 100                | > 100                | > 100                |
| Potássio - K ( $\text{mg dm}^{-3}$ )   | 81                   | 86                   | 103                  |
| Matéria Orgânica - M.O. (%)  | 0,7                  | 1,0                  | 1,0                  |
| Alumínio Trocável - $\text{Al}_{\text{troc.}}$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) | 0,0                  | 0,0                  | 0,0                  |
| Cálcio Trocável - $\text{Ca}_{\text{troc.}}$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )   | 10,6                 | 10,3                 | 11,8                 |
| Magnésio Trocável - $\text{Mg}_{\text{troc.}}$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) | 2,3                  | 2,2                  | 2,7                  |
| Capacidade de Troca de Cátions - CTC ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )           | 13,9                 | 13,6                 | 15,5                 |
| Enxofre - S ( $\text{mg dm}^{-3}$ )  | 6,3                  | 6,5                  | 6,6                  |
| Zinco - Zn ( $\text{mg dm}^{-3}$ )   | 16                   | 23                   | 23                   |
| Cobre - Cu ( $\text{mg dm}^{-3}$ )   | 6,4                  | 6,6                  | 9,2                  |
| Boro - B ( $\text{mg dm}^{-3}$ )   | 0,3                  | 0,5                  | 0,5                  |
| Manganês - Mn ( $\text{mg dm}^{-3}$ )  | 2                    | 2                    | 1                    |
| Ferro - Fe ( $\text{mg dm}^{-3}$ )   | 3,0                  | 3,2                  | 3,4                  |
| Sódio - Na ( $\text{mg dm}^{-3}$ )   | 30                   | 30                   | 43                   |

Os valores encontrados na Tabela 1 comparados com as avaliações da CQFS-RS/SC (2004), para os teores de K, Ca, Mg, Zn e Cu são considerados altos; muito alto de P e baixo de  $Mn_{\text{trocável}}$ . No caso do último, podemos atribuir provavelmente ao alto pH representado na Tabela 1 pelo índice SMP.

A formulação de adubo aplicada foi 5-10-20 com aplicação de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$ . No caso do estudo, optou-se por formulações individuais de N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$  com 30, 60 e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ , sob a forma de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Nos estádios V4, V8 e V12 foram aplicados  $130 \text{ kg ha}^{-1}$  de ureia, equivalendo a  $58 \text{ kg ha}^{-1}$  de Nitrogênio. Os tratamentos T2 e T3 receberam apenas o efluente sem nenhuma complementação.

A composição granulométrica do solo da área experimental foi determinada através de amostragem composta em cada uma das três áreas (T1, T2 e T3) está descrita na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2. Composição granulométrica média da camada de 0,0 a 0,6 m.

| Composição Granulométrica      |                       |            |              |            |       |        |
|--------------------------------|-----------------------|------------|--------------|------------|-------|--------|
| Tratamento                     | Terra Fina (< 2,0 mm) |            |              |            |       |        |
|                                | Cascalho              | Terra Fina | Areia Grossa | Areia Fina | Silte | Argila |
| ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |                       |            |              |            |       |        |
| T1                             | 275                   | 725        | 399          | 234        | 295   | 72     |
| T2                             | 301                   | 699        | 366          | 219        | 342   | 73     |
| T3                             | 315                   | 685        | 357          | 189        | 379   | 75     |

A densidade aparente do solo, média de seis amostras por tratamento no perfil de 0 a 0,60 m foi  $1,23 \text{ g cm}^{-3}$ . Em relação aos parâmetros hídricos, Capacidade de Campo – CC (10 kPa); Ponto de Murcha Permanente – PMP (1500 kPa) e Capacidade de Infiltração Básica – CIB, os solos das parcelas experimentais apresentaram valores médios de  $0,2185 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ;  $0,0763 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  e  $4,3 \text{ mm h}^{-1}$ , respectivamente.

De acordo com a literatura, mesmo que haja alterações químicas no sistema solo-planta devido a irrigação com efluentes, as características físicas do solo só

serão alteradas depois de submetida a sucessivas práticas de irrigação com o referido efluente (Kouraa et al., 2002).

No experimento adotou-se o delineamento experimental em faixas, em sistema de irrigação por sulcos construídos em cada entrelinha de plantio com quatro repetições em três blocos, totalizando 12 sub-parcelas por tratamento. A Figura 2 mostra o croqui da disposição dos sulcos de irrigação na área experimental. Neste delineamento, as quatro sub-parcelas de irrigação foram distribuídas nos três tratamentos, obedecendo ao tempo de avanço, tempo de oportunidade e o tempo de recessão, possibilitando maior êxito no controle local e conseqüentemente redução dos graus de liberdade do resíduo.

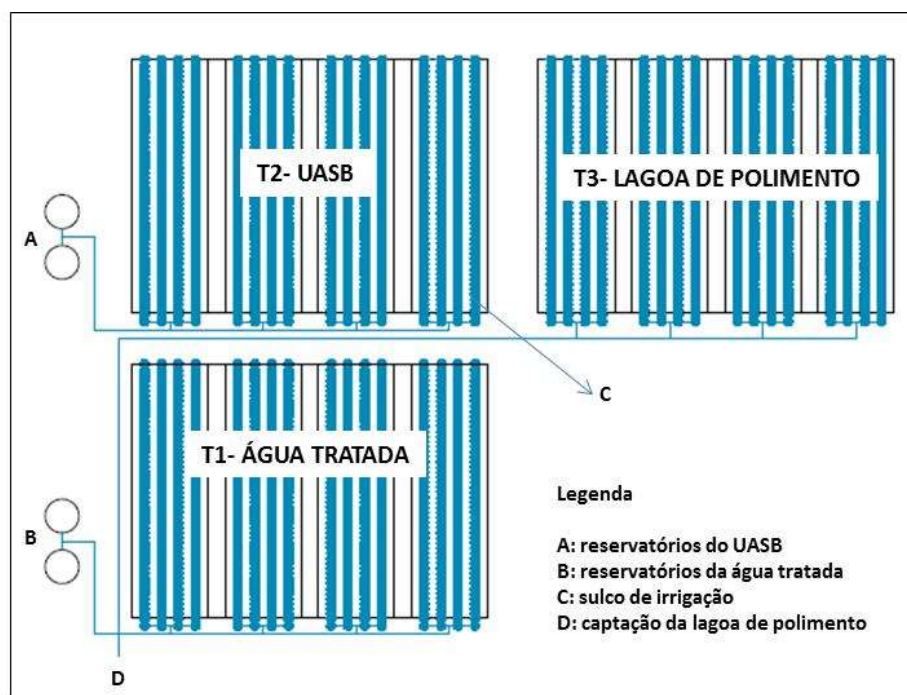


Figura 2. Croqui dos sulcos de irrigação nos três tratamentos da área experimental.

Segundo Andrade et al (1998), a irrigação por sulcos típica consiste de quatro fases: avanço, armazenamento, depleção e recessão, as quais permitem, em conjunto, a análise do desempenho do sistema. Mantovani et al. (2007) sintetiza em três fases: avanço; reposição ou irrigação e recessão.

Os dados referentes aos parâmetros das equações de avanço e de recessão utilizados no manejo de irrigação nas parcelas água tratada, efluente T2 e T3, são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Equação de avanço e equação de recessão da água nos sulcos de irrigação constituintes das parcelas experimentais.

| Parcela Experimental | Forma Genérica  | Equação de Avanço         |
|----------------------|---|---------------------------|
| T1                   | $L = p T_a^r \therefore L$ (metro) e T (minuto)       | $L = 4,41 T_a^{0,95}$     |
| T2                   | $L = p T_a^r \therefore L$ (metro) e T (minuto)       | $L = 4,03 T_a^{0,99}$     |
| T3                   | $L = p T_a^r \therefore L$ (metro) e T (minuto)       | $L = 3,78 T_a^{0,94}$     |
| Parcela Experimental | Forma Genérica  | Equação de Recessão       |
| T1                   | $T_r = s X^r + T_i \therefore X$ (metro) e T (minuto) | $T_r = 0,3 X^{2,0} + T_i$ |
| T2                   | $T_r = s X^r + T_i \therefore X$ (metro) e T (minuto) | $T_r = 1,6 X^{1,7} + T_i$ |
| T3                   | $T_r = s X^r + T_i \therefore X$ (metro) e T (minuto) | $T_r = 1,5 X^{1,4} + T_i$ |

r e p: parâmetros empíricos;  
s: coeficiente de recessão que depende da profundidade da água na superfície do solo, das características de infiltração no solo, do declive e da aspereza da superfície.

A característica do experimento em relação a irrigação não permitiu a casualização do fator água, semelhante ao estudo de Hanks et al. (1980). Apesar do reconhecimento sistemático para o fator água, esta condição experimental tem sido utilizada em pesquisas de diversas culturas e com as mais diferentes finalidades. As parcelas experimentais eram constituídas de 21 m x 15 m (315 m<sup>2</sup>), perfazendo área total de 945 m<sup>2</sup>. As linhas de bordo entre os tratamentos foram desconsideradas (bordadura) e, as demais linhas de cultivo foram assumidas como área útil. Utilizou-se o teste F para análise de variância e o teste de médias de Tukey a 5%.

As parcelas do experimento tinham oito linhas de cultivo, espaçados 0,50 m, onde fora feito o plantio entre 5 e 7 cm de profundidade e distância de 33 cm entre plantas na linha, obtendo-se uma população de aproximadamente 60.600 plantas por hectare. O plantio foi manual e em covas no dia Juliano 275 (02/10/2007) com a cultivar de milho híbrido Pioneer 30F53, tratadas com Cruiser 350FS (Tiametoxan 35%) sobre a palhada da aveia preta (*Avena strigosa*). A colheita foi realizada com 139 dias após a semeadura – DAS no dia Juliano 49 (18/02/2008).

O híbrido 30F53 é adaptado para o Sul, Centro Alto, Centro Baixo e Safrinha. Apresenta elevado potencial produtivo, precocidade e elevada resposta ao manejo. Para densidade de plantio na ordem de 80.000 pl/ha, exige maior adubação. No Sul,



o 30F53 é recomendado para o período normal de plantio, onde deve ser combinado com outros híbridos (Pioneer, 2014).

Adotou-se como critério para o momento de aplicação d'água, toda vez que o armazenamento atingisse a metade da água disponível do solo, conforme descrito na equação (1):

$$AD = [(\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \cdot Z] \quad (1)$$

em que,

AD - água disponível (L);

$\theta_{CC}$  - umidade do solo em base volume à capacidade de campo – CC ( $L^3 L^{-3}$ );

$\theta_{PMP}$  - umidade do solo em base volume no ponto de murchamento permanente – PMP ( $L^3 L^{-3}$ ); e

Z – profundidade efetiva do sistema radicular – 60 cm (L).

Estudo de Bergamaschi et al. (2006) na Estação Experimental Agronômica da UFRGS na cidade de Eldorado-RS, com uma dose de rega para o milho de 60% daquela necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo, aumentando a eficiência de uso da irrigação.

O manejo da irrigação adotado no experimento permitiu manter os níveis de água no solo sempre próximo à capacidade de campo - CC. O monitoramento foi em base diária através de sensores Time Domain Reflectometry – TDR (Modelo Trase System I 6050X1). Com o uso de hidrômetros instalados em cada sulco, controlava-se a lâmina d'água aplicada.

A área foliar e o índice de área foliar foram estimados conforme metodologia apresentada em Guimarães et al. (2002). De acordo com Fontana et al. (2001), as culturas respondem distintamente às condições ambientais de acordo com o seu potencial genético, tendo como exemplo a soja e o milho que apresentam alta correlação entre variáveis meteorológicas e variáveis de crescimento e desenvolvimento.

A avaliação das plantas de milho constou dos nutrientes translocados para os grãos e parte aérea. Adicionalmente, estimou-se a produtividade física através da coleta de amostras das plantas da área útil em cada tratamento. O resultado final foi expresso em  $Mg\ ha^{-1}$ , sendo o teor de água ajustado a 13% com 1% de impurezas (Silva, 2009).

Determinou-se mensalmente durante o ciclo do milho os atributos químicos do solo com a utilização das metodologias descritas por Tedesco et al. (1995). Paralelamente a determinação química do solo, realizou-se semanalmente as análises químicas dos efluentes, para obter-se a translocação dos nutrientes no sistema água-solo-planta.

### **2.3 Resultados e Discussão**

O índice de área foliar (IAF) expressa a proporção de cobertura do solo, sendo um fator de suma importância na definição das práticas culturais. A produtividade tem uma relação direta com IAF, uma vez que reflete a capacidade da planta de interceptar as radiações e efetuar as trocas gasosas com o ambiente.

Dentre os principais fatores que atuam nas alterações da área foliar das plantas, destacam-se: genética, disponibilidade de água, luz e nutrientes, competição com plantas invasoras, espaçamentos, danos mecânicos e a incidência de pragas e doenças.

O híbrido 30F53 apresentou em ordem decrescente de IAF, o Tratamento Testemunha – T1 seguido pelo T2 e T3. O valor médio do IAF foi de 4,2, 2,6 e 1,2, para os tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente. Estudo de Manfron et al. (2003) encontrou IAF=4,16 para o milho híbrido 30F53, ficando muito próximo ao encontrado no Tratamento Testemunha (T1). Outros valores de IAF são relatados por Kunz (2007): 5,3 para espaçamentos de 0,80 m e 4,9 para espaçamentos de 0,40 m em áreas irrigadas no Rio Grande do Sul. Na Figura 2 apresenta-se o gráfico do IAF em função do DAS.

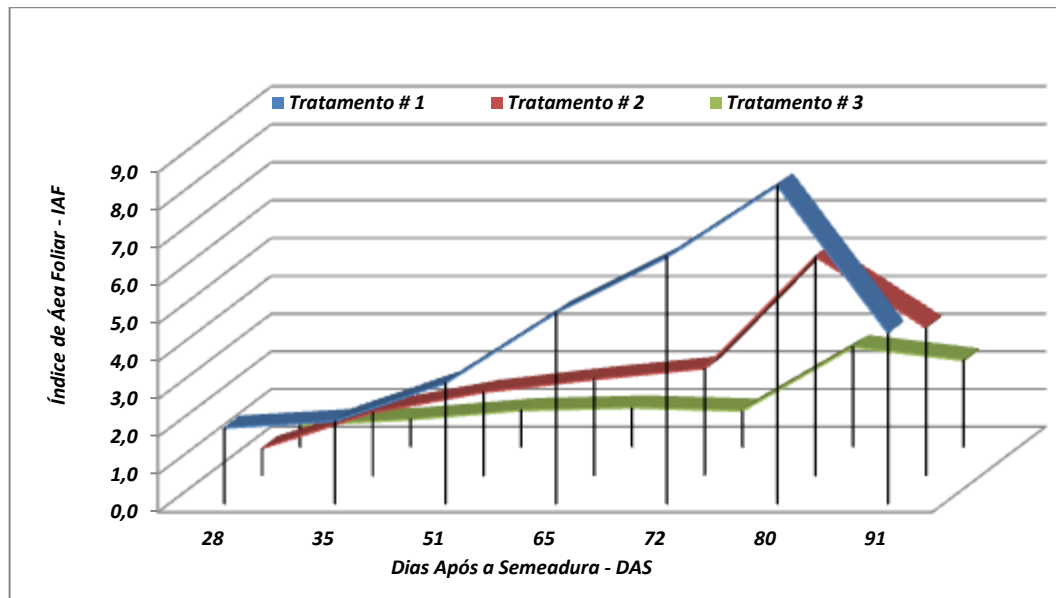


Figura 2. Valores médios observados do índice de área foliar (IAF,  $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2}$ ) para o milho híbrido, variedade Pioneer 30F53, em função dos dias após a semeadura (DAS).

O comportamento observado no IAF ficou dentro do esperado, ou seja, o IAF naturalmente cresce (28 - 80 DAS) e depois de atingir um ponto de máxima (80 DAS) decresce devido a senescência das folhas. A queda mais acentuada de IAF, após o 80 DAS, pode ser atribuída à senescência das folhas basais causada pelo auto-sombreamento. Resultados semelhantes foram constatados por Borrás et al. (2003). A Figura 3 apresenta uma visão em primeiro plano do estande dos três tratamentos com 96 DAS.



Figura 3. Experimento com 96 dias após semeadura (DAS).

As diferenças de IAF podem ser atribuídas ao intenso processo de senescência foliar, quando a cultura fica sujeita a déficit hídrico (Gadioli, 2000). Como nos três tratamentos o manejo da irrigação foi o mesmo, as diferenças observadas no IAF estão ligadas ao distinto aporte nutricional dos efluentes

verificados na translocação dos nutrientes na parte aérea e grãos de milho, conforme ilustram as Tabelas 4 e 5 dadas adiante.

Em relação aos nutrientes necessários às plantas, foi realizada a análise dos níveis de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Enxofre, Cobre, Zinco, Ferro, Manganês, Sódio, Molibdênio e o Boro nos três tratamentos. Identificou-se o Mn, Na, Fe, N e Mg em quantidades estatisticamente diferentes nos grãos entre os tratamentos.

Tabela 4. Teste de médias Tukey 5%, para as variáveis nutrientes translocados para os grãos estatisticamente diferentes. Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si estatisticamente ao nível de 5% de significância.

| Variáveis                        | T1                 | T2                 | T3                 |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Manganês ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | 7,25 <sup>b</sup>  | 7,67 <sup>b</sup>  | 9,08 <sup>a</sup>  |
| Sódio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )    | 10,54 <sup>b</sup> | 20,67 <sup>b</sup> | 65,25 <sup>a</sup> |
| Ferro ( $\text{mg kg}^{-1}$ )    | 22,17 <sup>b</sup> | 22,00 <sup>b</sup> | 27,75 <sup>a</sup> |
| Nitrogênio (%)                   | 1,12 <sup>b</sup>  | 1,36 <sup>a</sup>  | 1,08 <sup>b</sup>  |
| Magnésio (%)                     | 0,10 <sup>b</sup>  | 0,11 <sup>ab</sup> | 0,12 <sup>a</sup>  |

Tabela 5. Percentual da Relativização da Quantidade de Nutrientes e Sódio Adicionadas ao Solo dos Tratamentos T2 e T3 em relação ao T1.

| Tratamento | Macronutrientes |      |       |      |      |
|------------|-----------------|------|-------|------|------|
|            | N               | P    | K     | Ca   | Mg   |
| T1         | 100%            | 100% | 100%  | 100% | 100% |
| T2         | 51%             | 31%  | 73%   | 211% | 238% |
| T3         | 29%             | 27%  | 75%   | 211% | 200% |
| Tratamento | Micronutrientes |      |       |      |      |
|            | Cu              | Zn   | Fe    | Mn   | Na   |
| T1         | 100%            | 100% | 100%  | 100% | 100% |
| T2         | 250%            | 200% | 2750% | 650% | 592% |
| T3         | 25%             | 100% | 200%  | 500% | 619% |

N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Cu: cobre; Zn: zinco; Fe: ferro; Mn: manganês; Na: sódio.

Em relação ao macronutrientes, somente os teores de Ca e Mg dos tratamentos 2 e 3 superaram o testemunha. Já no caso dos micronutrientes, T2 e T3 superaram em quase todos analisados em relação ao T1, com destaque para o Na e Mn.

Considerando a translocação de nutrientes para a parte aérea observou-se diferenças significativas em relação ao P, Mg, Fe, Mn e Na. Os maiores níveis destes elementos estão relacionados a elevada oferta às plantas. Já o Sódio apresentou níveis elevados nos tratamentos T3 e T2, superiores ao tratamento T1 (Tabela 6), também respondendo ao mesmo princípio da oferta de Sódio pelos tratamentos às plantas.

Tabela 6. Teste de médias Tukey 5%, para as variáveis nutrientes translocados na parte aérea das plantas. Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si estatisticamente ao nível de 5% de significância.

| Variáveis                       | T1                  | T2                  | T3                  |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Fósforo (%)                     | 0,1570 <sup>b</sup> | 0,1900 <sup>b</sup> | 0,2725 <sup>a</sup> |
| Magnésio (%)                    | 0,2625 <sup>b</sup> | 0,2400 <sup>b</sup> | 0,3625 <sup>a</sup> |
| Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )    | 149,25 <sup>a</sup> | 81,42 <sup>b</sup>  | 154,58 <sup>a</sup> |
| Manganês (mg kg <sup>-1</sup> ) | 47,00 <sup>b</sup>  | 50,09 <sup>b</sup>  | 68,00 <sup>a</sup>  |
| Sódio (mg kg <sup>-1</sup> )    | 88,50 <sup>b</sup>  | 116,34 <sup>a</sup> | 114,03 <sup>a</sup> |

Entre os estádios de emergência (VE) até o de seis folhas (V6), verifica-se a transpiração baixa, tendo como fator preponderante o baixo IAF. Nesse mesmo período a evaporação aumenta devido a menor cobertura do solo e à alta disponibilidade hídrica propiciada pela irrigação nos tratamentos. A partir de V6 a transpiração passa a predominar, atingindo o pico a partir de V12.

Estas plantas apresentam ainda a característica de fixar CO<sub>2</sub> pelo metabolismo C<sub>4</sub>, implicando em maior eficiência no uso da água, tendo, sem restrições nutricionais e, sob condições de alta intensidade de radiação e de alta temperatura, elevadas taxas de fotossíntese e crescimento (Volpe et al., 1995).

Os resultados da produtividade estão apresentados na Tabela 7. As lavouras comerciais de milho no Rio Grande do Sul onde não predomina a irrigação,

apresentaram uma produtividade média na safra 2011/2012 de 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> e nas últimas dez safras de 3,5 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2012).

Tabela 7. Teste de médias para a variável produção de grãos de milho com umidade ajustada a 13%.

| Tratamento | Produtividade<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) |
|------------|---|
| T1         | 8,4 a                                   |
| T2         | 9,2 a                                   |
| T3         | 6,3 b                                   |

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si estatisticamente ao nível de 5% pelo Teste de Tukey. (dms = 1,4)

A produtividade do Tratamento T2 em valores absolutos foi 9,0% superior ao Tratamento Testemunha e 30% em relação ao T3. O fato do T2 superar a produtividade do T1 apesar do menor aporte de nutrientes (Tabela 6) pode ser explicado pela peculiaridade da irrigação com água residuária. Nessa condição, a aplicação de fertilizantes é melhor controlada devido ao parcelamento, minimizando perdas e atendendo às necessidades nutricionais das plantas nas diferentes etapas de desenvolvimento. Estudo de Pletsch (2012) com irrigação oriunda de esgoto doméstico tratado obteve uma produção de milho 50% maior que a testemunha.

Segundo MALUF et al. (2000) as maiores restrições à obtenção de altos rendimentos de milho no Rio Grande do Sul são impostas pelo déficit hídrico. Comenta também que o uso da irrigação faz com que o potencial do rendimento de grãos aumente consideravelmente.

## 2.4 Conclusão

O Índice de Área Foliar - IAF apresentou valores dentro do esperado, diferindo-se T1e T2 na comparação com T3. Os valores de 9.77, 7.28 e 3.03 para T1, T2 e T3, respectivamente, foram devido ao manejo nutricional diferenciado entre os tratamentos.

A produtividade de T3 foi de 70% da média entre T1 e T2. O maior aporte nutricional de T1 em relação ao T2 não diferenciou as produtividades, igualando-se

estatisticamente. O estudo se refere a uma safra, todavia, indica que o reúso de águas residuárias na irrigação é uma alternativa com potencial de uso no cultivo do milho.

## Referências

ANDRADE, D; BOTREL, T; PAZ, V. e FRIZZONE, J. Modelo Matemático para simulação da fase de avanço na irrigação por sulcos in Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.v2. 1998.

BASTOS, R. K. X. (Coord.). Utilização de esgotos tratados em irrigação, hidroponia e piscicultura. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2003.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R.; CARDOSO, L. S.; SILVA, M. I. G da. Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência). Porto Alegre: UFRGS, 2003. 77p.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.41, n.2, p.243-249, fev. 2006.

BORRÁS, L.; MADDONNI, G.A.; OTEGUI, M.E. Leaf senescence in maize hybrids: plant population, row spacing and kernel set effects. Field Crops Research, v.82, p.13-26, 2003.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo levantamento, julho 2012 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2012.

CQFS/RS-SC. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do solo. Comissão de Química e fertilidade do solo. 10. ed. Porto Alegre, 2004.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; LAUSCHNER, M. H.; MELLO, R. W. de. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 36, n. 3, mar. 2001.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (coord.). Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

GADIOLI, J. L.; DOURADO-NETO, D.; GARCÍA Y GARCÍA, A.; BASANTA, M. V. Temperatura do Ar, Rendimento de Grãos de Milho e Caracterização Fenológica Associada à Soma Calórica. Scientia Agricola, v.57, n.3, p.377-383, jul./set. 2000.

GOOGLE EARTH – MAPAS. Disponível em: < <http://maps.google.com>>. Acesso em: 15 de julho 2012.

GUIMARÃES D. P., SANS L. M. A.; MORAES, A. V. C. Estimativa da área foliar de cultivares de milho. In: 24º Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Florianópolis. Anais, EMBRAPA/ CNPMS. p.96, 2002.

HANKS, R. J.; SISSON, D. V.; HURTS, R. L.; HUBBARD, K. G. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 44, n. 4, p. 886-888, 1980.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In Mancuso, P. C. S.; Santos, H. F. dos (ed.) Reúso de Água. Barueri, Sp. Manole. P. 37-96. 2003.

KOURAA, A.; FETHI, F.; LAHLOU, A.; QUAZZANI, N. Reuse of urban wastewater treated by a combined stabilization pond system in Benslimane (Morocco) Urban Water, Londres, v.4, p. 373-378, 2002.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.42, n.11, p.1511-1520, nov. 2007.



MALUF, J.R.T. et al. Zoneamento agroclimático da cultura do milho por épocas de semeadura, no estado do Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, v.6, n.1, p.39–54, 2000.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. A escassez e o reúso de água em âmbito mundial. In: Reúso de água. Mancuso, P. C. S.; Santos, H. F. dos; Philippi Jr., A. (coord.). Barueri: Manole, 2003. 18p.

MANFRON, P.A. et al. Modelo do índice de área foliar da cultura do milho. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.11, p. 333-342, 2003.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação: princípios e métodos. 2 ed., atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV. 2007. 355p.

MELLOUL, A. A.; HASSANI, L.; RAFOUK, L. Salmonella contamination of vegetables irrigated with untreated wastewater. World Journal of Microbiology and Biotechnology, Oxford, v. 17, n. 2, p. 207-209, 2001.

PESCOD M. B. Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47 In: Food and agriculture organization of the united nations, 1992.

PIONEER. Híbrido de Milho 30F53. Disponível em <http://www.pioneersementes.com.br/Milho/Central-de-Produtos/Pages/Ficha-do-Produto.aspx?p=16>. Acesso em: 16 de fevereiro 2014.

PLETSCH, T. A. Irrigação de Milho por Sulcos com Efluente de Esgoto Doméstico Tratado. 2012. 71f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2012.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; Carvalho, C. E. Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole, 2005. 41p.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357/2005 - "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências." - Data

da legislação: 17/03/2005 - Publicação DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63 - Alterada pelas Resoluções nº 370, de 2006, nº 397, de 2008, nº 410, de 2009, e nº 430, de 2011.

SILVA, L. C. (2009). Quebra de Impureza e Umidade. Disponível em [http://www.agais.com/manuscript/ag0109\\_quebras\\_impureza\\_umidade.pdf](http://www.agais.com/manuscript/ag0109_quebras_impureza_umidade.pdf) acesso em 22 de julho de 2012.

TEDESCO, M. J., GIANELLO, C., BISSANI, C. A., BOHNEN, H. e VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

VOLPE, C. A.; BRUNINI, O.; CAMARGO, M. B. P. Relação entre resistência aerodinâmica ao fluxo de vapor d água e a velocidade do vento em cultivo de milho. Científica. (São Paulo) SÃO PAULO, v. 23, n. 2. p.373-382, 1995.

### 3. ANÁLISE DO EFEITO SALÍNICO DA IRRIGAÇÃO DO MILHO COM ÁGUA RESIDUÁRIA EM AMBIENTE PROTEGIDO E A CÉU ABERTO

#### RESUMO

A irrigação vem exercendo uma importância cada vez maior na agricultura, principalmente quando se leva em consideração as inúmeras vantagens que traz ao sistema produtivo. Uma das fontes de irrigação são as águas residuárias, as quais podem provocar a salinidade caso o manejo adotado esteja incorreto. O estresse hídrico é uma das principais consequências da salinidade, repercutindo decisivamente no rendimento agrícola. O estudo foi desenvolvido na Estação de Tratamento de Esgoto – ETE São João Navegantes no município de Porto Alegre-RS, Brasil. Diante desse quadro, o estudo propôs a verificação do potencial salínico-sódico das águas residuárias de dois tratamentos de esgoto: Reator Anaeróbico com Tempo de Detenção Hidráulica-TDH de 10 dias (T2) e Lagoa de Polimento com TDH de 30 dias (T3) em dois ambientes com cultivo do milho, céu aberto e em casa de vegetação. Somado a esses tratamentos, fez-se um terceiro como testemunha (T1). A classificação da água de irrigação dos três tratamentos apresentaram características que vão de baixa a alta salinidade. A Condutividade Elétrica (CE) da água de irrigação nos três tratamentos ficou 73% inferior ao limite tolerável para o milho (2,71 dS m<sup>-1</sup>). O Percentual de Sódio Trocável – PST do solo foi classificado como não sódico (< 7,0%) para os três tratamentos, em ambos ambientes de cultivo. A salinidade avaliada na safra do milho não impôs restrições ao sistema solo-planta que possam ser atribuídos unicamente aos sais encontrados na água e no solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** irrigação por sulco, salinização, produção de milho, esgoto doméstico

## **ANALYSIS OF EFFECT OF IRRIGATION SALINITY MAIZE CULTURE WITH WASTEWATER GROWING IN TWO ENVIRONMENTS**

### **ABSTRACT**

Irrigation is placing ever greater importance in agriculture, especially when one takes into account the many advantages it brings to the production system. One of the sources of irrigation are wastewater, which can cause the salinity case management adopted is incorrect. Drought stress is one of the main consequences of salinity, affecting decisively on agricultural income. The study was developed in the Sewage Treatment Plant – São João Navegantes in Porto Alegre-RS, Brazil. Given this situation, the study aimed to verify the salínico -sodium potential of wastewater from two sewage treatment: Anaerobic Reactor Hydraulic Detention Time with TDH - 10 days (T2) and polishing ponds with HRT of 30 days (T3) in two environments with maize cultivation, open sky and in the greenhouse. In addition to these treatments, there was a third party control (T1). The classification of irrigation water from the three treatments showed features ranging from low to high salinity. The Electrical Conductivity (EC) of irrigation water in the three treatments was 73 % lower than the tolerable limit for maize ( $2,71 \text{ dS m}^{-1}$ ). The exchangeable sodium percentage soil was classified as non-sodium ( $< 7,0\%$ ) for the three treatments in both culture environments. The salinity measured in the corn crop does not impose restrictions on the soil-plant system that can be attributed solely to the salts found in water and soil.

**KEYWORDS:** furrow irrigation, salinisation, corn production, domestic sewage

### 3.1 Introdução

A salinidade afeta principalmente as regiões árida e semiárida, devido a concentração elevada de sais solúveis, todavia ações antrópicas como o manejo inadequado da irrigação podem potencializar esse efeito (Oliveira et al., 2002). Solos sódicos-calcáricos e salino-sódicos ocupam uma área de 560 milhões de hectares em todo o mundo (Qadir et al., 2005). Adicionalmente aos problemas da salinidade já citados, temos a maior propensão à erosão, perda de fertilidade e a contaminação do lençol freático.

A irrigação com águas residuárias tem sido motivo de muitos estudos com o intuito de analisar os possíveis efeitos salino-sódicos nos solos depositados. Essa avaliação está relacionada a qualidade da água de irrigação e as condições antecedentes do solo. De acordo com Miranda et al. (2001) os solos de textura franco-arenosa apresentam menor tendência ao acúmulo progressivo de sódio, devido possivelmente a lixiviações pelas irrigações frequentes ou mesmo pelas águas das chuvas.

De acordo com Ayers e Westcot (1976), a maior parte dos problemas causados pela qualidade da água podem ser resumidos nos seguintes efeitos principais: salinidade, permeabilidade do solo e toxidez às plantas cultivadas. Segundo Peña (1972), a classificação e uso de água para fins de irrigação se julgam tendo em conta os seguintes aspectos: i) Características químicas; ii) Condições agronômicas e; iii) Condições edafológicas.

A classificação das águas para irrigação proposta por Richards (1954), leva em consideração a condutividade elétrica - CE (salinização) e a Relação de Adsorção do Sódio – RAS (sodificação). Enquanto a CE identifica a concentração total de sais, a RAS expressa a atividade relativa dos íons de sódio em reações de intercâmbio catiônico com o solo.

O aumento da salinidade no solo provocado pela aplicação excessiva de efluentes afeta diretamente a produtividade agrícola através do aumento da tensão osmótica. O excesso de Sódio diminui a porosidade do solo devido a dispersão dos colóides (Paganini, 1997).

A observação dos efeitos da salinidade no sistema solo-planta é fundamental na determinação do manejo mais adequado da irrigação e da cultura, principalmente quando se trata da irrigação com águas de reúso, que comumente apresentam níveis de salinidade acima do encontrado em outras fontes. A quantidade de sódio trocável presente no solo em relação aos demais cátions adsorvidos é muito

importante nos estudos de solos afetados por sais, sobretudo quando há predominância do íon sódio em relação aos demais cátions trocáveis no complexo sortivo (Amorim, 2010).

Bernardo (1995) aponta cinco parâmetros para definir a qualidade da água de irrigação, a saber: 1. concentração totais de sais; 2. proporção relativa de sódio em relação aos demais cátions; 3. concentração de elementos tóxicos; 4. Concentração de bicarbonatos; e 5. aspectos sanitários. Amorim (2010) recomenda que a classificação dos solos quanto à sodicidade (solos sódicos e não-sódicos) tenha por base os teores de sais solúveis e de sódio trocável.

No caso do uso de águas residuárias na irrigação, todos os parâmetros citados estão relacionados diretamente com o manejo da água, seja em ambiente protegido ou a céu aberto. O cultivo em ambiente protegido apresenta uma série de vantagens em relação ao céu aberto, como a proteção contra as adversidades climáticas, produção na entressafra, aumento da produtividade, aumento da qualidade dos produtos, além da maior eficiência no uso d'água e dos fertilizantes (Stanghellini, 1993). Contudo, senão forem adotadas medidas preventivas, em ambiente protegido tem-se uma intensa evaporação, a qual resulta em deposição de sais na superfície do solo.

Diante desse quadro, este estudo objetiva avaliar o efeito salínico-sódico no solo cultivado com milho submetido a irrigação com água residuária em dois ambientes de cultivo.

### **3.2 Material e Métodos**

O experimento com a cultura do milho (*Zea mays* L.) foi conduzido na Estação Piloto de Tratamento de Esgoto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, construída junto a Estação de Tratamento de Esgoto – ETE São João Navegantes do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) de Porto Alegre-RS (29°59'25,54"S; 51°11'36,33 W elev 5m). O estudo foi realizado em dois ambientes de cultivo, céu aberto e ambiente protegido. Em ambos ambientes, a cultura do milho foi irrigada com efluente oriundo do reator anaeróbico com Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de 10 dias – T2 e da Lagoa de Polimento com TDH de 30 dias – T3.

O processo de tratamento do esgoto da ETE São João Navegantes até chegar aos efluentes usados na irrigação dos experimentos, passa inicialmente pelo

gradeamento e desarenação tendo como produto final o esgoto pré-tratado. Após essa etapa, o esgoto é bombeado até o reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), sendo armazenado em dois reservatórios e conduzido para uma Lagoa de Polimento, dimensionada para um tempo de detenção hidráulica de 30 dias. A utilização combinada do reator UASB com a Lagoa de Polimento resulta na maior remoção de sólidos dissolvidos e organismos patogênicos. A Figura 1 a seguir apresenta o diagrama esquemático dos efluentes gerados e a estrutura do experimento na ETE.

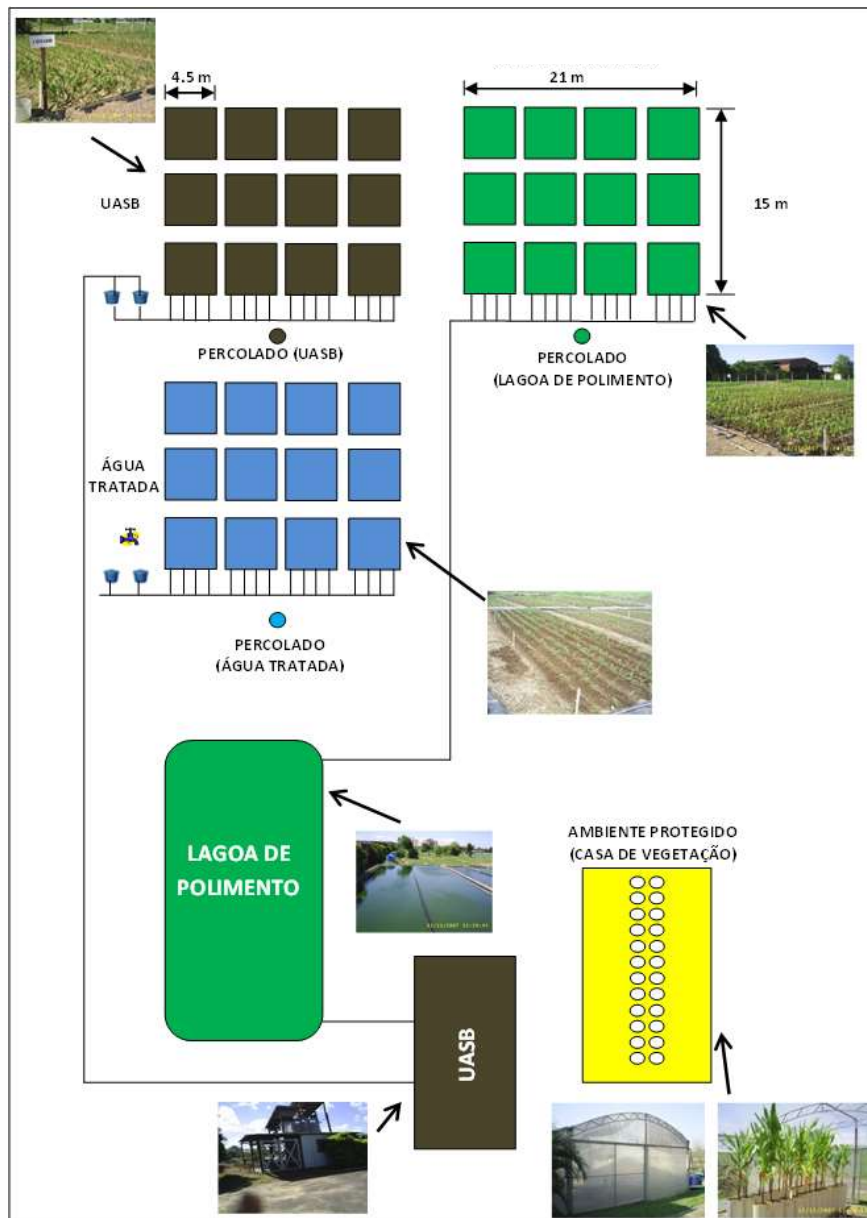


Figura 1. Esquema de geração dos efluentes (TDH-10 e TDH-30) na ETE São João Navegantes – Porto Alegre/RS.

No experimento a céu aberto adotou-se o delineamento experimental em faixas, com sistema de irrigação por sulcos e plantio em linhas de cultivo com quatro

repetições e três blocos, totalizando 12 sub-parcelas por tratamento. Os tratamentos assumiram as dimensões de 21 m x 15 m (315 m<sup>2</sup>), perfazendo uma área total de 945 m<sup>2</sup>.

O solo do local possui histórico de aterro de diversos materiais incluindo descartes de construção, impossibilitando a classificação taxonômica. Seguindo orientação do DMAE, a área de cultivo a céu aberto foi totalmente impermeabilizada por uma lona de polietileno de alta densidade (PEAD) através da remoção de uma camada de 85 cm do solo e posterior recolocação. O percolato proveniente de cada um dos tratamentos foi conduzido por gravidade em estruturas de alvenaria para captação e posterior análise, conforme apresenta a drenagem na Figura 2.

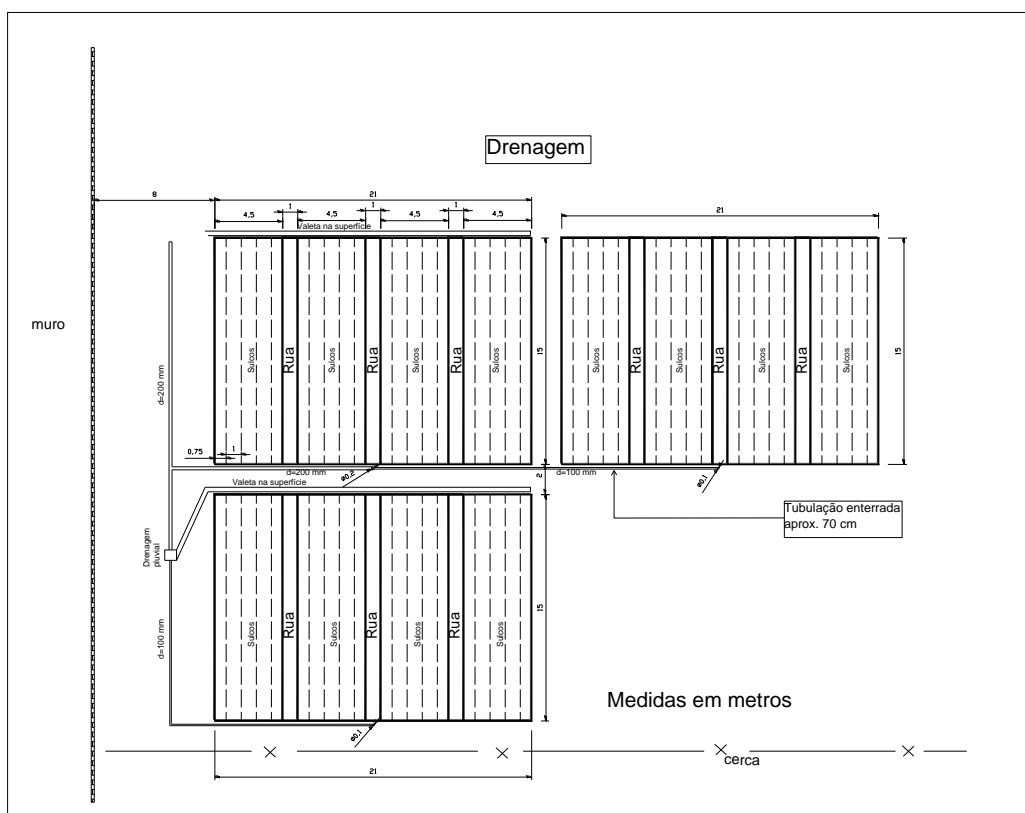


Figura 2. Esquema da drenagem dos percolados gerados pelos três tratamentos.

Cada uma das três áreas possui uma valeta ao longo da largura da parcela (21 m), que se interliga a drenagem pluvial. Tubulações de 100 e 200 mm enterradas a 70 cm de profundidade coletam o efluente percolado dos tratamentos 1, 2 e 3 e se unem a drenagem do sistema. As três parcelas tem um ponto de coleta do percolato para realização das análises químicas.



O solo da área a céu aberto foi utilizado para preenchimento das colunas de PVC do ambiente protegido. O solo foi submetido à secagem ao ar e passado em peneira com malha de 4 mm. Para que não houvesse um fluxo preferencial d'água nas colunas de PVC, adicionou-se o solo aos poucos, distribuindo de forma uniforme dentro da coluna procurando-se reproduzir, o mais próximo possível, a densidade do solo em campo. No fundo da coluna colocou-se uma camada de brita # 2 coberto por uma manta geotêxtil para impedir a passagem de solo.

Além dos efluentes do reator anaeróbio (T2) e da Lagoa de Polimento (T3), adotou-se um Tratamento Testemunha (T1), irrigado com água tratada acrescida de adubação de base e cobertura. As dosagens da adubação foram de acordo com as recomendações da CQFS-RS/SC (2004) para a cultura do milho.

As parcelas do experimento a céu aberto tinham oito linhas de cultivo, espaçada de 0,50 m entre si com o plantio entre 5 e 7 cm de profundidade e distância de 33 cm entre plantas na linha, proporcionando um estande final de 60.600 plantas por hectare. Assumiu-se as duas linhas de plantio localizadas no perímetro da parcela, como bordadura e as demais como área útil.

O plantio do milho no experimento a céu aberto foi realizado no dia juliano 275 (02/10/2007), cultivar Pioneer 30F53, tratadas com Cruiser 350FS (Tiametoxan 35%) sobre a resteva de aveia preta (*Avena strigosa*). A colheita do milho foi realizada no dia juliano 49 do ano seguinte, perfazendo um total de 139 dias de ciclo (18/02/2008).

Paralelamente ao campo, foi conduzida em ambiente protegido uma unidade experimental constituída de 24 colunas de PVC de 300 mm de diâmetro e 700 mm de altura. Cada tratamento com oito repetições foi distribuído em duas fileiras em delineamento inteiramente casualizado, por ser o mais frequentemente utilizado em experimentos de laboratório e nos ensaios com vasos (Banzatto e Kronka, 2006). A casa de vegetação possuía as dimensões de 6,5 m x 9,5 m e de 2,5 m de pé direito.

As lâminas de irrigação aplicadas aos dois ambientes tiveram critérios distintos. Na condição céu aberto a umidade do solo esteve sempre próximo à capacidade de campo (CC) através do registro diário do conteúdo de água do solo por meio de sensores TDR (modelo Trase System I 6050X1) instalados em cada tratamento. Na condição ambiente protegido adotou-se o critério da percolação forçada, irrigando cada coluna de PVC com excedente hídrico.

As avaliações envolveram o sistema solo e efluente (irrigado e percolado), tendo o milho como bio-indicador. A água constituinte da irrigação e do percolado foi

monitorada na entrada e na saída dos tratamentos, com coleta através de dreno nos dois sistemas de cultivo. As variáveis analisadas na água constituinte da irrigação nos três tratamentos: água tratada (T1), TDH-10 (T2) e TDH-30 (T3) foram: condutividade elétrica (CE), níveis de Cálcio, Magnésio e Sódio, conforme metodologia Standard Methods (Eaton et al., 2005). A periodicidade de coleta do material durante o período da irrigação foi semanal. As amostras de solo foram coletadas mensalmente em três diferentes profundidades, 0 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm, em que efetuou-se análise química completa de acordo com os procedimentos descritos por Tedesco et al., 1995. As amostras foram coletadas antes do plantio, durante o desenvolvimento do milho e após colheita, totalizando seis coletas.

Estimou-se a RAS (Relação de Adsorção de Sódio) do efluente utilizado na irrigação (Água Tratada, TDH-10 e TDH-30) na entrada e na saída, assim como a P.S.T. (Porcentagem de Sódio Trocável) do solo no período estudado. As equações (1) e (2) permitem a estimativa da RAS e o PST:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

Onde:

Os teores de Na, Ca e Mg são dados em  $mg L^{-1}$

A relação conhecida como Porcentagem de Sódio Trocável (PST), cujo valor é obtido pela equação 2 (Richards, 1954; Ayers e Westcot, 1994):

$$PST = \frac{Na^+}{Na^+ + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

Os teores de Na, K, Ca e Mg são dados em  $mg L^{-1}$

A classificação dos solos quanto à sodicidade foi realizada de acordo com os critérios citados por Pizarro Cabello (1985; 1996), que agrupam as classes de PST conforme a Quadro 1.

Quadro 1. Classificação dos solos quanto à sodicidade em função da PST.

| Classe                 | PST       |
|------------------------|-----------|
| Não-sódicos            | < 7%      |
| Ligeiramente sódicos   | 7% - 10%  |
| Mediamente sódicos     | 11% - 20% |
| Fortemente sódicos     | 21% - 30% |
| Excessivamente sódicos | > 30%     |

### 3.3 Resultados e Discussão

Observou-se através da RAS e da condutividade elétrica (CE), com valores médios de 121, 734 e 555  $\mu\text{S cm}^{-1}$  para os tratamentos T1, T2 e T3 (Tabela 1), respectivamente, que os valores da CE diferem entre os tratamentos e a RAS só diferiu entre os tratamento T1 comparado com os tratamentos T2 e T3. Isso mostra que há um acréscimo de sais nas águas oriundas dos tratamentos T2 e T3 em comparação com a água tratada.

Tabela 1. Média dos Parâmetros do Efluente Irrigado por Tratamento (céu aberto e ambiente protegido).

| Tratamento | Parâmetros                     |        |         |                               | RAS     |
|------------|--------------------------------|--------|---------|-------------------------------|---------|
|            | Ca                             | Mg     | Na      | CE                            |         |
|            | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- |        |         | --- $\mu\text{S cm}^{-1}$ --- |         |
| 1          | 6,40 b                         | 3,26 c | 8,69 b  | 121 c                         | 3,96 b  |
| 2          | 13,50 a                        | 7,91 a | 57,92 a | 734 a                         | 17,79 a |
| 3          | 13,76 a                        | 6,23 b | 59,41 a | 555 b                         | 18,79 a |

Médias seguidas por mesma letra, minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Na: Sódio; CE: Condutividade Elétrica; RAS: Relação de Adsorção de Sódio.

A qualidade da água de entrada tem uma classificação C1S1 para o tratamento com água tratada e C2S3 para T2 e T3. De acordo com o diagrama (Figura 3) do "U.S. Salinity Laboratory Staff (apresentado por Bernardo, 1995), as duas classificações oferecem poucas restrições para uso em irrigação levando em consideração a salinidade e a alcalinidade (sodicidade).

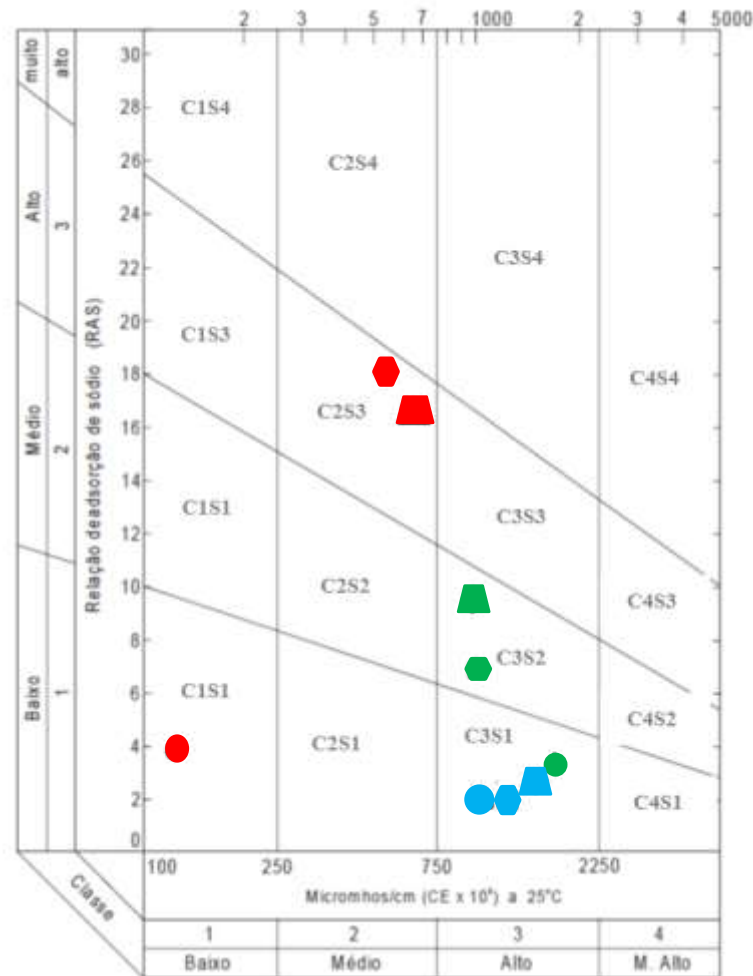


Figura 3. Diagrama para classificação de águas para irrigação (Bernardo, 1995 e Richards, 1954).

#### Legenda

- Irrigado - T1
- ▲ Irrigado - T2
- ◆ Irrigado - T3
- Percolado - T1 (Céu Aberto)
- Percolado - T1 (Ambiente Protegido)
- ▲ Percolado - T2 (Céu Aberto)
- ▲ Percolado - T2 (Ambiente Protegido)
- Percolado - T3 (Céu Aberto)
- Percolado - T3 (Ambiente Protegido)

A Tabela 2 apresenta os resultados da caracterização dos sais do percolado nos dois ambientes de cultivo. A classificação dos percolados nos três tratamentos do experimento a céu aberto foi a mesma, C3S1, caracterizando-se pela alta salinidade e baixa sodicidade.

Tabela 2. Média dos Parâmetros do Efluente Percolado por Tratamento (céu aberto e ambiente protegido).

| Tratamento                        | Parâmetros                     |          |         |                     |                   |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------|---------|---------------------|-------------------|
|                                   | Ca*                            | Mg**     | Na**    | CE**                | RAS <sup>ns</sup> |
|                                   | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- |          |         | μS cm <sup>-1</sup> |                   |
| Experimento a Céu Aberto          |                                |          |         |                     |                   |
| 1                                 | 113,17 b                       | 32,81 b  | 17,49 b | 953,33 b            | 2,15 a            |
| 2                                 | 190,95 a                       | 70,39 a  | 32,94 a | 1623,33 a           | 3,06 a            |
| 3                                 | 160,58 ab                      | 39,99 b  | 22,07 b | 1368,33 a           | 2,19 a            |
| Experimento em Ambiente Protegido |                                |          |         |                     |                   |
| Tratamento                        | Ca*                            | Mg**     | Na*     | CE*                 | RAS**             |
|                                   | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- |          |         | μS cm <sup>-1</sup> |                   |
| 1                                 | 177,16 a                       | 60,20 a  | 40,79 b | 1738,33 a           | 3,95 b            |
| 2                                 | 99,95 b                        | 20,45 b  | 76,26 a | 1142,83 b           | 10,31 a           |
| 3                                 | 132,77 ab                      | 37,11 ab | 73,80 a | 1324,83 ab          | 8,39 a            |

Médias seguidas por mesma letra, minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% (\*) e 5% (\*\*) de probabilidade e ns não significativo. Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Na: Sódio; CE: Condutividade Elétrica; RAS: Relação de Adsorção de Sódio.

No ambiente protegido, o percolado do T1 foi classificado também como C3S1 e os T2 e T3 como C3S2, o qual se caracteriza pela alta salinidade e média sodicidade.

Em relação ao Sódio, verifica-se no experimento a céu aberto a ação do solo como agente depurador, evidenciado pela queda substancial observada dos teores entre o irrigado e o percolado. Houve uma diminuição da ordem de 43% e 63% nos T2 e T3, respectivamente. Porém, em T1 com água tratada, houve um aumento da ordem de 101%, em função da remoção dos sais presentes no solo.

No ambiente protegido observou-se um aumento dos teores de Sódio do percolado em relação ao irrigado, com valores de 469%, 32% e 24% para T1, T2 e T3, respectivamente. A maior taxa de evapotranspiração do ambiente protegido pode ter contribuído para ter ocorrido o efeito oposto ao ambiente a céu aberto.

O acréscimo de Sódio pela irrigação pode provocar a defloculação das argilas tendo impacto direto no fluxo de soluções (Montes et al., 2006). Duarte et al. (2008)

em seus experimentos com irrigação de água residuária, observaram aumentos significativos no teor de Sódio.

De acordo Bower e Chaney (1974), se a quantidade de água residuária adicionada ao solo somada a precipitação pluviométrica não for muito maior que a evapotranspiração, podem ocorrer aumento dos índices de sais no solo. A Tabela 3 apresenta os valores das lâminas de irrigação nos dois ambientes de cultivo, onde se vê que no ambiente protegido há uma maior tendência à salinização do solo.

A salinidade da água de irrigação medida pela CE, foi de 0,12 dS m<sup>-1</sup> (T1), 0,73 dS m<sup>-1</sup> (T2), e 0,55 dS m<sup>-1</sup> (T3), bem aquém de 2,71 dS m<sup>-1</sup>, valor máximo tolerável para o milho de acordo com estudo de Blanco et al. (2005). Esses mesmos valores segundo Mancuso e Santos (2003), assim como (Ayres e Westcot, 1991), são classificados como pouco restritivos à irrigação devido a salinidade.

Tabela 3. Lâmina d'água média nos dois ambientes de cultivo.

| Tratamento | Experimento a Céu Aberto |                      |       | Experimento em Ambiente Protegido |
|------------|--------------------------|----------------------|-------|-----------------------------------|
|            | Lâmina Irrigada          | Lâmina Pluviométrica | Total | Total<br>--mm--                   |
|            | -----mm-----             |                      |       |                                   |
| 1          | 411,1                    |                      | 826,5 | 662,9                             |
| 2          | 396,3                    | 415,41               | 811,7 | 647,5                             |
| 3          | 404,5                    |                      | 819,9 | 641,4                             |

O quadro 2 apresentada por Medeiros (2007), relaciona o grau de tolerância das culturas em relação a salinidade.

Quadro 2. Grupos de tolerância relativa à salinidade.

| Grupos de tolerância relativa das culturas | Salinidade limiar (SL) dS/m |
|--|-----------------------------|
| Sensíveis                                  | < 1,3                       |
| Moderadamente sensíveis                    | 1,3 - 3,0                   |
| Moderadamente tolerantes                   | 3,0 - 6,0                   |
| Tolerantes                                 | 6,0 - 10,0                  |
| Não adequado para a maioria das culturas   | > 10,0                      |

Fonte: Ayers e Westcot (1999) e Medeiros (2007).

O milho é considerado uma cultura moderadamente sensível e pode ser afetada pelo Sódio, através da absorção via foliar, quando se faz irrigação por aspersão e, sobretudo, durante períodos de altas temperaturas e baixa umidade. Gheyi et al. (2010) mencionam que esse tipo de toxicidade resulta em danos na bordadura e no ápice das folhas. No caso dos experimentos, tanto a céu aberto como no ambiente protegido, esse risco é reduzido em função de ter sido adotada a irrigação por sulcos. Adicionalmente, o solo sempre se manteve com a umidade próxima ao limiar da capacidade de campo (CC), dificultando assim, o processo de salinização do solo.

As Tabelas 4 e 5 apresentam os parâmetros que identificam os possíveis efeitos salino-sódicos da irrigação com água residuária através do perfil do solo nos dois ambientes de cultivo.

Tabela 4. Caracterização dos Parâmetros Químicos do Solo – Experimento a Céu Aberto (média das seis avaliações realizadas em ago/set/out/nov/dez/jan).

| Tratamento | Profundidade (cm) | Parâmetros          |                        |                     |                     |                     |      |
|------------|-------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
|            |                   | K                   | Ca                     | Mg                  | Na                  | CE                  | PST  |
|            |                   | mg dm <sup>-3</sup> | cmolc dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | μS cm <sup>-1</sup> | %    |
| T1         | 0 – 20            | 95,50               | 11,17                  | 2,27                | 44,17               | 119,76              | 1,73 |
|            | 20 – 40           | 99,00               | 11,50                  | 2,28                | 43,50               | 120,50              | 1,66 |
|            | 40 – 60           | 96,33               | 10,98                  | 2,40                | 42,17               | 125,42              | 1,65 |
| T2         | 0 – 20            | 98,17               | 10,58                  | 2,33                | 49,83               | 111,92              | 2,42 |
|            | 20 – 40           | 104,83              | 11,50                  | 2,38                | 46,33               | 115,72              | 1,13 |
|            | 40 – 60           | 126,83              | 11,82                  | 2,60                | 51,17               | 118,36              | 1,93 |
| T3         | 0 – 20            | 92,50               | 10,93                  | 2,50                | 55,33               | 106,18              | 2,14 |
|            | 20 – 40           | 97,33               | 11,55                  | 2,78                | 53,33               | 108,56              | 1,71 |
|            | 40 – 60           | 97,00               | 11,50                  | 2,63                | 51,17               | 109,98              | 2,19 |

K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Na: Sódio; CE: Condutividade Elétrica; PST: Percentual de Sódio Trocável.

Tabela 5. Caracterização dos Parâmetros Químicos do Solo Após a Colheita – Experimento em Ambiente Protegido.

| Tratamento | Parâmetros          |                        |                     |                     |                     |      |
|------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
|            | K                   | Ca                     | Mg                  | Na                  | CE                  | PST  |
|            | mg dm <sup>-3</sup> | cmolc dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | µS cm <sup>-1</sup> | (%)  |
| 1          | 128,0               | 8,5                    | 1,5                 | 35,0                | 135,0               | 1.71 |
| 2          | 127,0               | 9,8                    | 2,2                 | 134,0               | 166,0               | 5.39 |
| 3          | 108,0               | 8,8                    | 2,1                 | 138,0               | 142,0               | 6.11 |

K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Na: Sódio; CE: Condutividade Elétrica; PST: Percentual de Sódio Trocável.

A classificação do solo quanto à sodicidade em todos os tratamentos, tanto no cultivo a céu aberto como no ambiente protegido foi de solo não-sódico com PST < 7.0% (Quadro 1), indicando que possíveis efeitos deletérios a cultura do milho não poderão ser atribuídos ao Sódio exclusivamente.

Segundo Freire et al. (2003), a estimativa do PST resultante do uso de águas salinas na agricultura irrigada apresenta variação conforme o solo, isto é, há necessidade de conhecimento de cada solo para estimar o comportamento relativo à sodicidade.

Excetuando-se o Na (Sódio) no ambiente protegido, o qual teve um crescimento bastante acentuado nos tratamentos T2 e T3 em relação ao T1, nos dois experimentos (céu aberto e ambiente protegido), observa-se que praticamente não houve diferença significativa de concentração dos sais ao longo do perfil estudado e a pequena alteração que existe é levemente crescente ao longo da profundidade. Isso faz sentido à medida que a frequência da irrigação provoca a lixiviação dos sais para as camadas mais profundas. Ferreira et al. (2007) comprovaram em experimento com a variedade de milho UFVM 100 que a lixiviação ao longo do perfil do solo provoca a redução dos sais solúveis na zona radicular das culturas.

O alto rendimento dos grãos observado principalmente no tratamento 2, mostrou que não houve efeito restritivo por influência da irrigação com água residuária, ou seja, não ocorreram problemas relacionados exclusivamente à salinidade da água de irrigação, tampouco do solo (Tabela 6).



Tabela 6. Teste de médias para a variável produtividade do milho com umidade ajustada a 13% e percentual de impurezas final 1% nos diferentes tratamentos.

| Tratamento | Produtividade do Milho<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) |                      |
|------------|--|----------------------|
|            | Céu Aberto*                                      | Ambiente Protegido** |
| T1         | 8,4 a  | 6,4 ab               |
| T2         | 9,2 a  | 8,5 a                |
| T3         | 6,3 b  | 5,3 b                |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. \* Média de doze repetições (3 plantas/repetição) - Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade. \*\* Média de oito repetições - Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A Figura 4 ilustra a cultura do milho nos dois ambientes de cultivo em diferentes estádios fenológicos.

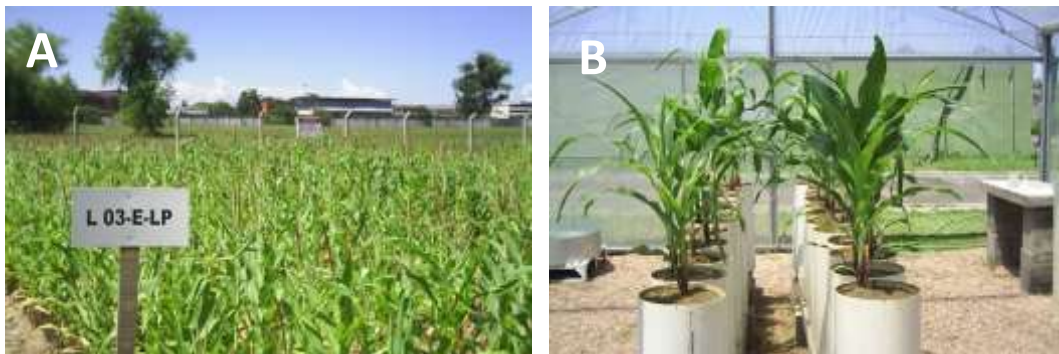


Figura 4. Imagem do milho no experimento a céu aberto (A) e em ambiente protegido (B) depois de transcorridos 91 e 50 dias após a semeadura, respectivamente.

### 3.4 Conclusão

A Condutividade Elétrica (CE) da água de irrigação diminuiu na seguinte ordem: T2 > T3 > T1, enquanto que a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) decresceu na sequência: T3 > T2 > T1. A CE em T2 foi 73% inferior ao limite tolerável para o milho.

O Percentual de Sódio Trocável – PST, tanto no cultivo a céu aberto como no ambiente protegido, nos três tratamentos ficou abaixo de 7,0%, sendo classificado como não sódico.

Os valores encontrados para os parâmetros da qualidade da água e do solo receptor para a safra correspondente ao ciclo de 139 dias, associado a susceptibilidade do milho nos dois ambientes de cultivo, mostraram que as mesmas não trazem efeitos deletérios ao sistema solo-planta que possam ser atribuídos unicamente a salinidade.

## Referências

AMORIM, J. R. A. Espacialização da porcentagem de sódio trocável do solo no Perímetro Irrigado Califórnia, em Canindé de São Francisco, Sergipe / Julio Roberto Araujo Amorim ... [et al.] – Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010. 17 p. (Boletim de Pesquisa / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 61). Disponível em [http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2010/bp\\_61.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2010/bp_61.pdf). Acesso em 28/07/2012.

AYRES, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1991, 218 p. (Estudo da FAO 29 - Irrigação e Drenagem).

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. Experimentação Agrícola. 237p., 4 ed., Jaboticabal: Funep, 2006.

BARROS, M. F. C.; SANTOS, P. M.; MELO, R. M. FERRAZ, F. B. Avaliação de níveis de gesso para correção de sodicidade de solos. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Campina Grande, v.1, p.17-21, 2006.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. 6. ed. Viçosa: UFV, 1995. 596 p.

BLANCO, F. F.; LOURENÇÃO, M. S.; FOLEGATTI, M. V. Tolerância do milho à salinidade da água de irrigação. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2005, Teresina. Anais. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2005. p. 1-5.

BOUWER, H.; CHANEY, R.L. Land treatment of wastewater. Advances in Agronomy, v.26, p.133-176, 1974.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – (CQFS/RS-SC). Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do solo. Comissão de Química e fertilidade do solo. 10. ed. Porto Alegre, 2004.

CORDEIRO, G. G. Qualidade de água para fins de irrigação (Conceitos básicos e práticas) / Gilberto Gomes Cordeiro. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2001. 32 p. ; il.; 21 cm - (Embrapa Semi-Árido. Documentos; 167).

DIAS, N. S. Manejo da irrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido. 2004. 110f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

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

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E.; FRANSON, M. A. H. Standard Methods for the Examination of Water And Wastewater, 21 ed. Washington: American Public Health Association – APHA, 2005.

FERREIRA, P. A.; GARCIA, G. O.; NEVES, J. C. L.; MIRANDA, G. V.; DOS SANTOS, D. B. Produção relativa do milho e teores folheares de nitrogênio, fósforo, enxofre e cloro em função da salinidade do solo. Rev. Ciênc. Agron., v.38, n.1, p.7-16, 2007.

FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H.; FREIRE, J. F. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v.7, n.2, p.227-232, 2003.

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo Básico e Aplicados. 472p. il.; 28 cm. Fortaleza-CE, INCT Sal, 2010

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H.F. Reúso de água. São Paulo: Manole, 2003. 576 p.

MEDEIROS, G. M. G. Condições de Reúso dos Efluentes Finais das ETE's do Estado da Paraíba. 2007. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

MIRANDA, R. J. A., MELO, H. N. S., NETO, C. O. A., FILHO, M. L., II – 106 – Evolução da salinidade em solo irrigado com esgoto sanitário tratado. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2001.

MONTES, R. M et al. Irrigação com esgotos tratados: Impactos no solo e Aquíferos. *In*: FLORENCIO, L; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. Tratamento e utilização de esgotos sanitários, Rio de Janeiro: ABES, 2006, 427 p.

OLIVEIRA, L.B. de, RIBEIRO, M.R., FERREIRA, M. da G. de V.X., LIMA, J.F.W.F. de, MARQUES, F.A. 2002. Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 37 (10) 1477-1486.

PAGANINI, W. da S. Disposição de esgotos no solo: escoamento à superfície. 2.ed. São Paulo: AESABESP, 1997. 232p.

PEÑA, I. de Calidad de las aguas de riego. Obregon: Secretaria de Recursos Hidraulicos, Distrito de Riego del Rio Yaqui, 1972. 33p. (Boletim Técnico, 5).

PIZARRO CABELLO, F. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. 2. ed. Madrid: Editorial Agrícola Española S. A., 1985. 542 p.

PIZARRO CABELLO, F. Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación. 2. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 471 p.

QADIR, M.; NOBLE, A.D.; OSTER, J.D.; SCHUBERT, S.; GHAFOR, A. Driving forces for sodium removal during phytoremediation of calcareous sodic and saline-

sodic soils: a review. *Soil Use and Management*, Cambridge, v.21, n. 2, p. 173-180, 2005.

RICHARDS. L.A. (Ed.). *Diagnóstico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos*. 5. ed. México: Centro Regional de Ayuda Técnica, 1970. 172p. il (Centro Regional de Ayuda Técnica. Manual de Agricultor, 60).

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

SMANHOTTO, A.; PRIOR, M.; DIETER, J.; SONCELAR, R.; DAL BOSCO, T.C.; TESSARO, D. Lixiviação de Sais em Lisímetros de Drenagem Submetidos à Aplicação de Água Residuária da Suinocultura. I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais Uso dos Resíduos da Produção Animal como Fertilizante. Florianópolis, SC – Brasil, 2009.

STANGHELLINI, C. Evapotranspiration in greenhouse with special reference mediterranean conditions. *Acta Horticulturae*, Wageningen, n. 335, p. 296-304, 1993.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análise do Solo, plantas e outros materiais*, 2 ed. Porto Alegre: Depto de Solos da UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

#### **4. ANÁLISE NUTRICIONAL DO MILHO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA EM AMBIENTE PROTEGIDO E A CÉU ABERTO**

##### **RESUMO**

As águas provenientes do esgoto doméstico tratado são em grande parte dispostas diretamente nos mananciais hídricos, sem que passem por tratamento prévio. Para mudar esse quadro é fundamental que o governo proponha políticas de incentivo ao reúso. Diante dessa realidade, este estudo objetiva avaliar o estado nutricional dos grãos e das folhas de milho, irrigado com efluente de esgoto doméstico tratado. O experimento de irrigação com água residuária na cultura do milho foi realizado em dois ambientes de cultivo: casa de vegetação e a céu aberto, ambos conduzidos na área da Estação de Tratamento de Esgotos - ETE São João Navegantes em Porto Alegre-RS, Brasil. Foram adotados três tratamentos: água tratada (T1); efluente de reator anaeróbio (T2) e o terceiro com efluente de Lagoa de Polimento (T3). A extração de nutrientes pelos grãos e folhas de milho com a irrigação dos efluentes T2 e T3 mostrou-se eficiente, principalmente em micronutrientes. As produtividades do milho em T2 superaram T1 e T3 em valor absoluto, tanto no cultivo a céu aberto como no ambiente protegido. A resposta dessa safra indica que há possibilidade de produção do milho sem o uso de fertilizantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** irrigação por sulco, nutrição do milho; produção de milho; esgoto doméstico.

## **NUTRITIONAL ANALYSIS OF CORN FERTILIZED WITH WASTEWATER IN TWO ENVIRONMENTS**

### **ABSTRACT**

The waters from the treated sewage are largely arranged directly into water sources without passing through pretreatment. To change this situation is crucial the government to propose policies to encourage reuse. Given this reality, this study aims to evaluate the nutritional status of grains and leaves of maize, irrigated with treated sewage effluent. The experiment with wastewater irrigation in corn was conducted in two culture environments: a greenhouse and open, both conducted in the area of sewage treatment plant São João Navegantes in Porto Alegre, RS, Brazil. Anaerobic effluent (T2) and the third with effluent polishing ponds (T3) treated water (T1): Three treatments were adopted. The nutrient uptake by grain and corn leaves with irrigation of effluent T2 and T3 was efficient, especially in micronutrients. The corn yields exceeded T2, T1 and T3 in absolute value, both in cultivation and in the open protected environment. The answer of this season indicates that there is possibility of maize production without the use of fertilizers.

**KEYWORDS:** furrow irrigation, corn production, domestic sewage

## 4.1 Introdução

A segurança alimentar está relacionada a escassez dos recursos hídricos, a qual agrava-se com o crescimento da demanda por irrigação. Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2012), houve um crescimento da área irrigada no Brasil de 20% entre os anos de 2006 e 2010, totalizando uma área de 5,4 milhões de hectares. Essa situação desafia os gestores públicos a buscarem soluções para esse problema. A utilização das águas de reúso na produção de alimentos é uma alternativa a ser considerada. Contudo, devido ao risco da operação que envolve saúde pública e o meio ambiente, a sua gestão não se torna atrativa, nem para o poder público tampouco para as concessionárias dos serviços de saneamento. A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente 357/2005 (CONAMA, 2005) trata do tema, regrido o lançamento de efluentes nos corpos receptores e dá outras providências.

Há necessidade da regulamentação da prática do reúso agrícola, no entanto, os critérios a serem adotados não devem impor barreiras que desmotivem o envio do esgoto tratado para áreas agricultáveis.

Os cuidados requeridos na irrigação com esgoto tratado se devem a presença de organismos patogênicos, os quais apresentam diferentes níveis de resistência em relação aos processos de desinfecção. Dentre os processos de remoção desses organismos pode-se destacar as lagoas aeradas e os tratamentos anaeróbicos com uso de reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). O uso da Lagoa de Polimento como tratamento secundário, após o tratamento anaeróbio (UASB) provoca o decaimento das bactérias patogênicas devido a alta atividade fotossintética induzida pela insolação que incide na superfície da lagoa (Cavalcanti et al., 2000; Lettinga e Van Haandel, 1994). Isso faz com que os teores de macro e micronutrientes encontrados nos efluentes do UASB, na maioria das vezes sejam menores do que nas Lagoas de Polimento (Lettinga e Van Haandel, 1994). Isso traz uma desvantagem no aproveitamento agrícola do efluente das lagoas de polimento em relação ao UASB.

No Brasil, grande parte das águas residuárias é disposta diretamente nos mananciais hídricos, sem que passem por tratamento prévio. Segundo relatório da ANA (2012), em 2008 o percentual de esgoto tratado em relação ao volume de esgoto produzido foi de 29%. Para mudar esse quadro é fundamental que o governo proponha políticas de incentivo ao uso racional da água. Uma das iniciativas que



trata do tema é a Resolução da Agência Nacional de Águas - Resolução Nº 567, de 17 de agosto de 2009, Anexo I, Art. 40 (BRASIL, 2009), que trata da sustentabilidade dos recursos hídricos, propondo de forma objetiva a implementação de projetos que visem o uso de águas, mediante reúso. O aporte de nutrientes, principalmente Nitrogênio e Potássio, advindos das águas residuárias traz vantagens econômicas e ambientais, no entanto, é necessário que se estabeleçam critérios que contemplem as peculiaridades relativas às quantidades geradas e as áreas de deposição quando se faz uso agrícola.

As quantidades de nutrientes aportadas pelos efluentes oriundos das ETE's sofrem alterações ao longo do ano, podendo prejudicar os receptores do efluente. De Aquino et al. (2005) observaram numa ETE de Brasília-DF, que nos dias chuvosos, a Demanda Química de Oxigênio - DQO diminuiu e aumentou o consumo de oxigênio para a decomposição da matéria orgânica biodegradável do substrato.

A resolução nº 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005) alerta que determinadas concentrações de Fósforo Total (acima de  $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ ) no efluente gerado pela ETE podem favorecer o surgimento da eutrofização em corpos d'água. A principal consequência desse fenômeno é o crescimento desordenado de plantas aquáticas (Mulqueen et al., 2004).

A irrigação com águas de reúso pode salinizar o solo, reduzindo o potencial osmótico, diminuindo a disponibilidade de água para as plantas (Bernardo, 1995). O conhecimento desse processo permite que se encontrem formas de evitar e/ou minimizar os efeitos que reduzem os rendimentos das culturas (Ayers; Westcot, 1991).

A adoção do reúso agrícola vem se tornando uma prática cada vez mais corrente, em função das vantagens que traz como uma opção a mais no tratamento de efluentes, que geralmente é lançado diretamente ou após tratamento nos corpos d'água (Bastos e Mara, 1992). Em regiões onde há pouca disponibilidade de recursos hídricos, como no semi-árido brasileiro, o reúso seguro, ou seja, preservando a saúde e o meio ambiente também passa a ser uma opção (Ali, 1987; Hamoda e Al-Awabi, 1996).

A definição da cultura a ser utilizada no reúso deve levar em consideração o seu poder de extração de nutrientes e a sua morfologia. O milho é uma planta que não se desenvolve rente ao solo, dessa maneira a exposição à possíveis contaminações é menor. A cultura do milho vem tendo a preferência como receptor

dos efluentes de esgoto pelo seu alto poder de absorção de nutrientes como o nitrogênio, que é um resíduo do esgoto urbano tratado (Andrade et al., 2005).

O potencial de produtividade e o sistema de produção do milho oscilam muito nas regiões brasileiras, chegando a 200 sacos por hectare, encontrando casos superiores a 230 sacos/ha (EMBRAPA Milho e Sorgo, 2013). No entanto, se observam produtividades bem abaixo desses valores em função do manejo incorreto da fertilidade do solo, da nutrição do milho e do déficit hídrico. Vieira et al. (2013) em um estudo na estação experimental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS em Eldorado do Sul na safra de 2007/2008, obtiveram em parcela não irrigada a produtividade de milho igual a 0,6 t/ha, enquanto na irrigada foi atingido 12 ton ha<sup>-1</sup>, utilizando um sistema de irrigação auto propelido, ambas parcelas sob o mesmo tipo de solo, mesma adubação e mesmo calendário agrícola.

As exigências nutricionais do milho em termos de macronutrientes são diretamente proporcionais a produção almejada. A demanda nutricional do milho diminui na seguinte ordem: nitrogênio > potássio > cálcio > magnésio > fósforo. Segundo Coelho (2006), para as produtividades de 3,7, 7,9 e 10,2 ton ha<sup>-1</sup> tem-se uma exigência nutricional de N-P-K igual a 77-9-83, 167-33-113 e 217-42-114 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Em relação aos micronutrientes as necessidades nutricionais do milho são bem pequenas. Nacke (2011) comenta que mesmo sendo baixa a necessidade de micronutrientes, a sua carência pode refletir em perdas importantes no rendimento da cultura.

Diante desse quadro, propõe-se no estudo avaliar o efeito do aporte de nutrientes com águas de reúso na nutrição das plantas de milho em dois ambientes de cultivo: céu aberto e ambiente protegido.

## **4.2 Material e Métodos**

O experimento foi conduzido em área localizada na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) São João Navegantes do Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) em Porto Alegre-RS. A Casa de Vegetação e a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Piloto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (Figura 1) estão instaladas na área da ETE do DMAE (29°59'25,54"S; 51°11'36,33 W elev 5m).

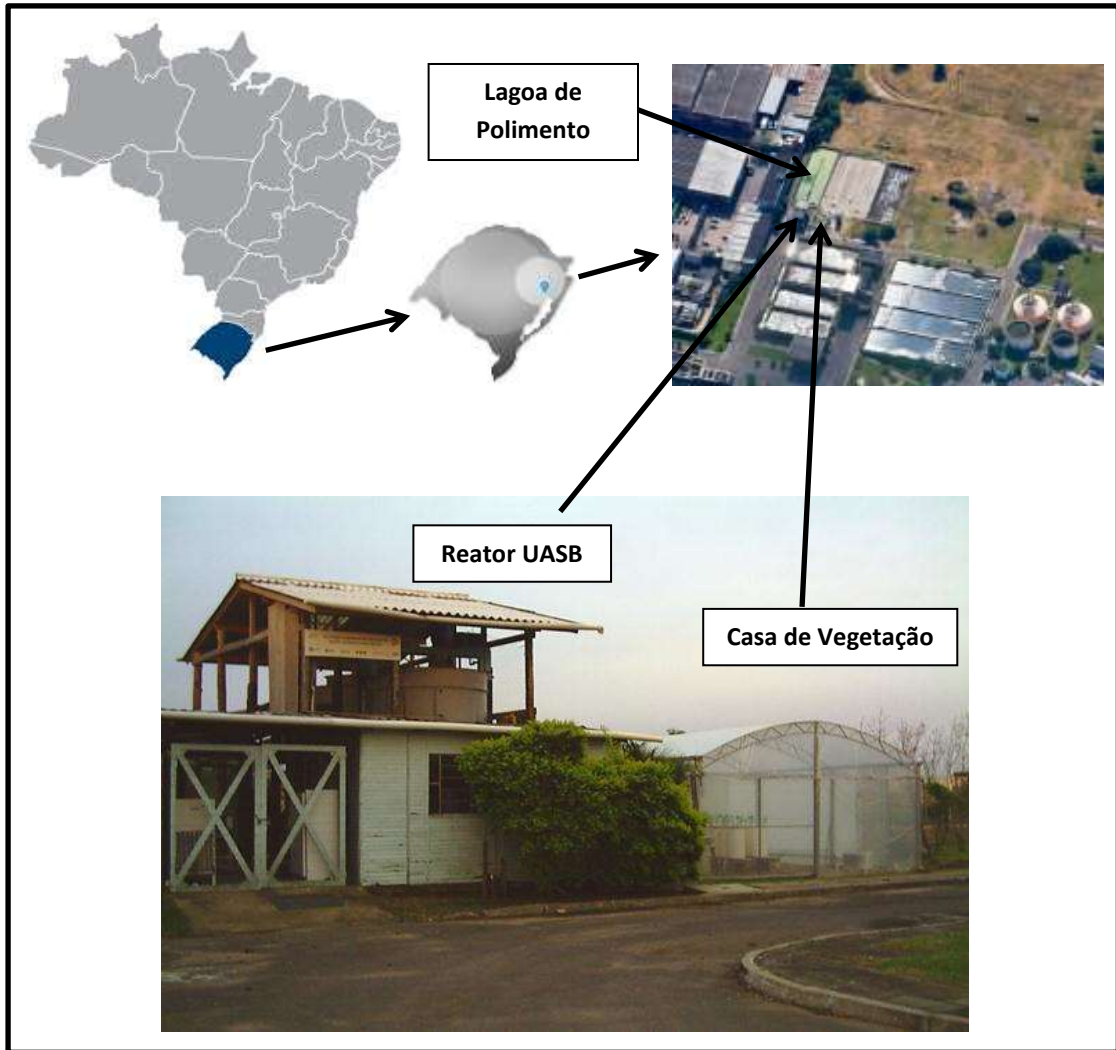


Figura 1. Localização da Estação de Tratamento de Esgoto São João Navegantes. Porto Alegre, RS, Brasil. Fonte: Google Maps (2013).

A ETE Piloto é composta por um Reator Anaeróbico seguido de Lagoa de Polimento, dimensionada para a vazão média de  $2,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . O experimento da irrigação com a cultura do milho foi conduzido em dois ambientes de cultivo, céu aberto e em ambiente protegido, conforme ilustram as Figuras 2 e 3, respectivamente.



Figura 2. Área do experimento a céu aberto de irrigação na ETE Piloto do IPH-UFRGS. Porto Alegre-RS.



Figura 3. Vista interna da casa de vegetação do experimento com irrigação na ETE Piloto do IPH-UFRGS. Porto Alegre-RS.

A área do experimento a céu aberto foi escavada numa profundidade de 0,85 m (Figura 4) e o fundo revestido com uma lona impermeável.



Figura 4. a: retirada de material para colocação da lona; b: colocação da lona de revestimento; e c) recolocação do solo retirado.

O delineamento experimental foi em faixas, com sistema de irrigação por sulcos e plantio em linhas de cultivo e quatro repetições, considerando que a água não permite casualização, conforme Hanks et al. (1980).

O experimento de irrigação agrícola foi conduzido no cultivo do milho, empregando efluente tratado em dois níveis de qualidade: efluente do reator anaeróbico do tipo UASB e de Lagoa de Polimento, ambos sem adição de adubação química. Como testemunha, foi utilizado o tratamento que recebeu água de abastecimento para irrigação e adubação química de base e de cobertura de acordo com as recomendações da CQFS-RS/SC (2004) para a cultura do milho, sem adição de calcário.

Os tratamentos em cada uma das parcelas foram os seguintes:

- Tratamento # 1 (T1): adubação química de base (600 kg/ha da formulação 5-10-20) e de cobertura (três aplicações em V4, V8 e V12 de 130 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 46-0-0) com irrigação por sulcos com água de abastecimento;

- Tratamento # 2 (T2): sem adubação química com irrigação por sulcos com efluente oriundo do tratamento anaeróbico (UASB); e

- Tratamento # 3 (T3): sem adubação química com irrigação por sulco com efluente oriundo do tratamento anaeróbico + aeróbico (UASB + Lagoa de Polimento).

Os tratamentos possuíam quatro repetições com sub-parcelas de 4,5 m de largura por 15 m de comprimento, espaçadas entre si de 1,0 m. Cada repetição

continha oito linhas de plantio com espaçamento de 50 cm em cada sub-parcela, totalizando 32 linhas de milho em cada parcela. Com o intuito de desprezar o efeito de bordadura, os parâmetros do milho foram coletados nas quatro fileiras centrais de cada sub-parcela.

O rendimento de grãos foi determinado através das espigas colhidas nas fileiras centrais de milho em cada sub-parcela com uma área útil de 8,0 m<sup>2</sup> (2,0 m x 4,0 m). Para o cálculo do rendimento, o peso dos grãos foi corrigido para 13% de umidade.

O cultivo do milho em casa de vegetação foi composto de 24 colunas de PVC de 300 mm de diâmetro e 700 mm de altura (Figura 3), as parcelas arranjadas em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Cada um dos três tratamentos foi constituído de oito repetições distribuídos em duas fileiras ao acaso. As dimensões da casa de vegetação eram de 6,5 m x 9,5 m e 2,5 m de pé direito. O espaçamento entre as duas linhas de vasos e entre os mesmos na linha foi de 0,8 m e 0,33 m, respectivamente.

O solo disposto nas colunas de PVC foi o mesmo do experimento a céu aberto e antes do preenchimento dos vasos, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 4 mm.

A partir da extremidade inferior das colunas de PVC fez-se uma perfuração a 15 cm para a coleta do efluente percolado. Posteriormente à montagem, os vasos foram umedecidos com água de abastecimento para acomodação do solo e após realizou-se o plantio de três sementes de milho em cada coluna, retirando-se as duas menos vigorosas, restando apenas uma planta por coluna ao final.

Os tratamentos de irrigação com efluente e água tratada foram aplicados de forma a manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo (CC), sendo monitorada por um equipamento do tipo Time Domain Reflectometry – TDR (Modelo Trase System I 6050X1), devidamente calibrado para o solo em questão. Apesar de Topp et al. (1980) proporem uma equação universal para a transformação das leituras do TDR em umidade volumétrica, alguns autores recomendam uma equação de calibração específica para o solo que se utilizará o equipamento (Roth et al., 1990; Ponizovsky et al., 1999; Jacobsen e Schjønning, 1993; Medeiros et al., 2007) pois esta equação não se ajusta bem para solos de textura fina. Por isso, a calibração foi realizada em laboratório utilizando uma amostra indeformada de solo

de 26 cm de diâmetro e 10 cm de altura, adotando-se a mesma metodologia de Medeiros et al. (2007).

A irrigação com água tratada aplicada em T1 foi equivalente a uma lâmina d'água de 414 mm, enquanto que em T2 e T3 equivaleu a 408 e 404 mm, respectivamente. Foram feitas ao longo do ciclo do milho 25 irrigações entre o 23º e o 128º dia após a semeadura. No período de cultivo a precipitação pluviométrica na área do experimento foi de 415 mm. A Figura 5 detalha o projeto da irrigação por sulcos da área experimental.

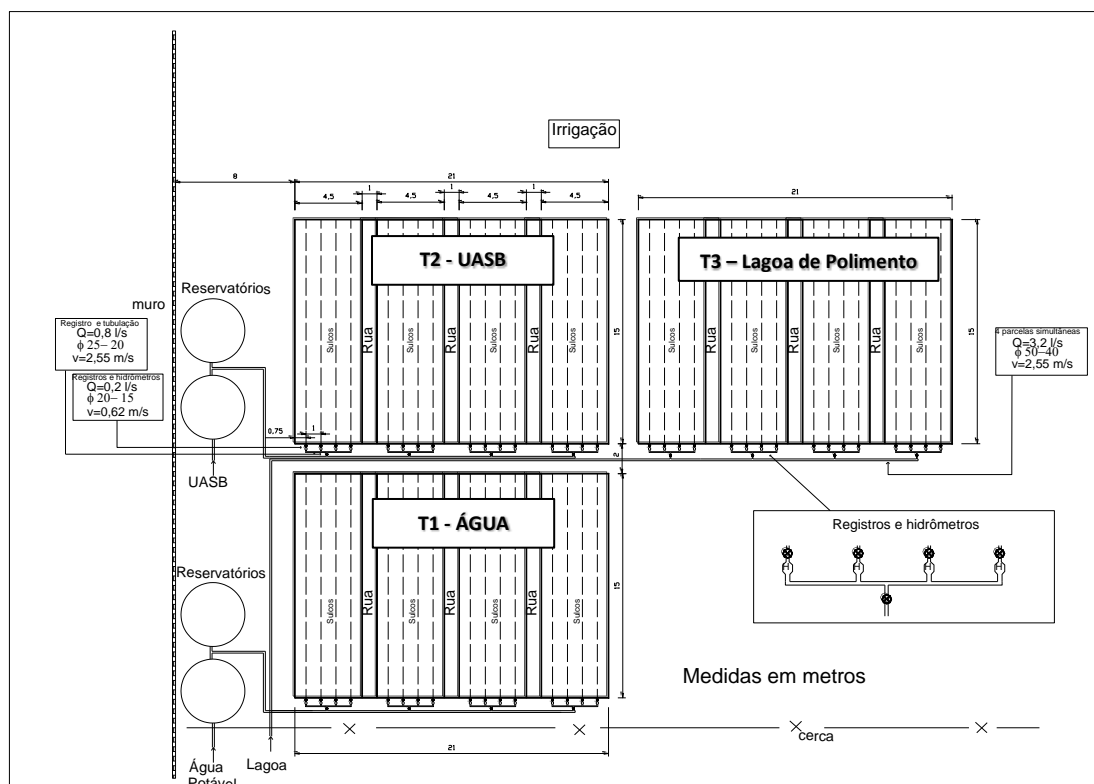


Figura 5. Croqui da área experimental na ETE São João Navegantes. Porto Alegre, RS, Brasil.

Na casa de vegetação o manejo da irrigação foi realizado adotando-se o critério da percolação forçada, estando as colunas de PVC na maioria das vezes com excedente hídrico.

A amostragem das plantas no cultivo a céu aberto foi realizada nas quatro linhas centrais de cada repetição, coletando-se em nove plantas por fileira,



totalizando trinta e seis plantas. As plantas foram coletadas rente ao solo e fracionadas manualmente. As determinações de macronutrientes e micronutrientes dos grãos e folhas foram realizadas através de digestões sulfúricas e nítrico-perclóricas em bloco digestor conforme descrito por Tedesco et al. (1995) no Laboratório de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O estado nutricional das plantas de milho no cultivo a céu aberto foi avaliado de forma indireta, através do aporte de nutrientes e da produtividade.

A metodologia descrita no Standard Methods (Eaton et al., 2005) foi utilizada nas análises químicas da água e dos efluentes de irrigação, compreendendo as determinações dos macronutrientes e micronutrientes para determinação do aporte nutricional no solo. A água e os efluentes foram coletados com periodicidade semanal ao longo dos 139 dias após a semeadura - DAS, totalizando 20 amostras para a realização de análise química. Os dados médios das variáveis foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5%, com auxílio do software ASSISTAT 7.6 beta (Silva, 2012).

O solo da ETE São João Navegantes apresenta resíduos de construção civil (RCD) misturados ao solo natural, não permitindo classificá-lo taxonomicamente. A textura do solo é predominantemente composta por cascalho ( $275 \text{ g kg}^{-1}$ ) e areia grossa ( $289 \text{ g kg}^{-1}$ ), sendo classificado como franco arenoso.

A análise química completa do solo é apresentada na Tabela 1. As amostras foram coletadas em três diferentes profundidades: 0 – 20 cm; 20 – 40 cm e 40 – 60 cm. Os resultados de cada um dos tratamentos representam a média do perfil de 60 cm antes da instalação do experimento. As determinações dos atributos químicos do solo foram realizadas de acordo com as metodologias descritas por Tedesco et al. (1995).



Tabela 1. Caracterização química das amostras de solo (0 – 60 cm) na área do experimento.

| Tratamento | Índice SMP | P                   | K                   | M.O. | Al <sub>troc</sub>                            | Ca <sub>troc</sub>             | Mg <sub>troc</sub>             | CTC                            | S                              | Zn                             | Cu                             | B                              | Mn                             | Fe                             | Na                             |
|------------|------------|---------------------|---------------------|------|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|            |            | mg dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | (%)  | -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- |
| 1          | 7.5        | > 100               | 81                  | 0.7  | 0.0   | 10.6                           | 2.3                            | 13.9                           | 6.3                            | 16                             | 6.4                            | 0.3                            | 2.0                            | 3.0                            | 30                             |
| 2          | 7.4        | > 100               | 86                  | 1.0  | 0.0   | 10.3                           | 2.2                            | 13.6                           | 6.5                            | 23                             | 6.6                            | 0.5                            | 2.0                            | 3.2                            | 30                             |
| 3          | 7.6        | > 100               | 103                 | 1.0  | 0.0   | 11.8                           | 2.7                            | 15.5                           | 6.6                            | 23                             | 9.2                            | 0.5                            | 1.0                            | 3.4                            | 43                             |
| Média      | 7.5        | > 100               | 90                  | 0.9  | 0.0   | 10.9                           | 2.4                            | 14.3                           | 6.5                            | 20.7                           | 7.4                            | 0.4                            | 1.7                            | 3.2                            | 34.3                           |

P: fósforo; K: potássio; M.O.: matéria orgânica; Al<sub>troc</sub>: alumínio trocável; Ca<sub>troc</sub>: cálcio trocável; Mg<sub>troc</sub>: magnésio trocável; CTC: capacidade de troca de cátions; S: enxofre; Zn: zinco; Cu: cobre; B: boro; Mn: manganês; Fe: ferro; Na: sódio.

A semeadura do milho foi realizada no dia Juliano 275 (02/10/2007) com a cultivar de milho híbrido Pioneer 30F53, tratadas com Cruiser 350FS (Tiametoxan 35%). As plantas foram coletadas depois de 139 dias após a semeadura-DAS (18/02/2008) para avaliar a produtividade e o estado nutricional dos grãos e folhas do milho no cultivo a céu aberto e a produtividade na casa de vegetação.

Na área a céu aberto, o plantio do milho foi feito manualmente, colocando-se duas sementes por cova para posteriormente desbastar a menos vigorosa com o intuito de atingir um estande de aproximadamente 60.600 plantas por hectare. Após a semeadura fez-se a aplicação do herbicida Atrazina e no ambiente protegido o controle foi manual.

Os volumes irrigados nos três tratamentos para os dois ambientes de cultivo são apresentados na Figura 6. No ambiente a céu aberto está somada a precipitação ocorrida no período de cultivo. O estresse hídrico está intimamente relacionado ao rendimento dos grãos. Cantão (2007) e Lozada e Angelocci (1999), concluíram em seus estudos com a cultura do milho que o déficit hídrico e a queda de produtividade tem correlação linear.

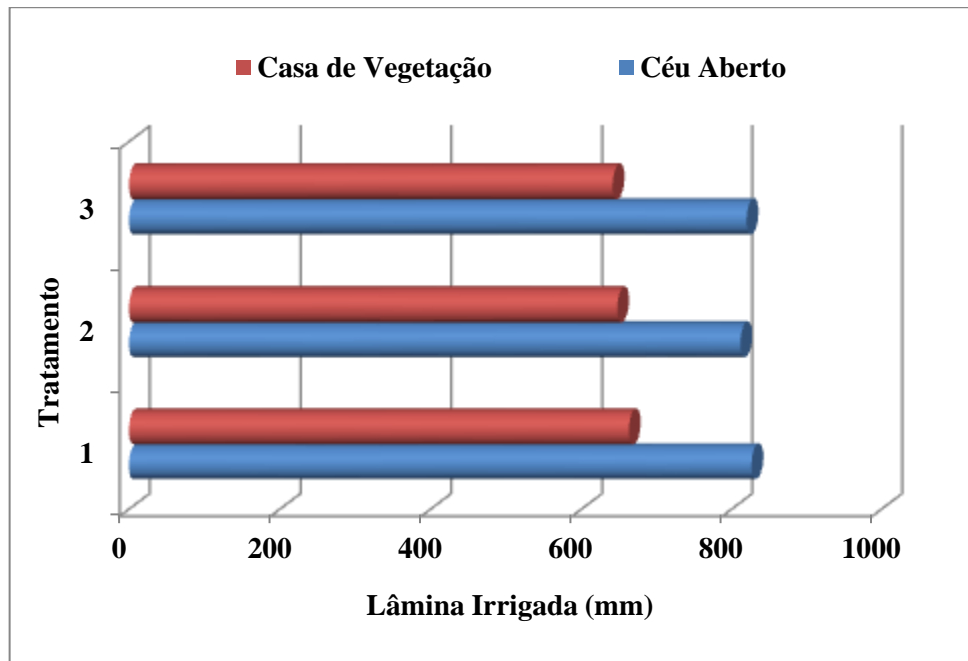


Figura 6. Lâmina de irrigação para o milho nos dois ambientes de cultivo.

Os valores médios da lâmina de irrigação nos três tratamentos no ambiente protegido e no cultivo a céu aberto foram de 651 mm e 819 mm, respectivamente. O valor da lâmina de irrigação no ambiente protegido foi aproximadamente 80% do valor médio no cultivo a céu aberto. Quando o consumo de água total pela cultura do milho em função da demanda evaporativa está na faixa de 600 mm, considera-se uma demanda evaporativa muito alta. Portanto, o volume irrigado de água e efluente nos dois ambientes de cultivo do milho, enquadram-se nos casos de consumo muito alto (Embrapa Milho e Sorgo, 2013).

### 4.3 Resultados e Discussão

A quantidade de nutrientes e sódio presentes na água tratada e nos efluentes dos tratamentos T2 e T3 adicionadas ao solo nos dois ambientes de cultivo é apresentada na Tabela 2.

Na comparação do aporte dos macronutrientes no solo entre os dois ambientes de cultivo verifica que no ambiente protegido foi sempre superior em relação ao cultivo a céu aberto. Somente no caso do micronutriente Cu é que houve uma igualdade na quantidade aportada. Isso pode ser explicado em parte pelo manejo da irrigação distinto entre os cultivos. No cultivo protegido a irrigação foi realizada de modo a forçar a percolação, diferente do céu aberto, onde a irrigação

foi realizada de modo a manter-se a umidade do solo próxima a capacidade de campo. Os valores aportados de N, vão ao encontro do estudo de Sanches et al. (2007) com o milho cultivado em vasos, onde também se destacou o aporte do efluente no T2.

Tabela 2. Quantidade de macronutrientes, micronutrientes e sódio adicionadas ao solo no cultivo do milho em ambiente protegido (AP) e a céu aberto (CA) nos tratamentos com água tratada + adubação mineral (T1), TDH-10 (T2) e TDH-30 (T3).

| Tratamento | Macronutrientes                 |    |     |    |    |
|------------|---------------------------------|----|-----|----|----|
|            | N                               | P  | K   | Ca | Mg |
|            | ----- kg ha <sup>-1</sup> ----- |    |     |    |    |
| T1 – AP    | 214                             | 60 | 159 | 43 | 21 |
| T1 – CA    | 210                             | 59 | 144 | 27 | 13 |
| T2 – AP    | 175                             | 30 | 171 | 93 | 51 |
| T2 – CA    | 107                             | 18 | 105 | 57 | 31 |
| T3 – AP    | 95                              | 25 | 171 | 91 | 41 |
| T3 – CA    | 60                              | 16 | 108 | 57 | 26 |

N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio.

| Tratamento | Micronutrientes                 |     |     |     |      |
|------------|---------------------------------|-----|-----|-----|------|
|            | Cu                              | Zn  | Fe  | Mn  | Na   |
|            | ----- kg ha <sup>-1</sup> ----- |     |     |     |      |
| T1 – AP    | 0,04                            | 0,7 | 0,2 | 1,3 | 57,7 |
| T1 – CA    | 0,04                            | 0,4 | 0,2 | 0,8 | 36,0 |
| T2 – AP    | 0,10                            | 1,3 | 9,1 | 8,4 | 348  |
| T2 – CA    | 0,10                            | 0,8 | 5,5 | 5,2 | 213  |
| T3 – AP    | 0,01                            | 0,6 | 0,6 | 6,0 | 353  |
| T3 – CA    | 0,01                            | 0,4 | 0,4 | 4,0 | 223  |

Cu: cobre; Zn: zinco; Fe: ferro; Mn: manganês; Na: sódio

Os maiores índices de N foram nos tratamentos T1 e T2 nos dois ambientes de cultivo. O teor mais baixo de N em T3 pode ter contribuído de forma determinante no menor rendimento dos grãos e crescimento das plantas. De acordo com Gloaguen (2006), o Nitrogênio oriundo da irrigação com águas residuárias pode trazer riscos de lixiviação quando for aplicado além da capacidade de campo do solo.

A adição ao solo de Cálcio e Magnésio do cultivo a céu aberto - CA ficou em 60% do valor em ambiente protegido - AP. O aporte ao solo dos micronutrientes só não diferiu para o Cobre nos três tratamentos e no Fe para o tratamento testemunha. Nos demais (Zn, Mn e Na) a adição no cultivo a céu aberto foi de aproximadamente 60% do valor em AP. Os maiores teores observados para os macro e micronutrientes no AP em relação ao CA podem ser atribuídos a fatores relacionados às condições distintas de bordadura e temperatura, além do manejo diferenciado da irrigação.

Em relação aos micronutrientes, na comparação entre os efluentes de esgoto, os maiores aportes se originaram do T2, com exceção do Na que tem um valor menor, mas muito próximo do T3. No caso do Na, tanto o T2 como o T3 se destacaram em relação ao T1, podendo trazer risco de sodificação. O T2 teve maior concentração de Cu, Fe, Mn e Na que o T1, enquanto T3 superou T1 nos teores de Na, Fe e Mn.

O tratamento de esgoto através da integração de processos anaeróbios (UASB) e aeróbios (Lagoa de Polimento) é uma tecnologia muito utilizada, em virtude da alta eficiência e do reduzido custo. Quando relacionado ao reúso agrícola, isso passa a ser uma desvantagem, já que juntamente com o decaimento dos microorganismos patogênicos e coliformes fecais, tem-se a remoção de nutrientes desejáveis (Mascarenhas et al., 2004).

A irrigação com águas de reúso tem impacto direto no custeio de uma lavoura e, considerando que o fertilizante seja substituído pelos nutrientes contidos nas águas de reúso, no caso do milho pode atingir uma redução de até 33% de acordo com as estimativas de custeio da CONAB (2012) da safra 2012/13. Adicionalmente, ainda tem-se o incremento de produção propiciado pela irrigação que em muitos casos, o aumento supera 100%. O aporte de nutrientes de T2 e T3 no solo mostra o potencial e a real possibilidade de substituição total ou parcial dos fertilizantes pelas águas residuárias.

A Tabela 3 apresenta o comparativo do aporte de nutrientes dos tratamentos em termos de NPK (7-15-30) nos dois ambientes de cultivo do milho.

Tabela 3. Comparativo das dosagens equivalentes em formulação 7-15-30 e ureia adicionadas ao solo nos diferentes tratamentos.

| Tratamento     | Ambiente de Cultivo  |  |
|----------------|--|--|
|                | Céu Aberto – CA  | Ambiente Protegido - AP  |
| Tratamento # 1 | 448 kg ha <sup>-1</sup><br>+<br>2 x 200 kg ha <sup>-1</sup> de Ureia |  |
| Tratamento # 2 | 294 kg ha <sup>-1</sup><br>+<br>2 x 86 kg ha <sup>-1</sup> de Ureia  | 444 kg ha <sup>-1</sup><br>+<br>2 x 160 kg ha <sup>-1</sup> de Ureia |
| Tratamento # 3 | 296 kg ha <sup>-1</sup><br>+<br>2 x 35 kg ha <sup>-1</sup> de Ureia  | 435 kg ha <sup>-1</sup><br>+<br>2 x 70 kg ha <sup>-1</sup> de Ureia  |

A Figura 7 apresenta um gráfico de barras comparativo das produtividades obtidas nos dois ambientes de cultivo, céu aberto e em ambiente protegido.

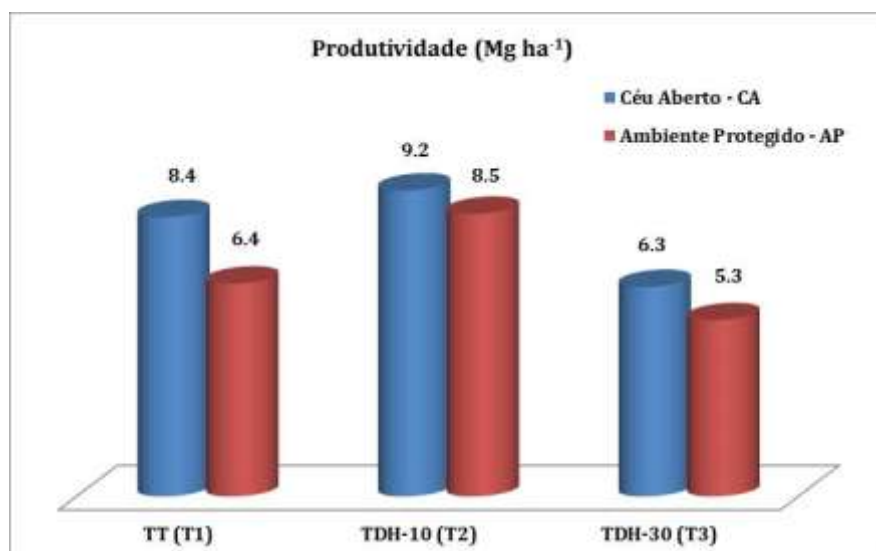


Figura 7. Produtividades do milho nos dois ambientes de cultivo com umidade ajustada a 13%.

Comparando-se a produtividade do milho em valores absolutos em ambos ambientes de cultivo, houve uma diminuição na seguinte ordem:

T2 > T1 > T3. Os resultados obtidos com a irrigação evidenciam o favorecimento das condições de absorção dos nutrientes aportados no solo, devido a sua diluição e distribuição esparsa ao longo do ciclo da cultura.

As concentrações de macronutrientes, micronutrientes e sódio, avaliadas na fração grãos, no cultivo a céu aberto encontram-se expressas nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Concentrações de macronutrientes e sódio nos grãos de milho no cultivo a céu aberto - CA dos tratamentos com água tratada + adubação mineral (T1), TDH-10 (T2) e TDH-30 (T3).

| Tratamento | Macronutrientes                 |                 |                 |                  |                 |                 |
|------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
|            | N <sup>**</sup>                 | P <sup>ns</sup> | K <sup>ns</sup> | Ca <sup>ns</sup> | Mg <sup>*</sup> | S <sup>ns</sup> |
|            | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |                 |                 |                  |                 |                 |
| T1         | 1,12 b                          | 0,30 a          | 0,31 a          | 0,01 a           | 0,10 b          | 0,11 a          |
| T2         | 1,36 a                          | 0,30 a          | 0,31 a          | 0,01 a           | 0,11 ab         | 0,12 a          |
| T3         | 1,08 b                          | 0,32 a          | 0,32 a          | 0,01 a           | 0,12 a          | 0,11 a          |

Médias seguidas por mesma letra, minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% (\*) e 5% (\*\*) de probabilidade e ns não significativo (média de doze repetições por tratamento, com três plantas por repetição). N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre.

Tabela 5. Concentrações de micronutrientes e sódio nos grãos de milho no cultivo a céu aberto - CA dos tratamentos com água tratada + adubação mineral (T1), TDH-10 (T2) e TDH-30 (T3).

| Tratamento | Micronutrientes                 |                  |                 |                 |                  |                  |                 |
|------------|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
|            | Cu <sup>ns</sup>                | Zn <sup>ns</sup> | Fe <sup>*</sup> | Mn <sup>*</sup> | Na <sup>**</sup> | Mo <sup>ns</sup> | B <sup>ns</sup> |
|            | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |                  |                 |                 |                  |                  |                 |
| T1         | 2,00 a                          | 34,33 a          | 22,17 b         | 7,25 b          | 10,83 b          | 0,94 a           | 2,33 a          |
| T2         | 2,00 a                          | 33,67 a          | 22,00 b         | 7,67 ab         | 20,67 b          | 1,13 a           | 2,17 a          |
| T3         | 2,00 a                          | 34,75 a          | 27,75 a         | 9,08 a          | 65,25 a          | 1,16 a           | 2,50 a          |

Médias seguidas por mesma letra, minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% (\*) e 5% (\*\*) de probabilidade e ns não significativo (média de doze repetições por tratamento, com três plantas por repetição). Cu: cobre; Zn: zinco; Fe: ferro; Mn: manganês; Na: sódio; Mo: molibdênio; B: boro.

A concentração de N nos grãos teve um aumento nos tratamentos na seguinte ordem: T3 < T1 < T2. Entre os macronutrientes, foram encontradas diferenças significativas para o N e o Mg no ambiente CA. Em relação aos micronutrientes, verificou-se que os teores de Fe e Na diferiram entre o T3 e os demais.

Os teores de Sódio nos grãos assemelharam-se aos encontrados por Ferreira (2009) em diversas cultivares de milho híbrido no sistema de plantio direto não irrigado.

Heckman et al. (2003) tomando por base dez diferentes híbridos de milho durante 23 anos, em grãos em fase de maturação fisiológica, determinaram as concentrações médias dos macro e micronutrientes. A comparação com as médias obtidas no estudo de Heckman et al. (2003) com os teores encontrados nos grãos de milho do híbrido Pioneer 30F53, estão ilustradas nas Figuras 8 e 9.

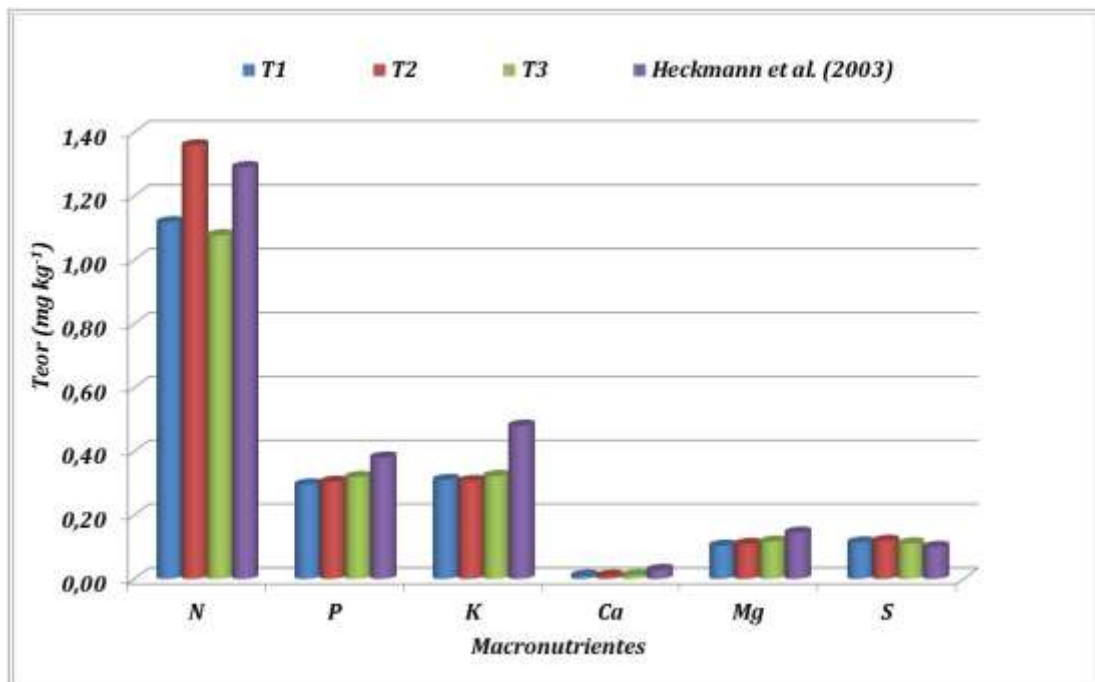


Figura 8. Comparação das concentrações de macronutrientes nos grãos de milho no cultivo a céu aberto – CA com as médias de Heckman et al. (2003).

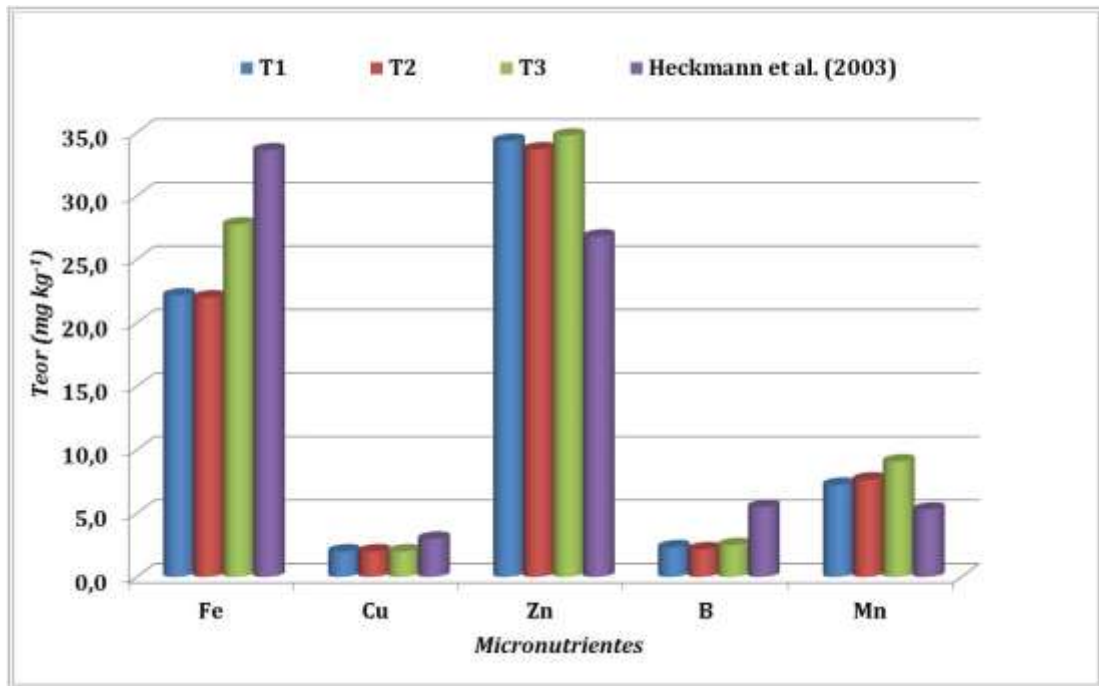


Figura 9. Comparação das concentrações de micronutrientes nos grãos de milho no cultivo a céu aberto – CA com as médias de Heckman et al. (2003).

De maneira geral, os teores observados na fração grãos ficaram próximos aos encontrados por Heckman et al. (2003). A aplicação dos efluentes oriundos do T2 e T3 aumentaram os teores nutricionais nos grãos de milho.

Os estudos de Majerowicz et al. (2002) indicam que não há relação entre potencial genético e eficiência do uso de Nitrogênio. Como no estudo a cultivar foi a mesma nos três tratamentos e o aporte de Nitrogênio se deu de forma diferenciada, em termos de quantidade e periodicidade de aplicação, as variações da concentração de Nitrogênio nos grãos não podem ser atribuídas única e exclusivamente a eficiência do uso.

O teor de Manganês acompanhou a tendência dos demais nutrientes, ou seja, apresentou valores dentro do esperado para cultivares híbridas, independentemente do tratamento. Embora a manejo e textura do solo, mais especificamente a irrigação e a permeabilidade, respectivamente, fossem propícias a elevação da disponibilidade dos teores de Fe e Mn.

A análise foliar serve de referência para recomendação de nutrientes em culturas perenes e noutros casos como acompanhamento dos resultados da adubação e calagem. A Tabela 6 apresenta as faixas de suficiência dos macro e micronutrientes no tecido foliar do milho na fase de maturação.



Tabela 6. Faixas de suficiência de macronutrientes e micronutrientes no tecido foliar para a cultura do milho.

| Macronutrientes                 |           |           |           |           |           |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| N                               | P         | K         | Ca        | Mg        | S         |
| ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |           |           |           |           |           |
| 2,7 – 3,5                       | 0,2 – 0,4 | 1,7 – 3,5 | 0,2 – 0,8 | 0,2 – 0,5 | 0,1 – 0,3 |
| Micronutrientes                 |           |           |           |           |           |
| Cu                              | Zn        | Fe        | Mn        | Mo        | B         |
| ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |           |           |           |           |           |
| 6 - 20                          | 15 - 100  | 30 - 250  | 20 – 200  | 0,1 – 0,2 | 10 - 25   |

Fonte: (CQFS/RS-SC, 2004).

N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; Cu: cobre; Zn: zinco; Fe: ferro; Mn: manganês; Na: sódio; Mo: molibdênio; B: boro.

É importante salientar que os valores de suficiência apresentados representam uma síntese da literatura, trazendo locais, manejo, clima e cultivares distintos, ou seja, a análise comparativa deve ser encarada como uma primeira orientação (CQFS/RS-SC, 2004).

Na Tabela 7 e nas Figuras 10 e 11 observa-se que de modo geral, a extração dos macro e micronutrientes pelas folhas em T2 e T3, quando não se igualaram a T1, apresentaram valores mais altos. Essa constatação é corroborada pelo estudo de Al-Jaloud et al. (1995), onde mostra que os teores nas folhas de milho dos elementos N, P, K, Mg, Na, Cu, Mn, Mo e Zn são majorados com a irrigação das águas de reúso.

Tabela 7. Concentrações de nutrientes nas folhas de milho no cultivo a céu aberto - CA dos tratamentos com água tratada + adubação mineral (T1), UASB (T2) e lagoa de polimento (T3).

| Tratamento | Macronutrientes                 |                 |                 |                  |                  |                 |
|------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
|            | N <sup>*</sup>                  | P <sup>**</sup> | K <sup>ns</sup> | Ca <sup>ns</sup> | Mg <sup>**</sup> | S <sup>**</sup> |
|            | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |                 |                 |                  |                  |                 |
| T1         | 0,42 b                          | 0,16 b          | 1,05 a          | 0,34 a           | 0,26 b           | 0,11 b          |
| T2         | 0,50 a                          | 0,19 b          | 1,02 a          | 0,32 a           | 0,24 b           | 0,01 b          |
| T3         | 0,44 ab                         | 0,27 a          | 1,03 a          | 0,34 a           | 0,36 a           | 0,13 a          |

| Tratamento | Micronutrientes                 |                  |                  |                  |                  |                 |
|------------|---------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
|            | Cu <sup>**</sup>                | Zn <sup>ns</sup> | Fe <sup>**</sup> | Mn <sup>**</sup> | Mo <sup>ns</sup> | B <sup>ns</sup> |
|            | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |                  |                  |                  |                  |                 |
| T1         | 4,17 b                          | 49,83 a          | 149,25 a         | 47,00 b          | 0,94 a           | 10,00 a         |
| T2         | 5,08 a                          | 51,58 a          | 81,42 b          | 50,08 b          | 1,125a           | 11,33 a         |
| T3         | 4,17 b                          | 50,33 a          | 154,58 a         | 68,00 a          | 1,16 a           | 10,83 a         |

Médias seguidas por mesma letra, minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% (\*) e 5% (\*\*) de probabilidade e ns não significativo (média de doze repetições por tratamento, com três plantas por repetição). N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; Cu: cobre; Zn: zinco; Fe: ferro; Mn: manganês; Na: sódio; Mo: molibdênio; B: boro.

Os teores médios de K, Ca, Zn, Mo e B não apresentaram diferenças significativas nos diferentes tratamentos. T1 e T2 não diferiram estatisticamente entre si e diferenciaram-se em relação a T3 para os macronutrientes P, Mg, S e para o micronutriente Mn.

Comparando-se as faixas de suficiência recomendadas (Tabela 6) com os teores encontrados no experimento a céu aberto, dentre os macronutrientes, vemos que os teores de Nitrogênio e Potássio estão abaixo. Essa diferença não se refletiu na produtividade do milho, notadamente em T1 e T2 (Figura 7). Esses teores um pouco abaixo do esperado podem ser atribuídos a maior produção de matéria seca e a consequente diluição da concentração no tecido vegetal.

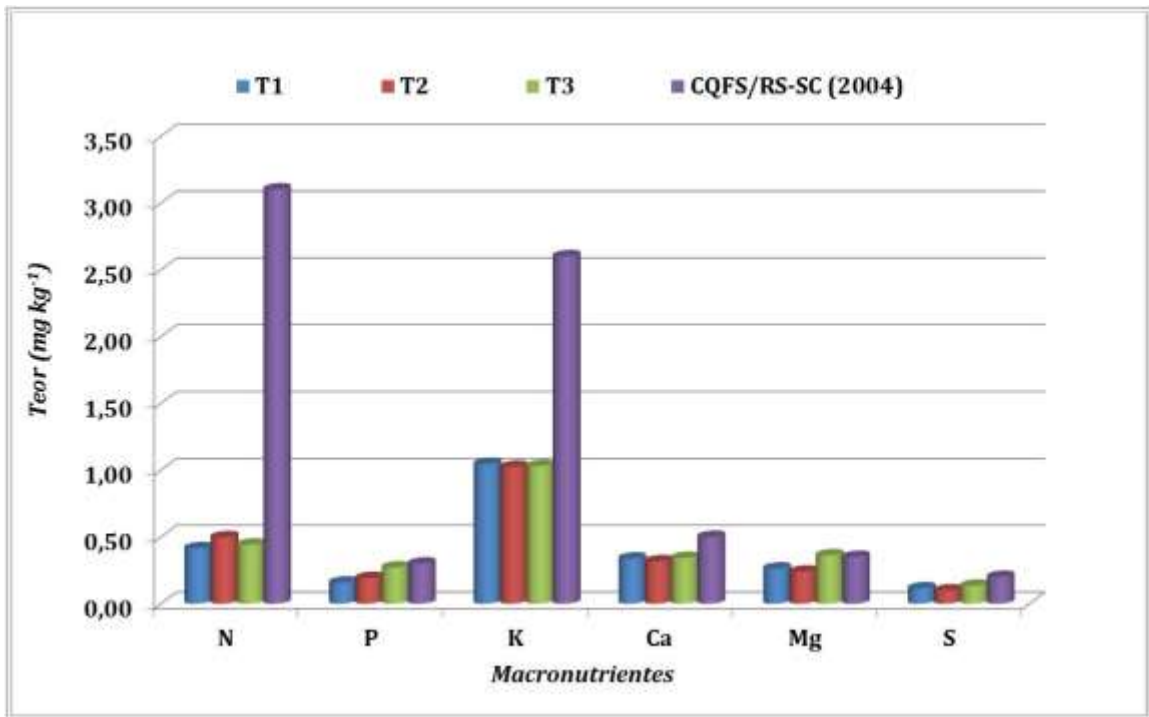


Figura 10. Comparação das concentrações de macronutrientes nas folhas de milho no cultivo a céu aberto - CA com as com as médias das recomendações do CQFS/RS-SC (2004).

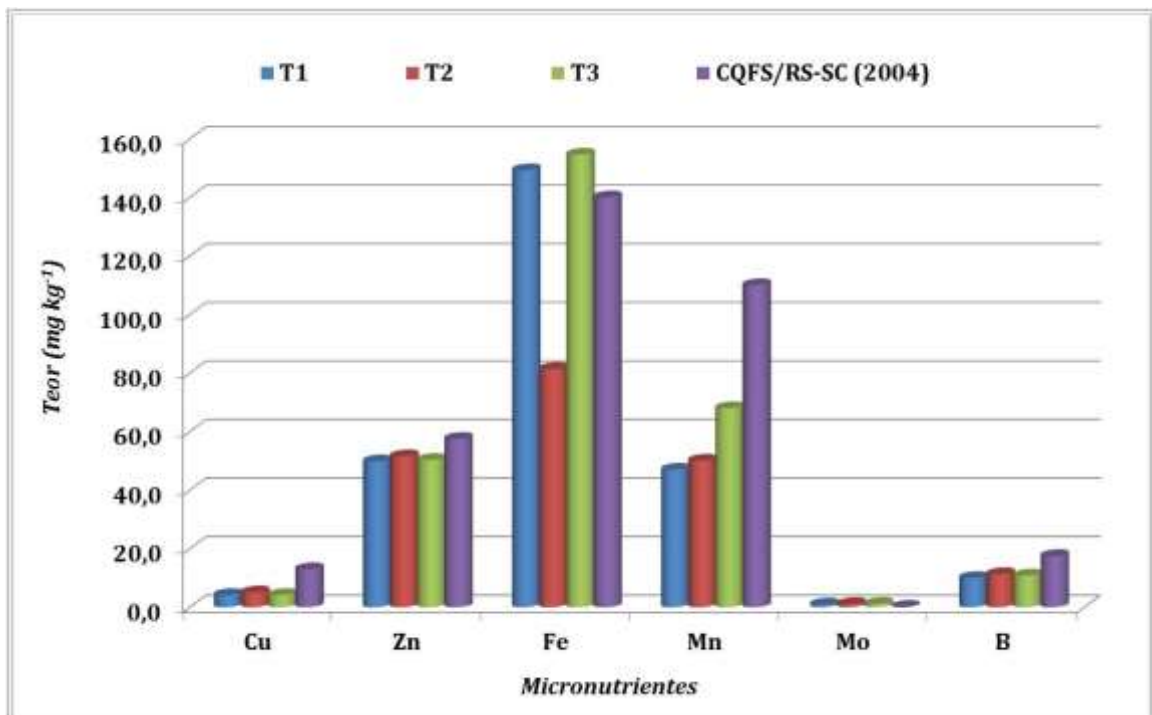


Figura 11. Comparação das concentrações de micronutrientes nas folhas de milho no cultivo a céu aberto - CA com as com as médias das recomendações do CQFS/RS-SC (2004).

Considerando os macronutrientes e micronutrientes tanto nos grãos como nas folhas, podemos dizer que a aplicação dos efluentes originados em T2 e T3 não influenciou a partição dos nutrientes na planta. Resultado semelhante chegou o estudo de Jarausich-Wehrheim et al. (2001), o qual avaliaram a distribuição e o acúmulo de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Ferro em plantas de milho (*Zea mays* L.) decorrentes da aplicação de lodo de esgoto após dois anos.

#### **4.4 Conclusão**

A extração de nutrientes pelos grãos de milho com a irrigação dos efluentes do tratamento anaeróbio (T2) e aeróbio (T3) foi bastante eficiente. O fracionamento diferenciado do aporte de nutrientes no solo indica que há potencial de suprimento hídrico e nutricional com águas residuárias.

O T2 atendeu as necessidades de nutrientes das plantas de milho, evidenciando-se uma fonte em potencial de nutrientes essenciais aos cultivos. O T3 apresentou níveis elevados, especialmente de micronutrientes, proporcionando situações de sinergismos e antagonismos na disponibilidade de alguns deles às plantas.

As produtividades do milho no tratamento testemunha (T1) e T2 não diferiram estatisticamente, indicando a possibilidade de produção com a eliminação de fertilizantes. Porém, o aporte nutricional não é constante e uniforme na área, devido a diluição dos nutrientes pela precipitação pluviométrica.

#### **Referências**

ALI, B. I. Irrigation in arid regions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering of ASCE*, New York, v.113, n.2, p.173-183, 1987.

AGOSTINI, P.; GOMES, P.C.; ALBINO, L.F.T.; ROSTAGNO, H.S. e SA, L. M. Valores de composição química e energética de alguns alimentos para aves. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 33, n.1, p. 128-134, 2004.

AL-JALOUD, A. A., HUSSAIN, G., AL-SAATI, A. J., & KARIMULLA, S. Effect of wastewater irrigation on mineral composition of corn and sorghum plants in a pot experiment. *Journal of plant nutrition*, v. 18, n. 8, p. 1677-1692, 1995.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2012. Ed. Especial. Brasília: ANA, 2012.

ANDRADE, I. P., MONTENEGRO, A. D. A., SILVA, J. D., FREIRE, M. B. G. S., SANTOS, T. E. M. (2005). Impacto do reuso de efluentes de esgoto no lixiviado de solos cultivados com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9, 212-216.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p.

BASTOS, R. K. X.; MARA, D.D. Irrigacion de hortalizas com águas residuales: Aspectos sanitários. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 23., 1992, La Habana. Anais... La Habana: Association Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 1992. p.22-8.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. 6. ed. Viçosa: UFV, 1995. 596 p.

BRASIL. Resolução Nº 567, de 17 de Agosto de 2009. Dispões sobre o Regimento Interno e o Quadro Demonstrativo de Cargos em Comissão da Agência Nacional de Águas - ANA. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil* de 31 de agosto de 2009.

CANTÃO, F. R. O. Marcadores morfológicos de raiz de genótipos de milho contrastantes para a tolerância a seca em resposta a estresses de fósforo e alumínio. 2007. 98p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras: UFLA. 2007.

CAVALCANTI, P. F. F. VAN HAANDEL, A. C. LETTINGA, G. Polishing ponds for post treatment of digested sewage. Sequential batch ponds. In: OFICINA

SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA, Recife, 200. Anais... Recife, 2000. p. 352-359.

COELHO, A. M. Nutrição e adubação do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Circular Técnica 78).

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – (CQFS/RS-SC). Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do solo. Comissão de Química e fertilidade do solo. 10. ed. Porto Alegre, 2004.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO [Site oficial] Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 02 de novembro de 2012.

CONAMA Nº 357/2005 - "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências." - Data da legislação: 17/03/2005 - Publicação DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63 - Alterada pelas Resoluções nº 370, de 2006, nº 397, de 2008, nº 410, de 2009, e nº 430, de 2011.

DE AQUINO, F. L.; SOARES, S. R. A.; BERNARDES, R. S. II-025 - Análise do efeito da mistura de esgotos domésticos e águas pluviais no desempenho de um sistema de tratamento. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E.; FRANSON, M. A. H. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 ed. Washington: American Public Health Association – APHA, 2005.

EMBRAPA MILHO e SORGO. Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_8\\_ed/index.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/index.htm)>. Acesso em 18 de novembro de 2013.

FERREIRA, C. F. Diagnose nutricional de cultivares de milho (*ZeamaysL.*) de diferentes níveis tecnológicos. Curitiba, 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

GARCIA, G. O.; GONÇALVES, M. S.; RODRIGUES, H. Análise nutricional e produção de milho decorrentes da aplicação de lodo de esgoto doméstico. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 2, p. 234-242, abr./jun. 2011.

GLOAGUEN, T. V. Transferências de espécies químicas através de um solo cultivado com milho e girassol e fertirrigado com efluente de esgoto doméstico. (2006). Tese. Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil, 2006. 126p.

GOOGLE MAPS. Disponível em < [http://showmystreet.com/#-husp3\\_-uh8xx\\_j](http://showmystreet.com/#-husp3_-uh8xx_j)>. Acesso em 18 de novembro de 2013.

HAMODA, M. F.; AL-AWABI, S. M. Improvement of effluent quality for reuse in a dairy farm. Water Science and Technology, Londres, v. 33, n. 10, p. 79-85, 1996.

HANKS, R. J.; SISSON, D. V.; HURTS, R. L.; HUBBARD, K. G. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 44, n. 4, p. 886-888, 1980.

HECKMAN, J.R.; SIMS, J. T.; BEEGLE, D. B.; COALE, F. J.; HERBERT, S. J.; BRUULSEMA, T. W. e BAMKA, W. J. Nutrient removal by corn grain harvest. AgronomyJournal, vol. 95, p. 587-591, 2003.

JACOBSEN, O H. E SCHJØNNING, P. A laboratory calibration of time domain reflectometry for soil water measurement including effects of bulk density and texture. Journal of Hydrology. V.151, p.147-157, 1993.

JARAUSCH-WEHRHEIM, B.; MOCQUOT B.; MENCH, M. Effect of long-term sewage sludge application on the distribution of nutrients in maize (*Zea mays L.*). Journal of Plant Nutrition, New York, v.24, n.9, p.1347-1365, 2001

LETTINGA, G.; VAN HAANDEL, A. Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande: Epgraf, 1994.

LOZADA, B. I. e ANGELOCCI, L. R. Efeito da temperatura do ar e da disponibilidade hídrica do solo na duração de subperíodos e na produtividade de um híbrido de milho (*Zea mays* L.). Revista Brasileira de Agrometeorologia. vol. 7, no 1, p. 37 – 43, 1999.

MAJEROWICZ, N.; PEREIRA, J. M. S.; MEDICI, L.; BISON, O.; PEREIRA, M. B. e SANTOS JUNIOR, U.M. Estudo da eficiência de uso do nitrogênio em variedades locais e melhoradas de milho. Revista Brasil. Bot., v. 25, n. 2, p.129-136, jun. 2002

MARTINS, A.L.C.; BATAGLIA, O.C.; CAMARGO, O. A. e CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 27, p. 563-574, 2003.

MASCARENHAS, L. C. A.; VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, A. L. Avaliação do desempenho de lagoas de polimento rasa, em série, para o pós-tratamento de efluentes de reator UASB. Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 45-54, v. 9, n. 1, 2004.

MEDEIROS, J. D. F., CASTRO, N. M. R., GOLDENFUM, J. A., CLARKE, R. T. Calibração de sondas do TDR num latossolo. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol 12, n.2, p.19-25, 2007.

MULQUEEN, J.; RODGERS, M.; SCALLY, P. Phosphorus transfer from soil to surface waters. Agricultural Water Management, v. 66, n. 1, p. 107-122, 2004.

NACKE, H. Produtividade e componentes de produção do milho fertilizado com diferentes fontes e doses de Zn e disponibilidade dos metais pesados tóxicos Cd, Pb e Cr. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2011. 79 p.



PONIZOVSKY, A.A.; CHUDINOVA, S. M. PACHEPSKY, Y.A. Performance of TDR calibration models as affected by soil texture. *Journal of Hydrology*, v. 218, p. 35-43, 1999.

ROTH, K.; SCHULIN, R.; FLUHLER, H.; ATTINGER, W. Calibration of time domain reflectometry for water content measurement using a composite dielectric approach. *Water Resources Research*, v. 26, n. 10, p. 2267-2273, 1990.

SANCHES, A.; MONTEGGIA, L. O.; GONÇALVES, H. R.; PADILHA, R S. A utilização de efluentes de reator UASB e lagoas de estabilização na irrigação do milho como alternativa de reúso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., Porto Alegre, 2007. Anais ... Porto Alegre, 2007.

SILVA, F. A. S. Assistência Estatística – Assistat. Disponível em: <http://www.assistat.com/indexp.html> - Atualizado em 14/05/2012. Acesso em 02/11/2012.

TEDESCO, M. J., GIANELLO, C., BISSANI, C. A., BOHNEN, H. e VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*, v.16, p.574-582, 1980.

VIEIRA, V. M.; DA SILVA, P. R. F.; SANGOI, L.; DOS REIS CASTRO, N. M.; STRIEDER, M. L.; JANDREY, D. B.; LOUZADA, J. A. S. Rendimento de grãos de milho sob diferentes sistemas de irrigação por aspersão. *Irriga*, v. 18, n. 3, 2013.

## **5. ANÁLISE DO CULTIVO DE MILHO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA COMO FONTE DE SUPRIMENTO DA ALIMENTAÇÃO ESCOLAR NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE-RS**

### **RESUMO**

A produção agrícola com águas residuárias é uma alternativa que vem se destacando em função da alta demanda dos recursos hídricos e do aporte de nutrientes que a mesma proporciona. O presente trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica da produção do milho irrigado por sulcos com água residuária em sistema de produção familiar como fonte de suprimento na alimentação escolar de forma segura no município de Porto Alegre-RS. O experimento foi conduzido na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) São João Navegantes utilizando-se efluentes submetidos a dois tratamentos: T2 - reator anaeróbio com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 10 dias e T3 - Lagoa de Polimento com TDH de 30 dias, ambos sem adição de adubação química. Um terceiro tratamento foi realizado como testemunha - T1 com irrigação realizada com água tratada e adubação química. A produção de milho com o efluente T2 foi mais elevada que o tratamento T3, além de mostrar-se viável técnica e economicamente para o agricultor familiar. Adicionalmente, a sua adoção pode trazer uma redução dos custos da prefeitura com alimentação escolar, contudo, para garantir a segurança alimentar desse sistema de produção, é recomendável o monitoramento permanente das condições fitossanitárias do sistema solo-água-planta.

**PALAVRAS-CHAVE:** irrigação por sulco, agricultura familiar, Zea mays L., produtividade milho, irrigação por sulcos, tratamento de efluentes.

## **ANALISYS OF CROP CORN IRRIGATED WITH WASTEWATER AS A SOURCE OF SUPPLY OF SCHOOL FEEDING IN THE CITY OF PORTO ALEGRE- RS**

### **ABSTRACT**

Agricultural production with wastewater is an alternative that has stood out due to the high demand of water resources and the supply of nutrients that it provides. This study aimed to analyze the technical and economic feasibility of the production of irrigated corn furrow with wastewater system in household production as a source of supply in school meals in Porto Alegre - RS, safely. The experiment was conducted at the Sewage Treatment Plant São João Navegantes using effluent subjected to two treatments: T2 - anaerobic reactor with a hydraulic retention time (HRT) of 10 days and T3 - polishing pond with HRT of 30 days, both without the addition of chemical fertilizer. A third treatment – T1 was performed as control irrigation performed with treated water and chemical fertilizer. Corn production with effluent T2 higher than treatment T3, in addition to showing up technically and economically viable for the farmer family. Additionally, its adoption can bring a cost reduction of the prefecture with school feeding, however, to ensure that food safety production system, it is recommended constant monitoring of the plant health of the soil-water-plant.

**KEYWORDS:** family farming, Zea mays L., corn productivity, furrow irrigation, wastewater treatment.

## 5.1 Introdução

A irrigação se constitui no maior fator contributivo das demandas hídricas consuntivas. De acordo com estudo da ANA (2012), a irrigação representa 72% da vazão total consumida, seguida do uso para dessedentação animal (11%), urbano (5%) e industrial (7%) e abastecimento rural (1%). Esses números ressaltam a importância da racionalidade do uso da água na agricultura por parte dos seus gestores, principalmente nas regiões onde os déficits hídricos ocorrem de forma mais sistemática.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) em 1973 emitiu documento tratando das diferentes formas de águas de reúso (WHO, 1973), definindo como reúso não potável para fins agrícolas, a irrigação com águas residuárias. As águas provenientes do esgoto tratado racionalizam o uso da água e preservam os corpos d'água que captam despejos das Estações de Tratamento de Esgotos - ETE (Brasil; Andreoli, 2006). Barbosa et al. (2009), verificaram a potencialidade do descarte no solo de efluentes tratados, atuando positivamente na recarga de aquíferos e agricultura.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2011), o acesso à rede de esgoto sanitário no Brasil passou de 33,5%, em 2000, para 45,7%, em 2008. Esses dados mostram que a situação brasileira ainda é bastante precária. Os planos de expansão do Departamento Municipal de Água e Esgotos do Município de Porto Alegre - DMAE preveem um incremento na produção de lodo e efluentes, necessitando de mais opções para destinação (Souza, 2009).

O aproveitamento de águas residuárias para fins agrícolas é uma alternativa levando-se em conta os benefícios advindos. O uso de águas residuárias na agricultura vem aumentando devido as frequentes estiagens, escassez dos recursos hídricos e a necessidade de preservação ambiental. De acordo com Collischonn e Louzada (2011), o cultivo do milho não irrigado tende a se tornar inviável em poucos anos no Rio Grande do Sul devido ao déficit hídrico.

As águas oriundas do tratamento do esgoto doméstico possuem características agrônômicas que a tornam uma fonte de macro e micronutrientes essenciais às plantas. Os principais nutrientes presentes nas águas sanitárias são o Nitrogênio e o Fósforo. O uso agrícola das águas residuárias pode reduzir o efeito da eutrofização de lagos e represas provocados pelo excesso de N e P, onde a deposição direta propicia o crescimento de algas podendo atingir concentrações

elevadas a ponto de afetar diversos usos dos corpos d'água. Segundo Hespanhol (2003) a prática da irrigação com esgoto doméstico tratado evidencia o seu potencial pela redução e até mesmo a eliminação do uso de fertilizantes minerais. Estudo de Weber et al. (2010) mostra que o reúso da água reduz as cargas poluentes emitidas aos corpos receptores, beneficiando o meio ambiente.

É importante estar sempre atento à gestão do uso das águas residuárias na irrigação, já que traz consigo grandes benefícios, todavia também há efeitos negativos associados ao meio ambiente (Lima; Ferreira; Christofidis, 2009). Um efeito decorrente do uso das águas residuárias é a salinidade no sistema solo-planta, tendo como fator determinante o manejo da irrigação e da cultura (Oliveira et al., 2002). Além dos efeitos deletérios diretos da salinidade no crescimento vegetativo, ainda há potencialização da erosão e a contaminação dos mananciais hídricos. Segundo Toze (2006), o reúso de água na agricultura pode ser comprometido em função da presença de metais pesados, organismos patogênicos e desreguladores endócrinos.

Mota e Von Sperling (2009) destacam o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), o qual aponta um grande potencial de uso de águas residuárias na agricultura. Os nutrientes presentes nos efluentes de estações de tratamento de esgoto contribuem decisivamente no desenvolvimento das culturas, mesmo sem o fornecimento de fertilizantes químicos (Bastos, 2003; Florencio et al., 2006).

Algumas das recentes políticas públicas baseiam-se no trinômio: alimentação escolar – agricultura familiar – segurança alimentar. Como exemplo dessas políticas temos a Lei Orgânica de Segurança Alimentar e Nutricional – LOSAN (Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006), onde diz que o estado deve garantir a todos o acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais, tendo como base práticas alimentares promotoras de saúde que respeitem a diversidade cultural e que seja ambiental, cultural, econômica e socialmente sustentável. Outra lei é a de nº 11.947, de 16 de junho de 2009, e da Resolução do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) nº 38, de 16 de julho de 2009, onde diz que as escolas das redes públicas de educação básica passarão a usar em parte produtos da agricultura familiar nas refeições oferecidas aos seus alunos. O aumento da industrialização fez com que houvesse um distanciamento cada vez maior dos agricultores familiares com o consumidor final (Villa Real e Schneider, 2011).

De acordo com Trichese Schneider (2010), no Brasil se encontra duas situações bem claras relativas ao reúso agrícola: a pobreza enfrentada pelos pequenos agricultores e a má qualidade dos alimentos consumidos, indicando a importância da aproximação dos programas de alimentação escolar com a agricultura familiar. Igualmente, temos o crescimento da obesidade infantil em escolares e a adoção de políticas governamentais que busquem alternativas para esse problema de saúde pública, passa pela alimentação escolar (Todendi et al., 2012 e Rivera e Souza, 2006).

Em 2010, o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) destinou três bilhões de reais para alimentação escolar, atendendo 45 milhões de crianças (FNDE, 2013). A Resolução nº 38, de 16 de julho de 2009, diz que pelo menos 30% desse valor deve ser utilizado na aquisição de gêneros alimentícios diretamente da agricultura familiar e do empreendedor familiar rural ou de suas organizações, priorizando-se os assentamentos da reforma agrária, as comunidades tradicionais indígenas e comunidades quilombolas.

Diante desse quadro o objetivo do estudo é analisar a viabilidade técnica e econômica da produção do milho irrigado por sulcos com esgoto urbano tratado submetido a dois tratamentos, no sistema familiar como fonte de suprimento da alimentação escolar em Porto Alegre-RS.

## **5.2 Material e Métodos**

O estudo da irrigação com esgoto tratado na cultura do milho (*Zea mays* L.) foi conduzido na Estação Piloto de Tratamento de Esgoto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, construída junto a Estação de Tratamento de Esgoto São João Navegantes do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) de Porto Alegre-RS, situada nas coordenadas geográficas 29°59'25.54"S; 51°11'36.33 W elevação de 5 m (Figura 1).

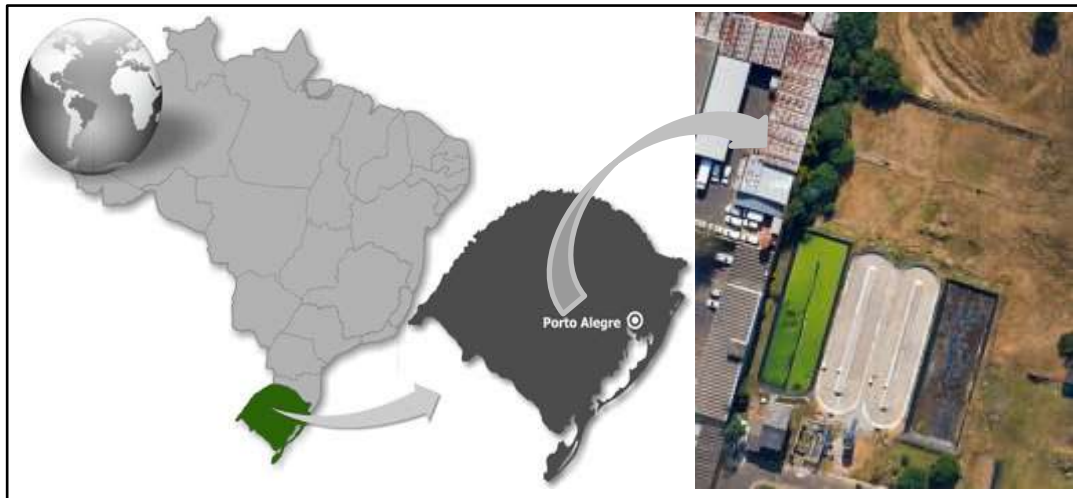


Figura 1. Localização da Estação de Tratamento de Esgoto São João Navegantes. Porto Alegre, RS, Brasil. Fonte: Google Maps, 2013.

A ETE São João Navegantes está em operação desde setembro de 2000, atingindo onze bairros e cercanias, custando 24 milhões de reais. A estação tem capacidade para tratar 444 litros de esgoto por segundo, beneficiando diretamente uma população de aproximadamente 150 mil habitantes da zona norte de Porto Alegre. No sistema de lodo ativado, utilizado na ETE, o esgoto passa por um pré-tratamento e depois vai direto para os tanques de aeração. Após essa etapa, o oxigênio é introduzido artificialmente no meio líquido, acelerando a decomposição natural do material orgânico, que é digerido pelas bactérias (Dutra e Ghisleni, 2001).

O experimento foi realizado com irrigação do milho por sistema de sulcos utilizando água tratada na parcela testemunha (T1) e esgoto urbano tratado por dois sistemas distintos. No sistema de irrigação por sulcos, a planta não entra em contato com o efluente, diferentemente da irrigação por aspersão, dessa forma o risco de contaminação é menor. Na parcela testemunha, foi aplicada adubação química de base e cobertura, recomendada pela CQFS-RS/SC (2004). Nas parcelas irrigadas com esgoto tratado, os dois sistemas passam inicialmente pelo gradeamento e desarenação, tendo como produto final o esgoto pré-tratado. Em ambos os tratamentos, o esgoto passa por um tratamento anaeróbio através de um reator com fluxo ascendente (UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket) e em seguida vai para uma Lagoa de Polimento de 30 m por 10 m e 1 m de profundidade. O primeiro tratamento (T2) tem um Tempo de Detenção Hidráulica – TDH de dez dias (TDH-10)

e o segundo (T3) de trinta (TDH-30). Dois parâmetros dos efluentes utilizados na irrigação do milho são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros do efluente UASB e Lagoa de Polimento.

| Data       | Nitrogênio Total      |      | Fósforo Total |     |
|------------|-----------------------|------|---------------|-----|
|            | (mg L <sup>-1</sup> ) |      |               |     |
|            | UASB                  | LP   | UASB          | LP  |
| 03/10/2007 | 27.9                  | 18.2 | 4.1           | 3.3 |
| 10/10/2007 | 34.4                  | 21.5 | 6.2           | 4.3 |
| 17/10/2007 | 23.0                  | 16.2 | 3.9           | 3.8 |
| 24/10/2007 | 29.4                  | 20.5 | 4.3           | 4.1 |
| 31/10/2007 | 27.4                  | 13.0 | 3.6           | 3.7 |
| 07/11/2007 | 22.6                  | 12.1 | 2.2           | 2.9 |
| 14/11/2007 | 22.6                  | 12.1 | 2.6           | 3.4 |
| 21/11/2007 | 21.5                  | 12.4 | 3.8           | 3.2 |
| 28/11/2007 | 20.2                  | 8.3  | 4.9           | 3.9 |
| 05/12/2007 | 30.9                  | 17.5 | 5.6           | 3.9 |
| 12/12/2007 | 25.5                  | 9.4  | 4.5           | 3.0 |
| 19/12/2007 | 37.9                  | 12.1 | 5.5           | 4.8 |
| 26/12/2007 | 32.3                  | 13.6 | 6.6           | 4.3 |
| 02/01/2008 | 27.8                  | 14.9 | 6.1           | 3.7 |
| 09/01/2008 | ND                    | ND   | 5.8           | 5.7 |
| 16/01/2008 | 25.5                  | 17.7 | 5.0           | 4.2 |
| 23/01/2008 | 26.7                  | ND   | 5.1           | 4.6 |
| 30/01/2008 | 30.9                  | 17.3 | 6.6           | 4.0 |
| 06/02/2008 | 26.9                  | ND   | 4.9           | 3.5 |
| 13/02/2008 | 19.0                  | 14.6 | 1.1           | 4.5 |

Na Tabela 1 verifica-se dentre as 20 coletas do efluente UASB e Lagoa de Polimento, o efeito diluidor das águas pluviais. As chuvas afetam a carga orgânica do esgoto e as vazões afluentes ao tratamento (Pereira et al., 2003).



A Figura 2 traz um comparativo das precipitações médias no município de Porto Alegre com a ocorrida na área experimental.

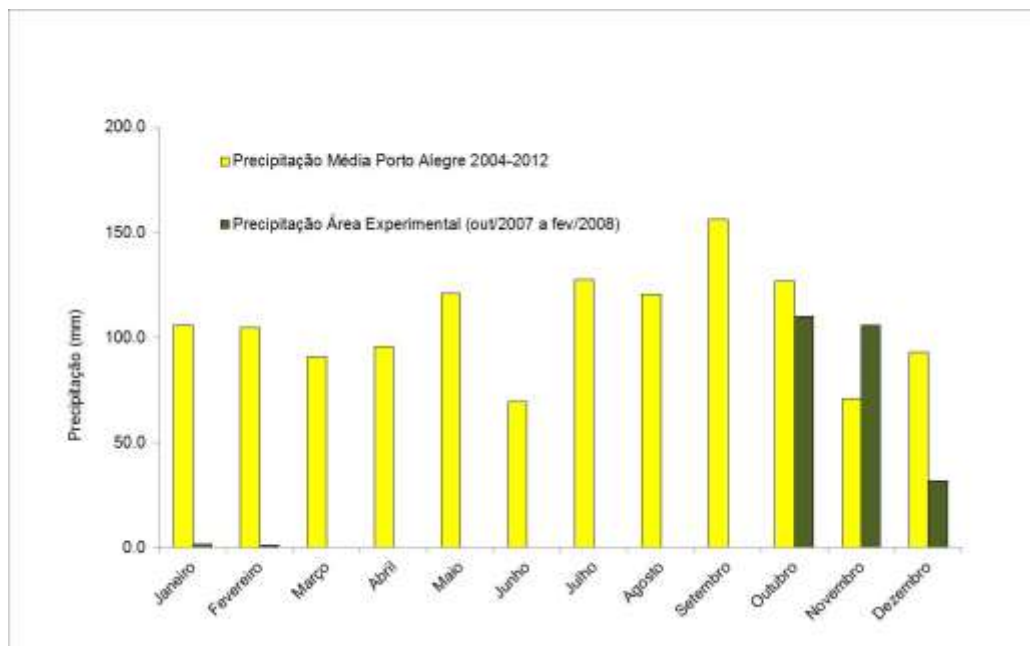


Figura 2. Comparativo da Precipitação Pluviométrica Média em Porto Alegre\* e a ocorrida na Área Experimental.

\*Fonte: INMET, 2013.

Estudo de Kray (2005) e Souza (2009) com tratamento anaeróbico de esgoto mostra que o solo atua como um filtro biológico e na utilização para fins agrícolas, além de beneficiar as propriedades dos solos, supri as demandas nutricionais das plantas, no caso específico, Nitrogênio e Fósforo.

Recorreu-se ao delineamento experimental em faixas, em um sistema de irrigação por sulcos com plantio em linhas de cultivo, quatro repetições em três blocos, totalizando 12 parcelas por tratamento (Figuras 3 e 4), considerando que ele não permite casualização para o fator água. Esse pressuposto da não aleatorização da água de irrigação já fora adotado em experimentos com irrigação por aspersão em linha de Hanks et al. 1980 e Bergonci et al., 2001. Dessa forma, não há interferência entre os tratamentos e evita que as áreas experimentais sejam muito extensas.

As dimensões dos tratamentos foram de 21 m x 15 m (315 m<sup>2</sup>), ocupando uma área total de 945 m<sup>2</sup> (Figura 3).

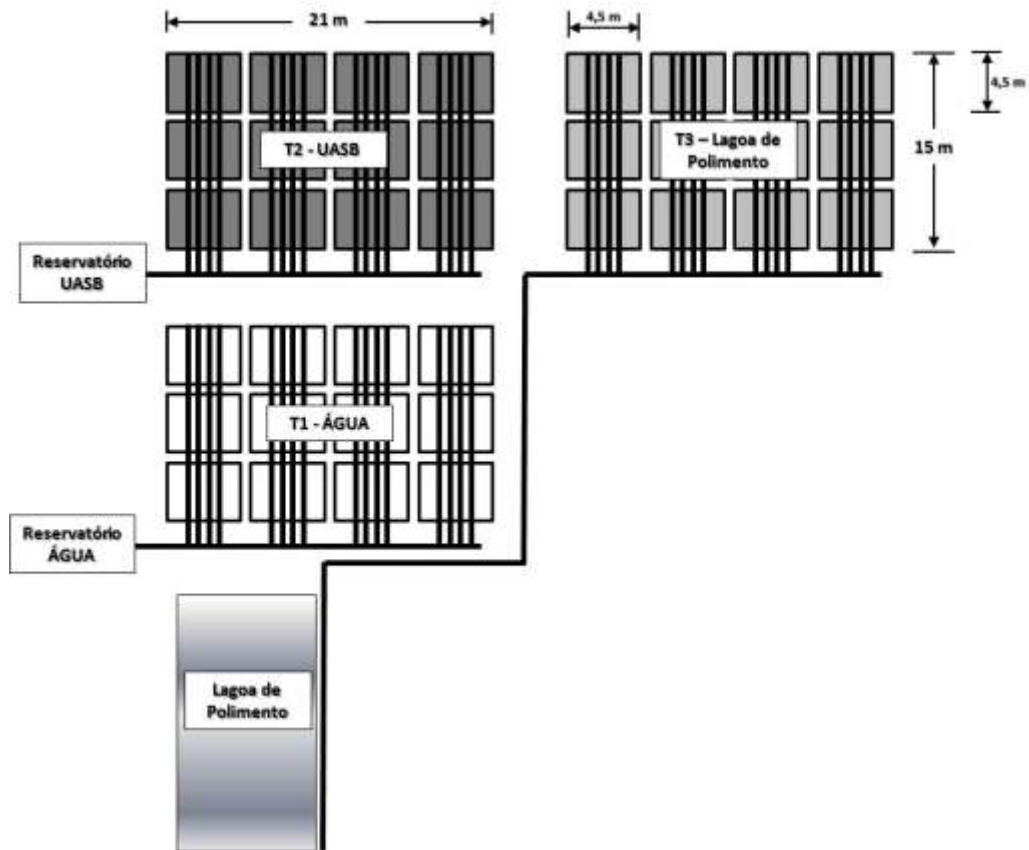


Figura 3. Detalhamento da área experimental na ETE São João Navegantes. Porto Alegre, RS, Brasil.

O plantio foi realizado no dia juliano 275 (02/10/2007), adotando-se a cultivar Pioneer 30F53, tratadas com Cruiser 350FS (Tiametoxan 35%) sobre a resteva de aveia preta (*Avena strigosa*). A colheita do milho foi realizada aos 49 dias juliano (18/02/2008) do ano seguinte, perfazendo um total de 139 dias de ciclo.

A lâmina de irrigação foi aplicada de forma que a umidade do solo estivesse próximo à capacidade de campo (CC), através do registro diário do conteúdo de água do solo por meio de sensores Time Domain Reflectometry – TDR (Modelo Trase System I 6050X1) instalados em cada tratamento. A Figura 4 apresenta uma foto com o detalhamento dos sulcos de irrigação.



Figura 4. Detalhamento dos sulcos de irrigação do tratamento TDH-30.

Cada tratamento tem 4 conjuntos de irrigação, cada um com 8 fileiras de milho e quatro sulcos para cada sub-parcela (canteiro), totalizando dezesseis. Cada sulco irriga duas fileiras de milho com espaçamento entre linhas de 0,5 metro, tendo um sulco por metro. A vazão de cada sulco foi de 3,9 l/min, totalizando 62,4 l/min por parcela. A Figura 5 apresenta as diferentes lâminas de irrigação nos tratamentos e a precipitação pluviométrica na área experimental.

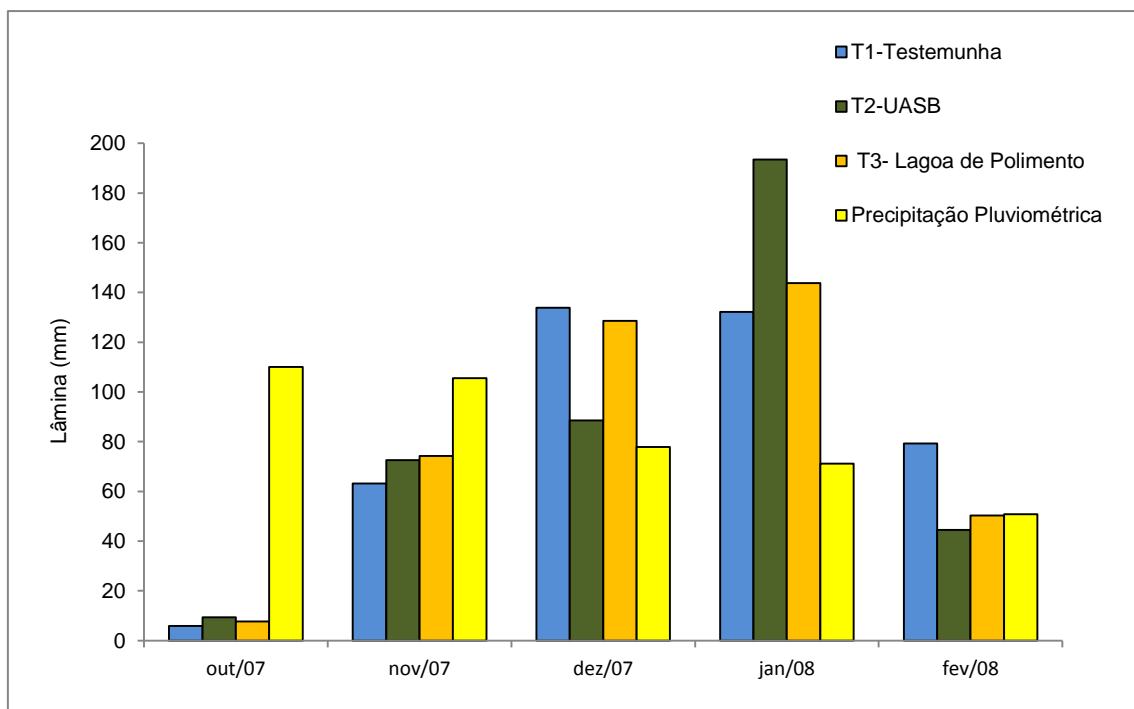


Figura 5. Precipitação pluviométrica e lâmina de irrigação nos três tratamentos.

De acordo com Costa et al. (2012), a irrigação com efluente doméstico propicia melhores condições de absorção de nutrientes em função da sua diluição e da maior partição da adubação.

As características do solo são bastante peculiares, tendo um histórico de aterro de diversos materiais incluindo descartes de construção, impossibilitando a classificação taxonômica. A área de cultivo foi totalmente impermeabilizada por uma lona de polietileno de alta densidade (PEAD) através da remoção de uma camada de 70 cm do solo e posterior colocação. As Figuras 6 e 7 apresentam os cortes transversal e longitudinal das parcelas, a fim de visualizar a irrigação e a drenagem do efluente.

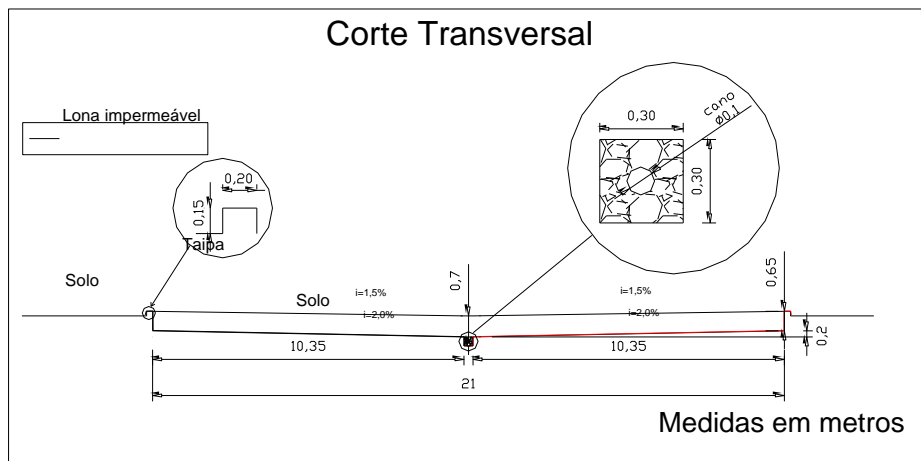


Figura 6. Corte transversal na parcela, detalhando o sistema de drenagem.

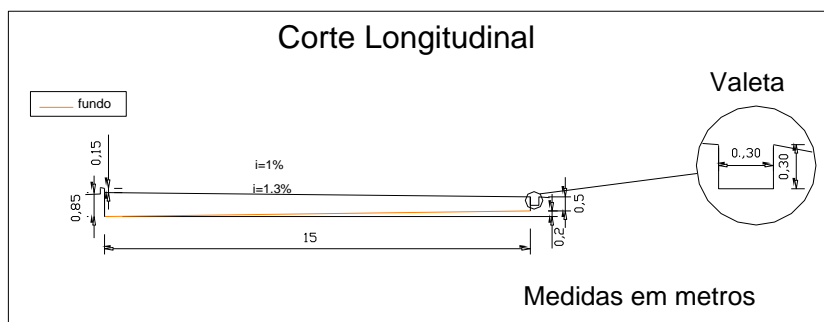


Figura 7. Corte longitudinal no sulco, detalhando a irrigação nas parcelas.

A partir de dados referentes ao custo médio de produção do milho em núcleo familiar e das despesas da prefeitura de Porto Alegre-RS com milho para alimentação escolar, fez-se a análise do impacto nas despesas da prefeitura e a viabilidade econômica do ponto de vista do pequeno produtor familiar. Os parâmetros adotados na determinação da viabilidade econômica foram: Valor Presente Líquido – VPL; Payback Descontado - PBD e a Taxa Interna de Retorno – TIR.

No estudo da Engenharia Econômica, a determinação do VPL indica se o projeto em análise irá gerar lucro ou prejuízo. O Valor Presente Líquido (VPL) de um fluxo de caixa é obtido pela soma de todos os valores do fluxo de caixa, trazidos para a data presente, conforme mostra a equação [1]. Ou seja, descontam-se os valores futuros para a data presente e somam-se estes valores descontados com o valor que o fluxo de caixa apresenta na data inicial. Como taxa de desconto, utiliza-se a TMA – taxa mínima de atratividade do investidor. Para que o projeto seja viável o  $VPL \geq 0$ . (Casarotto e Kopitke, 1994).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} \quad [1]$$

Onde:

$F_t$  : Saldo futuro;

$t$  : 0, 1, 2, ..., n;

$i$  : taxa mínima de atratividade.

A TIR é definida como a taxa de desconto que, aplicada a um fluxo de caixa, o iguala a zero (equação [2]). Ou seja, a TIR zera o VPL (Balarine, 2002):

$$VPL = \frac{\sum_{t=0}^n R_t}{(1+i)^t} - \frac{\sum_{t=0}^n |C_t|}{(1+i)^t} = 0 \quad [2]$$

Onde:

$R_t$  : Receitas líquidas em cada momento  $t$  do projeto;

$C_t$  : Custos líquidos, em módulo, em cada momento  $t$  do projeto;

$t$  : 0, 1, 2, ..., n;

$i$  : TIR.

O Payback é um parâmetro que indica o prazo de recuperação de um capital investido. De acordo com Motta e Calôba (2002), o Payback deve ser utilizado com

reservas, apenas como um indicador, não servindo de seleção entre alternativas de investimento. A equação [3] dada abaixo apresenta a fórmula para o cálculo do Payback.

$$\text{Payback} = \$ \text{ Retorno por Período} / \$ \text{ Investimento} \quad [3]$$

Os parâmetros químicos dos efluentes e da água de irrigação analisados seguiram a Metodologia descrita no Standard Methods (Eaton et al., 2005). Na determinação dos coliformes totais e fecais foi utilizado o Método Cromogênico (APHA, 1995).

### 5.3 Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises químicas do solo. Os resultados de cada um dos tratamentos representam a média do perfil de 60 cm antes da instalação do experimento. Em cada tratamento foram coletadas 12 sub-amostras de solo ao longo do perfil, uma em cada sub-parcela, perfazendo ao final uma amostragem por tratamento. As determinações dos atributos químicos do solo foram realizadas de acordo com as metodologias descritas por Tedesco et al. (1995).

Tabela 2. Caracterização química das amostras de solo (0 – 60 cm) na área do experimento.

| Tratamento  | Índice SMP | P                          | K   | M.O. |
|-------------|------------|----------------------------|-----|------|
|             |            | ---mg dm <sup>-3</sup> --- |     | (%)  |
| TT (T1)     | 7,5        | > 100                      | 81  | 0,7  |
| TDH-10 (T2) | 7,4        | > 100                      | 86  | 1    |
| TDH-30 (T3) | 7,6        | > 100                      | 103 | 1    |

A recomendação de adubação e calagem é determinada essencialmente em função dos parâmetros apresentados na Tabela 2, os quais indicaram para o tratamento testemunha (T1), a dosagem de N-P-K no plantio de 30, 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O Tratamento Testemunha não requereu aplicação de calcário para ajuste do pH do solo.

A Tabela 3 apresenta as doses dos macronutrientes Nitrogênio, Fósforo e Potássio adicionadas ao solo via irrigação em T2 e T3 e adubação mineral em T1.

Tabela 3. Quantidade de Macronutrientes (N, P, K) Adicionadas ao Solo.

| Tratamento | Nitrogênio                     | Fósforo | Potássio |
|------------|--------------------------------|---------|----------|
|            | -----kg ha <sup>-1</sup> ----- |         |          |
| T1         | 210                            | 59      | 144      |
| T2         | 107                            | 18      | 105      |
| T3         | 60                             | 16      | 108      |

É importante destacar que no T1 a adubação nitrogenada foi adicionada em quatro etapas, uma na semeadura e três em cobertura, diferentemente de T2 e T3, onde a distribuição foi feita ao longo do ciclo através da irrigação. A irrigação aplicada em T1 foi equivalente a uma lâmina d'água de 414 mm, enquanto que em T2 e T3 equivaleu a 408 e 404 mm, respectivamente, com 25 irrigações entre o 23º e o 128º DAS.

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostram que as quantidades de N-P-K adicionadas ao solo via irrigação foram menores em T2 e T3 comparativamente a T1. Por outro lado, Chernicharo (2001) comenta que além da adição de nutrientes, as águas residuárias propiciam o aumento da retenção de água no solo em função do incremento de matéria orgânica.

A resposta do milho aos diferentes tratamentos trouxe resultados que mostraram um potencial de produção, conforme ilustra a Tabela 4. Foram coletadas 36 plantas por tratamento para determinação dos parâmetros do milho. Para avaliação da produtividade de cada um dos três tratamentos utilizou-se como procedimento estatístico a análise de variância, e para identificação da ocorrência de diferenças significativas entre esses tratamentos, o teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Teste de médias Tukey 5%, para as variáveis referentes à matéria seca da parte aérea. Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si estatisticamente ao nível de 5% de significância.

| Variáveis   | TT (T1)           | TDH-10 (T2)       | TDH-30 (T3)       |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| Sabugo (g) Planta <sup>-1</sup>   | 31,8 <sub>a</sub> | 26,9 <sub>b</sub> | 16,4 <sub>c</sub> |
| Pendão (g) Planta <sup>-1</sup>   | 2,1 <sub>a</sub>  | 2,1 <sub>a</sub>  | 1,5 <sub>b</sub>  |
| Folha + Bainha (g planta <sup>-1</sup> )                                  | 55,5 <sub>a</sub> | 53,3 <sub>a</sub> | 41,4 <sub>b</sub> |
| Caule (g planta <sup>-1</sup> )   | 63,8 <sub>a</sub> | 49,1 <sub>b</sub> | 27,6 <sub>c</sub> |
| Brácteas + Pedúnculo (g planta <sup>-1</sup> )                            | 32,8 <sub>a</sub> | 39,7 <sub>a</sub> | 19,1 <sub>b</sub> |
| Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) –<br>Ajustada a 13% umidade | 8.4 <sub>a</sub>  | 9.2 <sub>a</sub>  | 6.3 <sub>b</sub>  |
| Número de Grãos Espiga <sup>-1</sup> Planta <sup>-1</sup>                 | 510 <sub>a</sub>  | 561 <sub>a</sub>  | 344 <sub>b</sub>  |

Estudo de Barros et al. (2011) constatou que a adição do biossólido ao solo aumentou os teores dos macronutrientes na parte aérea das plantas e propiciou um aumento na quantidade de matéria seca nas plantas de milho.

O T3 apresentou menor acúmulo de matéria seca na parte aérea quando comparado com T1 e T2. A produção de grãos entre os tratamentos T1 e T2 não diferiram estatisticamente, diferenciando-se em relação ao T3. A menor produção de grãos observada em T3 pode estar associada ao reduzido número de folhas e a conseqüente menor área foliar, redundando em menores sítios de produção de fotoassimilados. Em relação ao índice de colheita (IC), observa-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos.

De acordo com a Coordenação do Setor de Nutrição da Secretaria Municipal de Educação - Prefeitura Municipal de Porto Alegre, nos anos de 2010, 2011 e 2012 foram gastos com alimentação escolar R\$ 6.366.717,62, R\$ 7.121.224,00 e R\$ 9.399.322,10, respectivamente. As informações referentes ao consumo de milho para alimentação escolar estão apresentadas na Tabela 5 a seguir.



Tabela 5. Quantidades de milho consumidas na alimentação escolar no município de Porto Alegre-RS em 2010/2011/2012.

| Ano  | Consumo Milho<br>(Nº de Espigas / kg*) | Custo Milho<br>Espiga<br>(R\$) | Consumo<br>Total Milho<br>(kg)** | Custo Total<br>(R\$) |
|------|--|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| 2010 | 7533 / 1280                            | 12499,00                       | 44540                            | 134.599,00           |
| 2011 | 4300 / 731                             | 7915,00                        | 22615                            | 120.673,40           |
| 2012 | 600 / 102                              | 1044,00                        | 20070                            | 97.305,00            |

\*Peso médio da espiga: 170 g – Fonte: Silva (2008).

\*\* Espiga / Conserva / Canjica / Flocos / Broa / Amido.

Fonte: Adaptado do Procempa/PSI/SDO - dados fornecidos pelo Setor de Nutrição/Smed (2013)

De acordo com o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - FNDE (2012), o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) no ano de 2010, atendeu 45,6 milhões de estudantes, sendo gastos aproximadamente três bilhões de reais. Com a Lei nº 11.947, de 16/06/2009, 30% desse valor – ou seja, R\$ 1,05 bilhão – deve ser investido na compra direta de produtos da agricultura familiar, medida que estimula o desenvolvimento econômico das comunidades. Esses montantes indicam a importância desse setor e a necessidade de se buscar alternativas que diminuam esses gastos. No estado de São Paulo, 47% dos municípios já realizaram compras locais para o PNAE, pelo menos uma vez (Villar et al, 2013).

Considerando-se a produtividade de milho obtida em T3, para atender a demanda do milho-espiga para os anos de 2010, 2011 e 2012, seriam necessários o plantio de 1422, 812 e 113 m<sup>2</sup>, respectivamente.

O Departamento Municipal de Água e Esgotos - DMAE de Porto Alegre conta hoje com treze (13) Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs): Sarandi, IAPC, Belém Novo, Esmeralda, Rubem Berta, Arvoredo, Restinga, Ipanema, Lami, Distrito Industrial, São João-Navegantes, Chapéu do Sol e Do Bosque. A localização da maior parte das treze ETE´s situa-se na periferia da cidade, onde há disponibilidade de áreas próximas para implantação de pequenas lavouras (DMAE, 2013). A Figura 8 exemplifica essa situação, onde temos a ETE Belém Novo.



Figura 8. Estação de Tratamento de Esgoto Belém Novo. (Porto Alegre-RS) Fonte: Google Earth (2013).

Dentro dessa perspectiva, com o fornecimento do insumo água na forma do efluente TDH-10 aos núcleos de agricultura familiar do município de Porto Alegre-RS instalados nas cercanias das respectivas ETE's, se viabiliza a produção de milho com um custo mais baixo. A Tabela 6 traz o custo de produção estimado com mão-de-obra familiar que trabalha com milho no sistema convencional.

Tabela 6. Custo de Produção do Milho no RS - Agricultura Familiar.

| Safrá de Verão 2013/2014       |                     |
|--------------------------------|---------------------|
| Discriminação                  | Valor (R\$/hectare) |
| Despesas de Custeio da Lavoura | 1706,77             |
| Outras Despesas                | 75,07               |
| Despesas Financeiras           | 20,51               |
| Depreciações                   | 199,94              |
| Outros Custos Fixos            | 3,93                |
| Gestão da Propriedade Rural    | 877,85              |
| <b>Custo Total</b>             | <b>2884,07</b>      |

Fonte: adaptado CONAB (2013).

A implantação de um sistema de produção familiar utilizando águas residuárias, elimina o custo dos fertilizantes com um impacto bastante relevante nos custos de produção. Cabe ressaltar que a implementação desse sistema produtivo, deve ser gradual devido aos riscos no que tange a segurança alimentar (Arata, 2008). A economia com a irrigação fica em torno de 13% do custo total (CONAB, 2013), porém, acrescentam-se os custos de energia elétrica com o bombeamento d'água.

Assim sendo, somente o custo operacional está sendo considerado, já que a unidade familiar produtiva encontra-se junto as estações de tratamento de esgoto. Dessa forma, o valor do custo de produção do milho irrigado com água residuária na área do município fica em R\$ 2006,22, onde o custo referente a gestão da propriedade rural é subtraído. A produtividade esperada segundo dados da CONAB (2013) fica na faixa de 4000 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que, com a irrigação do efluente TDH-10 esse valor pode atingir 9000 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 4).

Estima-se uma demanda anual de milho espiga para alimentação escolar de 30.000 unidades, considerando-se a disponibilidade maior (possibilidade de duas safras anuais) e o custo de aquisição mais baixo pela prefeitura de Porto Alegre-RS. De acordo com os dados do Notícias Agrícolas (2013), o preço da saca de 60 kg de milho no Rio Grande do Sul em 14/11/2013 foi de R\$ 25,79 e, tendo por base os valores pagos em 2012, o custo de aquisição das 30.000 espigas ficaria em R\$ 52.200,00.

Segundo Azevedo e Silva (2001) o custo por hectare da irrigação por sulco representa em média 20% da irrigação localizada, embora o consumo de água seja maior quando comparada a métodos como gotejamento.

Na elaboração do fluxo de caixa empresa de agricultura familiar, considerou-se um incremento nos custos variáveis e um investimento inicial devido a inclusão de um sistema de irrigação móvel (COTRIJUI, 2009 e Mezomo, 2009). A Tabela 7 a seguir apresenta o fluxo de caixa da empresa familiar no horizonte de 10 anos, adotando-se uma taxa de oportunidade de 6% ao ano, extraíndo-se os valores da TIR, VPL e PBD.

Tabela 7. Fluxo de Caixa do Cultivo de Milho Irrigado com Efluente (TDH-10) no Horizonte de 10 anos em Sistema de Agricultura Familiar.

| Período          | Investimento | Receitas    | Custos      | Valor Presente | VPL          |
|------------------|--------------|-------------|-------------|----------------|--------------|
| 0                | R\$ 5000.00  | R\$ 0.00    | R\$ 0.00    | -R\$ 5000.00   | -R\$ 5000.00 |
| 1                | R\$ 0.00     | R\$ 3868.50 | R\$ 2006.22 | -R\$ 3243.13   | R\$ 1756.87  |
| 2                | R\$ 0.00     | R\$ 3868.50 | R\$ 2006.22 | -R\$ 1585.71   | R\$ 1657.42  |
| 3                | R\$ 0.00     | R\$ 3868.50 | R\$ 2006.22 | -R\$ 22.10     | R\$ 1563.61  |
| 4                | R\$ 0.00     | R\$ 3868.50 | R\$ 2006.22 | R\$ 1453.00    | R\$ 1475.10  |
| 5                | R\$ 0.00     | R\$ 3868.50 | R\$ 2006.22 | R\$ 2844.60    | R\$ 1391.60  |
| 6                | R\$ 0.00     | R\$ 3868.50 | R\$ 2006.22 | R\$ 4157.43    | R\$ 1312.83  |
| 7                | R\$ 0.00     | R\$ 3868.50 | R\$ 2006.22 | R\$ 5395.96    | R\$ 1238.52  |
| 8                | R\$ 0.00     | R\$ 3868.50 | R\$ 2006.22 | R\$ 6564.37    | R\$ 1168.42  |
| 9                | R\$ 0.00     | R\$ 3868.50 | R\$ 2006.22 | R\$ 7666.66    | R\$ 1102.28  |
| 10               | R\$ 0.00     | R\$ 3868.50 | R\$ 2006.22 | R\$ 8706.54    | R\$ 1039.89  |
|                  |              |             |             |                | R\$ 8706.54  |
| Taxa             | 6.00%        |             |             |                |              |
| Saca (60 kg)     | R\$ 25.79    |             |             |                |              |
| Produção (kg/ha) | 9000         |             |             |                |              |
| TIR              | 35%          |             |             |                |              |

Para um sistema produtivo familiar, esse projeto mostrou-se viável economicamente, considerando-se os valores do VPL, TIR e PBD de R\$ 8.706,54, 35% e 3 anos, respectivamente.

Sendo o VPL a representação da soma das contribuições ao longo do projeto, descontada uma taxa que represente o custo do capital no tempo, tendo como finalidade determinar um valor no instante considerado inicial, encontrando-se um valor maior ou igual a zero, viabiliza-se o projeto.

A TIR representa a taxa de desconto que iguala o VPL de um projeto a zero, sendo a taxa composta que o projeto pode gerar. Como a TIR é maior do que a taxa de oportunidade, o projeto é viável. O Payback Descontado indica o período de tempo necessário para que o capital investido inicialmente no projeto seja recuperado e remunerado pela taxa de desconto considerada. O retorno se deu entre o segundo e terceiro ano do projeto, proporcionando um retorno em prazo relativamente curto.

A irrigação com efluentes de reúso, dependendo das suas características pode contaminar o solo, águas subterrâneas e superficiais, limitando a sua aplicação

(Marciano et al., 2001). Em razão dos riscos a saúde, o nitrato é um dos compostos mais pesquisados devido a sua alta solubilidade e mobilidade em água. O risco se torna maior principalmente em solos arenosos, onde a percolação é rápida, podendo atingir o lençol freático com teores superiores em comparação com os solos argilosos.

O milho é menos susceptível a contaminação por microorganismos presentes no efluente (Melloul et al., 2001) por não desenvolver-se rente ao solo. Além disso, de acordo com Gloaguen et al. (2005), o milho possui elevado poder de absorção de nutrientes, principalmente o Nitrogênio, se constituindo em uma das culturas preferenciais para aplicação de águas de reúso.

A Tabela 8 apresenta os dados referentes aos coliformes totais, fecais, onde os valores encontrados não restringem o uso na irrigação por sulcos do milho.

Tabela 8. Valores Médios dos Coliformes Totais e Fecais dos Efluentes do Experimento.

| Tratamento              | Coliformes                           |                      |
|-------------------------|--------------------------------------|----------------------|
|                         | Totais                               | Fecais               |
|                         | ----- NMP 100 mL <sup>-1</sup> ----- |                      |
| T1 – Água Tratada       | 3,0 .10 <sup>1</sup>                 | 1,0 .10 <sup>1</sup> |
| T2 – UASB               | 7,0 .10 <sup>6</sup>                 | 2,0 .10 <sup>1</sup> |
| T3 – Lagoa de Polimento | 3,0 .10 <sup>5</sup>                 | 6,2 .10 <sup>4</sup> |

A existência de microorganismos patogênicos está diretamente relacionada a presença de coliformes fecais (Fravet e Cruz, 2007). De acordo com a Resolução CONAMA Nº 357/05 (CONAMA, 2005), a presença de coliformes totais nas águas de irrigação é permitida, todavia, os coliformes fecais não devem exceder o limite de 1.000 coliformes fecais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.

A quantidade de coliformes fecais encontrada na Lagoa de Polimento em princípio, não impede o seu uso de forma definitiva, já que os teores podem cair em função do efeito diluidor das precipitações pluviométricas em determinadas épocas do ano e do aumento do tempo de detenção hidráulica na Lagoa de Polimento. Outrossim, a normatização da CETESB (2013) considera como valor limite 100.000

coliformes fecais por 100 mililitros para irrigação por aspersão com exposição para trabalhadores, corroborando o uso agrícola do efluente do tratamento TDH-30.

A análise do grão sob o ponto de vista dos desregulares endócrinos indica que não há restrição para o seu consumo. O milho produzido no experimento foi analisado quanto à ocorrência dos desreguladores endócrinos: hormônios estrona,  $17\beta$ -estradiol e  $17\beta$ -etinilestradiol e chegou-se ao seguinte resultado: no tratamento T1 irrigado com água tratada e na parcela T3 (TDH-30), não houve transferência de hormônios naturais e sintéticos para os grãos de milho durante o processo de irrigação por sulcos. No tratamento T2 (TDH-10) o mesmo foi observado (Castro, 2010).

A exposição aos desreguladores endócrinos pode ocasionar alterações fisiológicas e histológicas em animais silvestres, feminização de peixes machos, indução ao hermafroditismo, inibição no desenvolvimento das gônadas e declínio na reprodução. Temos também a diminuição na eclosão de ovos de pássaros e tartarugas; problemas no sistema reprodutivo de mamíferos têm sido associados à exposição destas espécies animais aos desreguladores endócrinos e nos seres humanos atinge o sistema reprodutivo feminino e masculino. (Bilae Dezotti, 2007).

#### **5.4 Conclusão**

O estudo indica que o modelo proposto é viável técnica e economicamente para o pequeno produtor, trazendo uma alternativa de produção sustentável sob o ponto de vista ambiental, social e econômico.

O custo com milho espiga representa para a Secretaria de Educação de Porto Alegre-RS, 46% do total gasto com milho na alimentação escolar, podendo aumentar a participação do milho e inclusão de outros produtos.

O reúso agrícola atua como um processo de tratamento terciário do esgoto doméstico, trazendo benefícios ambientais ao despejar nos corpos receptores um efluente mais depurado. Adicionalmente, a implantação de unidades agrícolas produtivas nas cercanias das ETE's pode trazer benefícios sociais para pequenos produtores, já que se constitui em fonte alternativa de renda.

Para garantir a segurança alimentar do consumo do milho irrigado com esgoto tratado é fundamental a sequência dos estudos, em virtude da possibilidade de contaminação por coliformes fecais, hormônios e outros agentes.

Por fim, a implementação desse sistema produtivo, requer um contínuo monitoramento das condições fitossanitárias e a articulação dos gestores públicos municipais, mais especificamente da secretaria da educação e agricultura e do departamento de água e esgoto.

## Referências

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19 ed. Washington, D. C., 1995. 1137 p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012. Ed. Especial. Brasília : ANA, 2012.

ARATA, P. Gestión de Biosólidos Realizada por Cinco Años en el Ámbito del Reuso Benéfico en Santiago, Chile. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica Volúmen 1, número 4, año 2008.

AZEVEDO, J. A.; SILVA, E. M. Parâmetros Operacionais da Irrigação por Sulcos em Contorno em LE Argiloso de Cerrado. Recomendação Técnica nº 38, Brasília-DF, Setembro, 2001.

BALARINE, O. Tópicos de matemática financeira e engenharia econômica. 2.ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2002.

BARBOSA, A. F.; BOTARI, A.; FREIRE, F. B. Análise do tratamento de água residuária sintética em reator UASB seguido de filtro preenchido com solo natural. Revista Tecnológica, v. 18, p. 53-67, 2009.

BARROS, I. T. et al. Avaliação agronômica de biossólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Jun 2011, vol.15, no.6, p.630-638.

BASTOS, R. K. X. (Coord.). Utilização de esgotos tratados em irrigação, hidroponia e piscicultura. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2003.

BERGONCI, J. T.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A. O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, n. 7, p. 949-956, jul. 2001.

BILA, D.M.; DEZOTTI, M. Desreguladores endócrinos no meio ambiente: efeitos e consequências. Química Nova, Vol.30, no3, p. 651-666, 22 de fev. 2007.

BRASIL, J. K.; ANDREOLI, C. V. Proposição de sistema de avaliação do potencial de reuso de esgoto tratado em áreas agrícolas na região Metropolitana de Curitiba. Revista Técnica da Sanepar, Curitiba, v. 25, n. 25, p.43-58, jul./dez. 2006.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B. H. Análise de investimentos. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

CASTRO, C. M. B. Ocorrência de Desreguladores Endócrinos em Cultura de Milho Irrigada com Efluentes Urbanos Tratados. Tese Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Orientação para Apresentação de Projeto Visando a Aplicação de Água de Reúso Proveniente de Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico na Agricultura. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/publica%20A7%B5es-e-Relat%20B3rios/1-Publica%20A7%B5es-/-Relat%20B3rios#>>. Acesso em 16 de novembro de 2013.

CHERNICHARO, C. A. L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. 2. Ed. Belo Horizonte, Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.

COLLISCHONN, B.; LOUZADA, J. A. Impacto potencial de mudanças climáticas sobre as necessidades de irrigação da cultura do milho no Rio Grande do Sul. REGA – Vol. 8, no. 2, p. 19-29, jul./dez. 2011.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – (CQFS/RS-SC). Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina /



Sociedade Brasileira de Ciência do solo. Comissão de Química e fertilidade do solo. 10. ed. Porto Alegre, 2004.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO -. PGPAF – Programa de Garantia de Preço Para Agricultura Familiar. Maio/2013. Disponível em <[http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1286&t=2&Pagina\\_objcmsconteudos=2#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1286&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos)>. Acesso em 10 de outubro de 2013.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 16 de novembro de 2013.

COSTA, M. S. et al. (2012). Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. Irriga, 1(01).

COTRIJUÍ. Projeto de irrigação para o aumento da produção leiteira. Ijuí, 2009. 48 p.

DMAE. Departamento Municipal de Água e Esgotos do Município de Porto Alegre. Disponível em: <[http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?p\\_secao=186](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?p_secao=186)>. Acesso em 10 de março de 2013.

DUTRA, A. L.; GHISLENI, A. C. ETE São João/Navegantes: Porto Alegre tratando o esgoto como ele merece. Revista Ecos -Ano 8 / nº19 - Janeiro 2001. Disponível em <<http://www.portoalegre.rs.gov.br/ecos/revistas/ecos19/frame5.htm>> Acesso em 15 de novembro de 2013.

EATON, A. D. et al. Standard Methods for the Examination off Water And Wastewater, 21 ed. Washington: American Public Health Association – APHA, 2005.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. EMBRAPA Milho e Sorgo. Sete Lagoas, Circular Técnica 75, 2006. 6p.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (coord.). Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

FRAVET, A. M. M. F., CRUZ, R. L. Qualidade da água utilizada para irrigação de hortaliças na região de Botucatu-SP. Irriga, Botucatu, v. 12, n. 2, p.144-155. 2007.

FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO (FNDE). Dados Estatísticos da Alimentação Escolar. <http://www.fnde.gov.br/programas/alimentacao-escolar/alimentacao-escolar-dados-estatisticos>. Acesso em 10 de março de 2013.

FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO- FNDE. Disponível em <http://www.fnde.gov.br/index.php/programas-alimentacao-escolar>. Acesso em 07 de abril de 2012.

GLOAGUEN, T. V. et al. Dinâmica do nitrogênio inorgânico em solo cultivado e irrigado com esgoto tratado. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30, 2005, Recife. Anais... Recife: SBCS, 2005. CD-ROM.

GOOGLE EARTH. Disponível em <<https://maps.google.com/?ll=-30.21680,-51.16516&z=16&t=h>>. Acesso em 11 de outubro de 2013.

GOOGLE MAPS. Disponível em < [http://showmystreet.com/#-husp3\\_-uh8xx\\_j](http://showmystreet.com/#-husp3_-uh8xx_j)>. Acesso em 14 de novembro de 2013.

HANKS, R. J.; SISSON, D. V.; HURTS, R. L.; HUBBARD, K. G. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 44, n. 4, p. 886-888, 1980.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos (ed.) Reúso de Água. Barueri, Sp. Manole. P. 37-96. 2003.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Atlas de Saneamento, 2011. Disponível em:

<[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas\\_saneamento/default\\_zip.shtml](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtml)>. Acesso em 29 de janeiro de 2012.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – 8º Distrito de Meteorologia. Disponível em: <[http://www2.portoalegre.rs.gov.br/codec/default.php?p\\_secao=73](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/codec/default.php?p_secao=73)>. Acesso em 15 de novembro de 2013.

KRAY, C. H. Resposta das plantas e modificações das propriedades do solo pela aplicação de resíduos urbanos. 2005. 161 fl. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LEI nº 11.346, de 15 de setembro de 2006. Cria o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional – SISAN com vistas em assegurar o direito humano à alimentação adequada e dá outras providências. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/l11346.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11346.htm). Acesso em 10 de março de 2013.

Lei nº 11.947. Dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar e do programa dinheiro direto na escola aos alunos da educação básica; altera as Leis nºs 10.880, de 9 de junho de 2004, 11.273, de 6 de fevereiro de 2006, 11.507, de 20 de julho de 2007; revoga dispositivos da Medida Provisória nº 2.178-36, de 24 de agosto de 2001, e a Lei nº 8.913, de 12 de julho de 1994; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l11947.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l11947.htm). Acesso em 05 de maio de 2012.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. In: Freitas, M. A. V. O uso da irrigação no Brasil: o estado das águas no Brasil. Brasília, DF: Agência Nacional de Energia Elétrica, 1999. Disponível em: <<http://www.iica.org.uy>>. Acesso em: 04 set. 2009.

MARCIANO, C. R. et al. Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um Latossolo Amarelo saturado e não saturado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 25, n.1, p. 1-9, 2001.

MELLOUL, A. A.; HASSANI, L.; RAFOUK, L. Salmonella contamination of vegetables irrigated with untreated wastewater. World Journal of Microbiology and Biotechnology, Oxford, v.17, n.2, p.207-209, 2001.

MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 428p.: il.

MOTTA, R. R.; CALÔBA, G. M.. Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais. São Paulo: Editora Atlas, 2.002.

MEZOMO, A. M. (Org.). Irrigação é a solução: manual técnico de apoio. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2009. 41 p.

NOTÍCIAS AGRÍCOLAS. Disponível em:  
<<http://www.noticiasagricolas.com.br/cotacoes/milho>>. Acesso em 16 de novembro de 2013.

PEREIRA, C. E. B. et al. II-029-Efeito do Aporte De Águas Pluviais ao Sistema de Esgotos Sanitários: Variação da Vazão Afluente à Estação de Tratamento de Esgotos., 2003

RESOLUÇÃO/CD/FNDE Nº 38, DE 16 DE JULHO DE 2009. Dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar aos alunos da educação básica no Programa Nacional de Alimentação Escolar - PNAE.

RIVERA, F. S. R.; SOUZA, E. M. T. Consumo alimentar de escolares de uma comunidade rural. Comun Ciênc Saúde. 2006;17(2): 111-119.

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

SILVA, M. B. Épocas de Semeadura e Características Agronômicas de Híbridos de Milho Irrigado Cultivados com Diferentes Doses de Nitrogênio. Dissertação -

Programa de Pós-graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF. Passo Fundo, 2008.

SOUZA, J. T. Metais pesados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos em solo após dois anos de aplicação de composto de lixo e lodo de esgoto. 2009. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2009.

TEDESCO, M. J. et al. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

TODENDI, P. F. et al. Obesidade: estratégias de prevenção da saúde em ambiente escolar. *Cinergis* – Vol 13, n. 3, p. 1-8 Jul/Set, 2012.

TOZE, S. Reuse of effluent water - benefits and risks. *Agricultural Water Management*. Volume 80, Issues 1–3, 24 February 2006, Pages 147 - 159. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377405002957>>. Acesso em 10 de outubro de 2013.

TRICHES, R. M.; SCHNEIDER, S. Alimentação Escolar e Agricultura Familiar: reconectando o consumo à produção. *Saúde Soc. São Paulo*, v.19, n.4, p.933-945, 2010.

VILLA REAL, L. C.; SCHNEIDER, S. O Uso de Programas Públicos de Alimentação na Reaproximação do Pequeno Produtor com o Consumidor: O Caso do Programa de Alimentação Escolar. *ESTUDO e DEBATE*, Lajeado, v. 18, n. 2, p. 57-79, 2011.

VILLAR, B. S.; SCHWARTZMAN, F.; JANUARIO, B. L.; Ramos, J. F. Situação dos municípios do estado de São Paulo com relação à compra direta de produtos da agricultura familiar para o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). *Rev Bras Epidemiol* 2013; 16(1): 223-6.

WEBER, C. C.; CYBIS, L. F.; BEAL L. L. Reúso da água como ferramenta de revitalização de uma estação de tratamento de efluentes. Nota Técnica. Eng Sanit Ambient | v.15 n.2 | abr/jun 2010 | 119-128.

WHO. Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards. Report of a WHO Meeting of Experts. Geneva, World Health Organization (Technical Report Series No. 517), 1973.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O experimento conduzido na Estação de Tratamento de Esgoto São João Navegantes no município de Porto Alegre-RS permitiu verificar que os efluentes de esgoto doméstico tratado, T2 (UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket) e T3 (Lagoa de Polimento) utilizados na irrigação do milho podem representar uma alternativa de produção. A produtividade do milho irrigado com o efluente do UASB superou a parcela irrigada com o efluente oriundo da Lagoa de Polimento. A parcela T2 foi 46% e 60% superior a T3 no ambiente a céu aberto e ambiente protegido, respectivamente. A análise estatística da produtividade média do milho no tratamento com efluente UASB igualou-se ao tratamento irrigado com água tratada nos dois ambientes de cultivo, céu aberto e ambiente protegido. Isso mostra que o milho irrigado com UASB pode eliminar o uso de fertilizantes sem perda de rendimento do milho.

A qualidade da água de irrigação dos efluentes UASB e Lagoa de Polimento, medida através da Condutividade Elétrica - CE e da Relação de Adsorção de Sódio - RAS não impôs restrições a produção de milho que possam ser atribuídas unicamente a esses parâmetros. A condutividade elétrica da água de irrigação mais alta foi encontrada em T2 seguida por T3 e T1. A relação de adsorção de sódio menor foi no tratamento testemunha - T1 seguida por T2 e T1. O cruzamento desses parâmetros qualifica a água de irrigação e os valores encontrados na safra estudada não traz restrições quanto ao uso no cultivo do milho.

O Percentual de Sódio Trocável – PST medido no solo de cultivo do milho foi classificado como não sódico. Esse fato ocorreu tanto no cultivo a céu aberto como no ambiente protegido, nos três tratamentos com valores na faixa abaixo do limite de sodicidade.

O aporte de nutrientes advindos das águas residuárias do esgoto doméstico sofrem muitas variações ao longo do tempo, tendo como fato gerador a ocorrência de chuvas que atua como diluidor. Todavia, os valores observados na safra do estudo atendem as exigências nutricionais do milho, podendo até mesmo dispensar o uso de fertilizantes com produtividades bastante consideráveis.

A implantação desse sistema produtivo em unidade familiar junto as ETE's, pode trazer benefícios socioeconômicos, tanto para os pequenos produtores como para os gestores municipais. O projeto de produção familiar da cultura do milho proposto via parceria com os dirigentes municipais mostrou-se viável economicamente. O valor presente líquido foi positivo e taxa interna de retorno foi

maior que a taxa de oportunidade com tempo de retorno do investimento estimado em 3 anos. A realidade da agricultura familiar brasileira torna o VPL de R\$ 8.706,54 e uma TIR de 35% muito atrativos para o produtor rural.

Por fim, cabe dizer que de modo geral os resultados do experimento sob a ótica agronômica foram considerados satisfatórios, embora o período do estudo tenha abrangido uma única safra. Dessa forma, a sequência do estudo é fundamental no sentido de corroborar esses resultados, apontando todas as implicações socioeconômicas e ambientais resultantes do aporte de nutrientes e reúso das águas provenientes do esgoto tratado.