

**VI-030 – BIOMONITORAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS EM  
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS COM USO DE  
*TRADESCANTIA PALLIDA* VAR. *PURPUREA*****Márcia Regina Thewes<sup>(1)</sup>**

Bióloga e Especialista pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, especialista em Sistema de Tratamento de Esgotos. Mestre em Qualidade Ambiental- Feevale Gerente Técnica da Seção de Análises Biológicas da Divisão de Pesquisa do DMAE de Porto Alegre. RS, Brasil.

**Ana Marisa de Oliveira Alves<sup>(2)</sup>**

Farmacêutica e especialista em Sistema de Tratamento de Esgotos - IPH/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Gerente Técnica Substituta da Seção de Análises Biológicas da Divisão de Pesquisa Divisão de Pesquisa do DMAE de Porto Alegre. RS, Brasil.

**Délio Endres Junior<sup>(3)</sup>**

Graduando em Ciências Biológicas, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil.

**Annette Droste<sup>(4)</sup>**

Prof.a Dr.a Programa de Pós Graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Frederico Groes Neto, 125 - Vila Nova - Novo Hamburgo – Rio Grande do Sul - RG - CEP: 93525- 050- Brasil - Tel: (51) 35947312 - e-mail: marciart@dmae.prefpoa.com.br

**RESUMO**

O tratamento de esgotos domésticos e industriais envolve grande esforço para detoxificação dos efluentes líquidos. Bioensaios vegetais apresentam alta capacidade de detectar baixos níveis de genotoxicidade. O teste de micronúcleo em *Tradescantia* é uma valiosa ferramenta pela simplicidade da metodologia e sensibilidade desta planta aos agentes genotóxicos. O objetivo do trabalho foi avaliar a genotoxicidade do afluente e do efluente de duas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) de Porto Alegre, RS, por meio do uso de *Tradescantia pallida* var. *purpurea*, durante as quatro estações climáticas de 2009. Amostras de águas residuárias foram coletadas em duas estações de tratamento de esgotos: ETE Belém Novo, tratamento por lagoa de estabilização e ETE São João Navegantes, tratamento por lodos ativados. Para análise de genotoxicidade, ramos com botões florais foram parcialmente submersos em amostras de águas residuárias por oito horas, com recuperação em água destilada por 24 horas. Como controles, foram utilizados botões de plantas e fixados diretamente (controle plantio) e botões mantidos apenas em água destilada (controle negativo). Foram contadas 300 tétrades por lâminas e analisadas sete lâminas por amostra. As frequências de micronúcleos foram submetidas a ANOVA, as diferenças entre médias foram verificadas pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Com exceção da primavera, frequências de micronúcleos significativamente superiores ( $p<0,001$ ) foram obtidas nos afluentes da ETE Belém Novo (18,3 no verão, 5,5 no outono e 4,1 no inverno) e da ETE São João Navegantes (48,7 no verão, 7,9 no outono e 14,5 no inverno), quando comparadas ao controle negativo e ao controle plantio (1,6 a 2,9 micronúcleos). O efluente da ETE Belém Novo apresentou 2,9 micronúcleos no outono, frequência maior ( $p<0,001$ ) do que os controles negativo (1,7) e plantio (1,6). O efluente da ETE São João Navegantes apresentou frequências de micronúcleos significativamente mais altas do que os controles negativos e de plantio em três estações (10,6 no verão, 6,7 no outono e 9,9 no inverno) ( $p<0,001$ ), indicando maior potencial genotóxico nesta ETE. A *Tradescantia pallida* var. *purpurea* mostrou ser eficiente para detecção de genotoxicidade em águas residuárias de estações de tratamento de esgotos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Genotoxicidade, águas residuárias, micronúcleos.

**INTRODUÇÃO**

Os corpos hídricos de muitas regiões brasileiras, como as que abrigam pólos urbanos, industriais e áreas de concentração agrícola vêm sofrendo contínua degradação ambiental causada pelos efluentes domésticos, industriais e pelas águas remanescentes das irrigações e aplicações dos biocidas (CETESB, 1987).

O tratamento de esgoto, águas residuárias, é um processo complexo, que envolve um grande esforço para controle de poluição das águas em países desenvolvidos. Nos países em desenvolvimento e, especificamente, no Brasil, esse quadro é ainda mais deficitário em relação ao atendimento da população com coleta e tratamento de esgoto. O elevado crescimento das cidades faz com que o esgoto se configure como um dos mais graves problemas ambientais urbanos, requerendo medidas para o aumento do recolhimento de esgotos e novas estações e tratamento (GONÇALVES, 2003).

Os impactos causados por agentes tóxicos sobre o ambiente e a saúde humana, muitas vezes, não podem ser observados e medidos diretamente. As informações obtidas por meio de testes de genotoxicidade em organismos biomonitoradores nos permitem estimar o estado da qualidade ambiental, permitindo a prevenção dos impactos à saúde humana e ao ecossistema antes que estes ocorram (FELZENSZWALB et al., 2007). Genotoxicidade é a capacidade de uma amostra simples ou composta alterar a estrutura ou a função da molécula de DNA de organismos expostos (BRASIL, 2006a).

O biomonitoramento pode ser definido como o uso sistemático das respostas de organismos vivos para avaliar as mudanças ocorridas no ambiente ao longo do tempo, geralmente causadas por ações antropogênicas (BUSS et al., 2003). Respostas biológicas como indicadores de degradação ambiental são vantajosas em relação às medidas físicas e químicas, pois estas registram apenas o momento em que foram coletadas, necessitando assim de um grande número de análises para a realização de um monitoramento temporal eficiente (METCALFE, 1989; SOUZA; FONTANETTI, 2007).

Um bioindicador e um biomonitor podem ser mais valiosos se detectarem os agentes poluentes ou tóxicos. Muitos organismos são utilizados como bioindicadores por avaliarem possíveis efeitos de riscos naturais ou de origem antropogênica. (SILVA et al., 2003). Os organismos bioindicadores devem apresentar duas características importantes: permitir identificar as interações que ocorrem entre os contaminantes e os organismos vivos; e possibilitar a mensuração de efeitos sub-letais (ARIAS et al., 2007). Os bioindicadores vegetais têm sido empregados na avaliação de agentes poluentes do ar, da água e do solo, fornecendo bases precoces para os programas de controle da qualidade desses ambientes (SILVA, 2005).

De maneira geral, as plantas são mais sensíveis à poluição que os animais, incluindo o homem, e, portanto, estudos sobre os efeitos dos poluentes na vegetação fornecem subsídios importantes para os programas de controle da poluição do ar (ALVES et al., 2001).

Os bioensaios vegetais têm capacidade de detectar baixos níveis de clastogenicidade, tanto em períodos curtos de exposição *in situ*, bem como em experimentos laboratoriais (*ex situ*) (FANG, 1981). Podendo ser o primeiro alerta para a presença de riscos ao ambiente, devido à maior sensibilidade das plantas na detecção de agentes genotóxicos.

Bioensaios de alterações cromossômicas e de micronúcleos em plantas bioindicadoras têm sido utilizados em diversos países e são adotados pelo Programa Internacional de Bioensaios com Plantas (International Program of Plant Bioassays – IPBP) sob a supervisão do programa Ambiental das Nações Unidas (United Nations Environment Program – UNEP) (GRANT, 1994, 1999; GOPALAN, 1998).

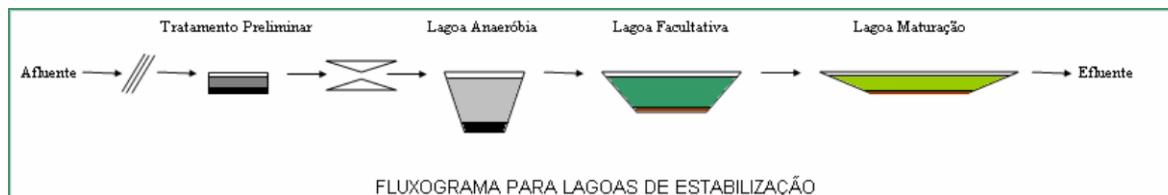
O teste de micronúcleos (teste Trad-MCN) baseia-se na contagem de micronúcleos visualizados nas tétrades primordiais dos grãos de pólen, na fase final da meiose (MA, 1981; RODRIGUES, 1997). Os micronúcleos são estruturas citoplasmáticas com o aspecto de pequenos núcleos, constituídos principalmente por fragmentos cromossômicos ou por cromossomos inteiros retardados durante a migração anafásica, que, por isso, não são incluídos no núcleo das células filhas, permanecendo no citoplasma das células interfásicas (HEDDLE et al., 1983).

O teste de micronúcleo em *Tradescantia* (Trad-MCN) é considerado uma valiosa ferramenta pela simplicidade da metodologia e sensibilidade desta planta à exposição aos agentes genotóxicos (MA et al., 1994).

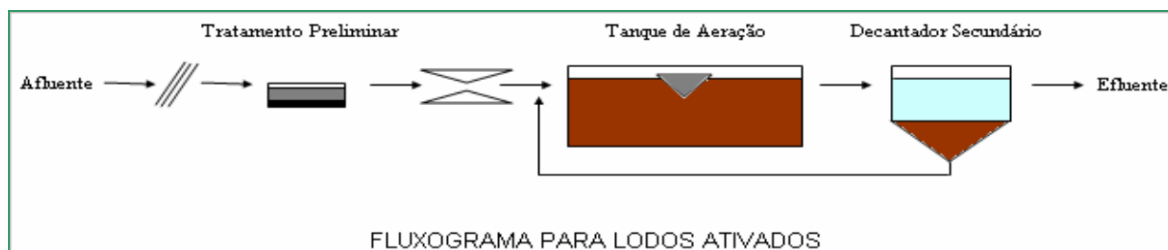
Este trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade de águas residuárias em Estações de Tratamento de Esgotos por meio do teste de micronúcleos de *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt var. *purpurea* Boom (teste Trad-MCN), durante as quatro estações climáticas de 2009 e correlacionar os dados obtidos de genotoxicidade com os dados físico-químicos e microbiológicos da água residuária.

## MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho, foram avaliadas amostras de água de afluentes e efluentes de duas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) descritas a seguir: a ETE Belém Novo, uma estação com processo de tratamento lagoa de estabilização convencionais, tipo australiano, formada por dois módulos, cada um composto por uma lagoa anaeróbia, duas lagoas facultativas e cinco lagoas de maturação (figura 1). Fluxograma do processo de Tratamento de lagoas de Estabilização. ETE São João Navegantes é uma estação com processo de tratamento efetuado por dois módulos de lodos ativados convencionais com ar insuflado, situada em bairro residencial, industrial e de serviços, (figura 2) Fluxograma de processos de Tratamento de Lodos Ativados.



**Figura 1: Fluxograma do processo de tratamento de lagoas de Estabilização** Fonte: (Fonte: Adaptado de Von Sperling, 1995).



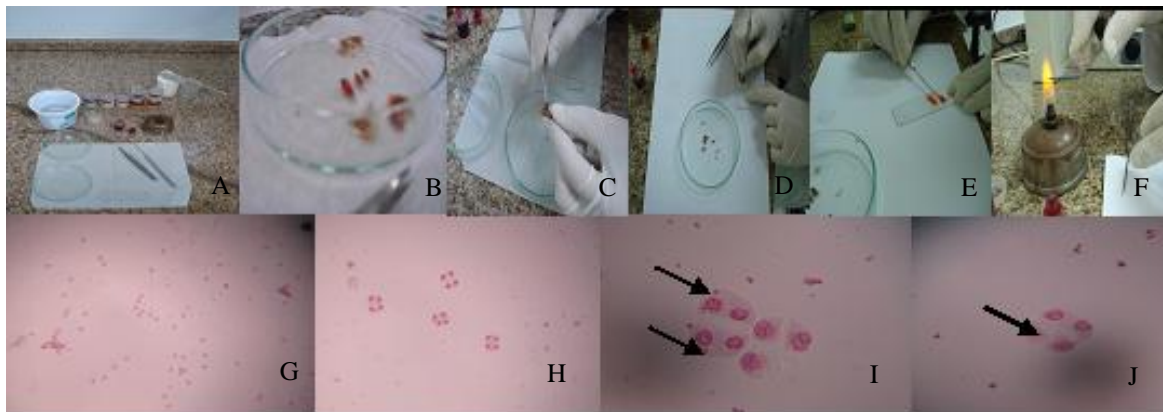
**Figura 2: Fluxograma de processos de Tratamento de Lodos Ativados** Fonte: (Fonte: Adaptado de Von Sperling, 1995).

Para a realização dos testes Trad-MCN em amostras de água residuárias de afluentes e efluentes das estações de tratamento de esgotos, 500 exemplares de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* foram cultivados em ambiente externo. As coletas ocorreram nos meses de fevereiro, abril, julho e outubro de 2009. Para teste da *Tradescantia pallida* var. *purpurea* coletou-se 1L de água residuária do afluente e efluente de cada ETE em frascos de vidro âmbar. A preservação seguiu as normas da ABNT NBR 9898/87 (Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores). Os parâmetros físicos, químicos e biológicos foram realizados de acordo com APHA (2005), seguindo o monitoramento padrão das ETEs Belém Novo e São João Navegantes, avaliadas mensalmente segundo as exigências do órgão ambiental vigente, tendo sido realizada pela Divisão de Pesquisa (DVP) do DMAE.

Para a coleta ideal das inflorescências jovens, era necessário regar as plantas um dia anterior à coleta para obtenção de quantidade suficiente de botões florais. As inflorescências eram coletadas no período da manhã, entre 7 e 8 horas. Os exemplares eram acondicionados em caixa de isopor fechadas e levados ao laboratório, onde eram mantidos com os pecíolos parcialmente imersos em copos de becker contendo água destilada por 24 horas, tempo denominado de período de adaptação. Após este período, somente as inflorescências túrgidas eram utilizadas nos experimentos. Os pecíolos das inflorescências foram mantidos parcialmente imersos por 8 horas em amostras de água de esgoto bruto na concentração de 100% (afluente), amostras de esgoto tratado na concentração de 100% (efluente). Como controles, foram utilizados botões florais fixados diretamente de plantas cultivadas na universidade (controle plantio) para estabelecer a taxa de mutações induzidas espontaneamente e botões mantidos apenas em água destilada (controle negativo). A solução aquosa 0,1% de formaldeído (controle positivo), conforme Santos (2004). Após o período de exposição de 8 horas, as inflorescências foram transferidas para água destilada em ambiente isento de contaminantes, durante 24 horas, tempo denominado de período de recuperação. Esse período é necessário para que a meiose prossiga da fase inicial da prófase I, quando as células geradoras dos grãos de pólen estão suscetíveis à ação de agentes genotóxicos, para o estágio de tétrades, apropriadas para a contagem de micronúcleos (Ma, 1981). Posteriormente ao período de recuperação, as inflorescências foram fixadas em uma solução de álcool

etílico absoluto e ácido acético glacial na proporção de 3:1, e mantidas em temperatura ambiente até o momento da análise, conforme Ruiz (1992).

Para as preparações microscópicas, foram selecionados botões florais jovens com 3 a 5 mm, que continham células-mãe de grãos de pólen em estágio de tétrades, conforme Ma et al. (1994). Botões florais foram destacados das inflorescências. Cada botão foi dissecado e as anteras maceradas em uma gota de carmim acético a 1% sobre uma lâmina microscópica. Após a maceração, os debris foram descartados com o auxílio de agulha histológica, cuidando-se para não eliminar tétrades. A lâmina foi coberta com lamínula e aquecida ligeiramente sobre a chama de uma lamparina para a fixação do corante. Por último, foi feita uma leve pressão sobre a lamínula, para permitir o espalhamento das tétrades, (figura 3) Etapas da técnica de preparo de lâminas para contagem de micronúcleos em *Tradescantia pallida* var. *purpurea*.



**Figura 3:** Etapas da técnica de preparo de lâminas para contagem de micronúcleos em *Tradescantia pallida* var. *purpurea*. A - material utilizado; B - seleção do botão apropriado; C - separação das anteras de um botão dissecado; D - maceração das anteras com carmim acético sobre a lâmina; E - retirada dos debris; F - aquecimento para a fixação do corante; G - visualização de tétrades sob aumento de 100 vezes; H - visualização de tétrades sob aumento de 200 vezes; I e J - visualização de tétrade com micronúcleos sob aumento de 400 vezes.

Foram contadas 300 tétrades por lâmina, tendo sido analisadas sete lâminas por tratamento em cada período coletado, totalizando 35 lâminas por tratamento. A frequência de micronúcleos foi calculada dividindo o número total de micronúcleos pelo total de tétrades e expresso em percentual (SILVA, 2005).

Os dados meteorológicos referente aos índices pluviométricos de Porto Alegre e de Novo Hamburgo foram levantados 30 dias antecedentes a coleta e realizado a média mensal da precipitação total. Os dados de Porto Alegre foram obtidos de Prefeitura de Porto Alegre – Metroclima (2009), enquanto que os dados para Novo Hamburgo foram obtidos da Defesa Civil (2009).

A frequência de micronúcleos para a comparação entre os locais para a avaliação da genotoxicidade da água residuária, foram submetidas ao teste t de Student para amostras independentes, em nível de significância de 5%. Para as demais análises, as frequências de micronúcleos foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e diferenças entre médias foram comparadas pelo teste de Tukey, em nível de significância 5% (Zar, 1999). Para as análises, foi utilizado o programa estatístico SPSS versão 12.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da frequência de micronúcleos das amostras de água residuária da **Estação de Tratamento de Esgotos Belém Novo** e os controles nos diferentes períodos sazonais estão apresentados na tabela 2 e figura 4. Verifica-se genotoxicidade das amostras do afluente significativamente superior no verão quando comparada com os demais períodos. Por outro lado, as frequências médias de micronúcleos obtidos expostos às amostras do efluente não diferiram entre os períodos avaliados.

No controle positivo, a frequência média de micronúcleos é significativamente superior na amostra do verão, em relação aos demais períodos, devido a utilização uma concentração de formol de 1%, enquanto que, nos

demais períodos, a concentração utilizada foi de 0,1%. Independente da variação da concentração de formol, verifica-se a sensibilidade da *Tradescantia pallida* frente a genotoxicidade do formol.

No controle negativo e no controle de plantio, as frequências de micronúcleos foram semelhantes por que ambos correspondem a plantas que não foram expostas a fatores genotóxicos.

Quando as amostras foram comparadas entre si, dentro de cada período, obtiveram-se resultados diferenciados, no verão e outono. As amostras do afluente, do efluente levaram a frequências médias maiores de micronúcleos, que as demais amostras. As amostras do inverno e primavera não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre elas.

A amostra do efluente não diferiu do controle negativo e do controle plantio no período de verão e outono, indicando que, o efluente líquido desta ETE não levou a um maior índice de genotoxicidade do que os referidos controles.

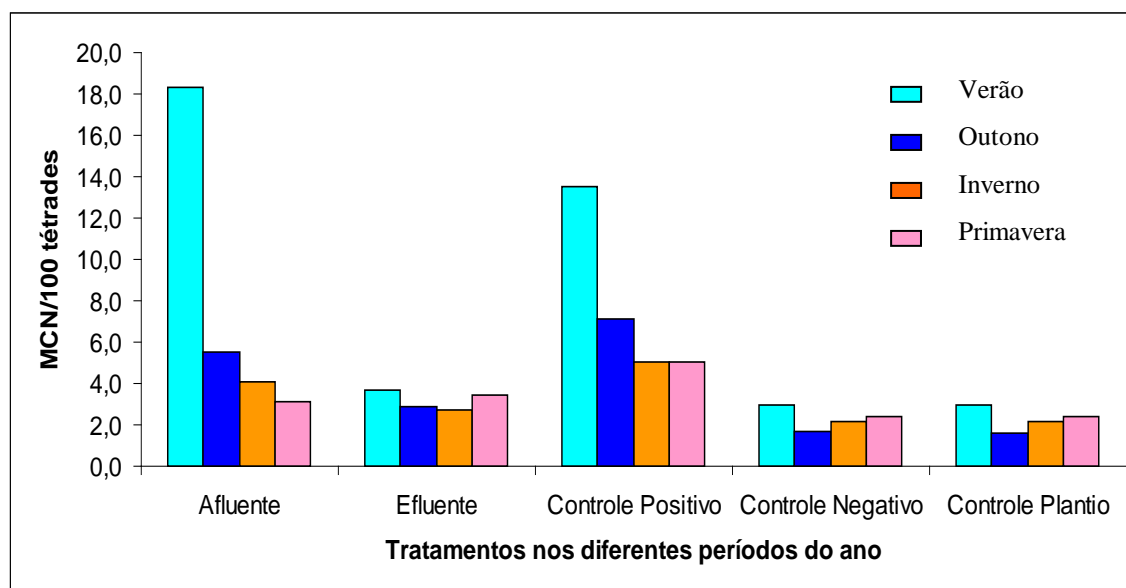
**Tabela 1: Frequência de micronúcleos em tétrades de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* submetidas a amostras de águas residuárias da Estação de Tratamento de Esgoto ETE Belém Novo nos diferentes períodos do ano**

MCN/100 tétrades ( média $\pm$ dp )							
Período	Afluente	Efluente	Controle Positivo	Controle Negativo	Controle Plantio	F <sup>1</sup>	p-valor
Verão	18,33 $\pm$ 14,14 a A <sup>2</sup>	3,72 $\pm$ 2,35 a B	13,53 $\pm$ 8,64 a A	2,96 $\pm$ 2,18 a B	2,95 $\pm$ 1,34 a B	10,177	< 0,001
Outono	5,53 $\pm$ 1,41 b A	2,91 $\pm$ 0,85 a B	7,10 $\pm$ 1,50 b A	1,67 $\pm$ 0,47 a C	1,62 $\pm$ 0,40 a C	51,910	< 0,001
Inverno	4,10 $\pm$ 1,81 b AB	2,76 $\pm$ 1,47 a ABC	5,01 $\pm$ 0,97 b A	2,19 $\pm$ 1,30 a BC	2,15 $\pm$ 1,54 a C	5,197	0,002
Primavera	3,14 $\pm$ 1,13 b AB	3,46 $\pm$ 1,06 a AB	5,01 $\pm$ 0,97 b A	2,42 $\pm$ 0,786 a B	2,42 $\pm$ 1,13 a B	3,982	0,010
F <sup>3</sup>	8,568	0,410	8,65	0,426	1,119		
p-valor	< 0,001	0,747	0,001	0,736	0,361		

<sup>1</sup>g.l.=4, 34

<sup>2</sup> Letras minúsculas comparam resultados entre períodos e letras maiúsculas os comparam entre amostras. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, em nível de significância de 5%.

<sup>3</sup>g.l.=3, 27



**Figura 4: Frequência de micronúcleos em tétrades de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* submetidas a amostras de águas residuárias da Estação de Esgoto Belém Novo.**



Quando comparadas à amostra de Afluente e efluente, nos períodos de verão e outono, verifica-se que houve redução das frequências médias de micronúcleos, o que indica que tratamento do esgoto da ETE foi eficiente na redução da genotoxicidade.

No inverno e primavera, as amostras de afluente e efluente não diferiram significativamente entre si e dos controles, indicando redução de genotoxicidade do afluente neste período.

Os dados da frequência de micronúcleos das amostras de água residuária da **Estação de Tratamento de Esgotos São João Navegantes** e os controles nos diferentes períodos sazonais estão apresentados na tabela 2 e figura 5. Verifica-se que no verão ocorreu maior frequência de micronúcleos que os demais períodos do ano. Nas amostras de efluente líquido, apenas a amostra da primavera apresentou uma frequência média de micronúcleos inferior aos demais períodos.

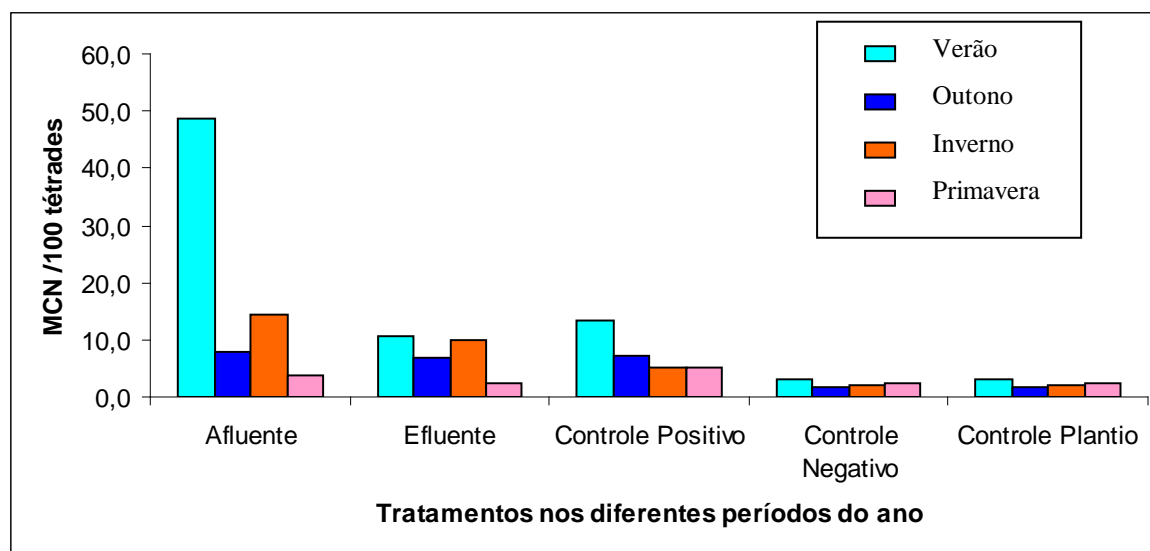
**Tabela 2: Frequência de micronúcleos em tétrades de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* submetidas a amostras de águas residuárias da Estação de Tratamento de Esgotos ETE São João Navegantes nos diferentes períodos do ano.**

MCN/100 tétrades ( média $\pm$ dp )							
Período	Afluente	Efluente	Controle Positivo	Controle Negativo	Controle Plantio	F <sup>1</sup>	p-valor
Verão	48,67 $\pm$ 25,47 a A <sup>2</sup>	10,62 $\pm$ 2,38 a B	13,52 $\pm$ 8,63 a B	2,95 $\pm$ 2,18 aC	2,95 $\pm$ 1,34 a B	27,203	< 0,001
Outono	7,95 $\pm$ 2,57 b A	6,75 $\pm$ 2,61 a A	7,09 $\pm$ 1,49 b A	1,67 $\pm$ 0,47 a B	1,62 $\pm$ 0,40 a C	51,697	< 0,001
Inverno	14,48 $\pm$ 7,58 b A	9,86 $\pm$ 3,88 a A	5,01 $\pm$ 0,96 b AB	2,19 $\pm$ 1,30 a BC	2,15 $\pm$ 1,54 a C	13,471	<0,001
Primavera	3,85 $\pm$ 1,97 c AB	2,47 $\pm$ 1,05 b A	5,01 $\pm$ 0,96 b A	2,42 $\pm$ 0,786 a B	2,42 $\pm$ 1,13 a B	3,875	0,012
F <sup>3</sup>	29,339	19,630	8,649	0,426	1,119		
p-valor	< 0,001	< 0,001	0,001	0,736	0,361		

<sup>1</sup>g.l.=4, 34

<sup>2</sup> Letras minúsculas comparam resultados entre períodos e letras maiúsculas os comparam entre amostras. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, em nível de significância de 5%.

<sup>3</sup>g.l.=3, 27



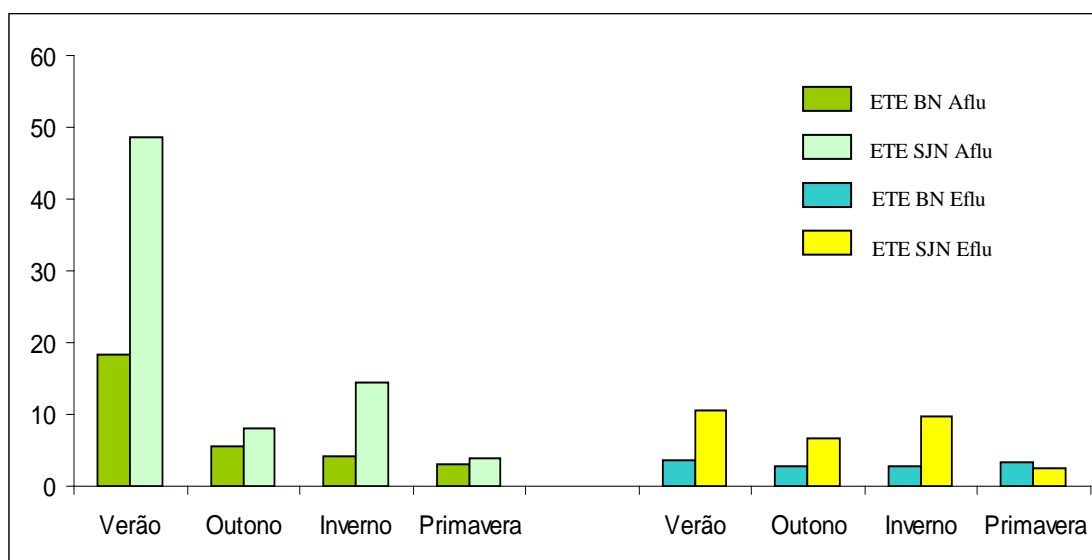
**Figura 5: Frequência de micronúcleos em tétrades de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* submetidas a amostras de águas residuárias da Estação de Tratamento de Esgotos São João Navegantes nos diferentes períodos do ano.**

O afluente da Estação de Tratamento de Esgotos São João Navegantes, no verão, apresentou a um alto índice de genotoxicidade comparando com a Estação de Tratamento de Esgoto Belém Novo.

Quando as amostras foram comparadas entre si, dentro de cada período, obtiveram-se resultados diferenciados, no verão e inverno. As amostras do afluente, do efluente levaram a frequências médias maiores de micronúcleos, que as demais amostras.

Comparadas à amostra de afluente e efluente, nos períodos, verifica-se que houve redução das frequências médias de micronúcleos, o que indica que devido o tratamento do esgoto da ETE houve redução da genotoxicidade.

Quando as duas estações de tratamento de esgotos foram comparadas, verificou-se que em todos os períodos sazonais, com exceção da primavera, tanto as amostras de afluente bem como as amostras de efluente da ETE São João Navegantes deram origem a uma maior frequência de micronúcleos do que as amostras da ETE Belém Novo (figura 6).



**Figura 6: Comparação das frequências de micronúcleos em tétrades de *Tradescantia pallida* var. *purpurea* submetidas a amostras de águas residuárias das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) Belém Novo e São João Navegantes em diferentes períodos do ano.**

Quando foi analisada a genotoxicidade de águas residuárias nas duas Estações de Tratamento de Esgotos, observou-se uma frequência de micronúcleos mais baixa na amostra do afluente na primavera, quando comparadas com aquelas obtidas nos demais períodos da ETE São João Navegantes, embora, na ETE Belém Novo, essa diferença não tenha sido estatisticamente significativa. A menor genotoxicidade da água residuária pode ter sido influenciada pela maior quantidade de chuva que antecedeu este período de coleta, que foi, pelo menos, quatro vezes superior àquela dos demais períodos (tabela 3).

A chuva dilui a matéria orgânica ( $DBO_5$ ), diminuindo a concentração do esgoto (JORDÃO; PESSÔA, 2005). Na primavera, a  $DBO_5$  da amostra de afluente na ETE Belém Novo foi de 52 mg  $O_2/L$  e da ETE São João Navegantes foi de 184 mg  $O_2/L$ , valores inferiores quando comparados aos valores verificados em amostras de afluente nos demais períodos como mostram as tabelas 4 e 5. Em um estudo com efluentes industriais, Ruiz et al. (1992) também verificaram uma maior frequência de micronúcleos nos meses com menor concentração de chuva quando comparada com as frequências de micronúcleos nos meses mais chuvosos.

Ao longo dos períodos do ano, os controles negativos e de plantio não apresentaram diferenças significativas nas frequências de micronúcleos, mesmo com uma elevada precipitação pluviométrica. Isso indica que as plantas cultivadas no ambiente externo da Universidade Feevale podem ser utilizadas como controle confiável, mesmo sob condições ambientais não controladas.

**Tabela 3: Dados pluviométricos de 30 dias antecedentes à análise de genotoxicidade das águas residuárias das Estações de Tratamento de Esgotos ETE Belém Novo e ETE São João Navegantes nos diferentes períodos do ano.**

Amostra		Verão	Outono	Inverno	Primavera
Dados Pluviométricos	Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00
	Máximo	24,50	22,80	17,50	132,40
	Média	3,29	2,17	1,98	12,26

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos de amostras de água do afluente e do efluente da Estação de Tratamento de Esgotos Belém Novo e da Estação de Tratamento de Esgotos São João Navegantes nos períodos do verão, outono, inverno e primavera são apresentados nas tabelas 4 e 5, respectivamente.

A temperatura é um parâmetro de grande importância, pois influi na oxigenação dos corpos d'água, alterando as taxas de reações químicas e biológicas e possibilitando o desenvolvimento de microrganismos quando esta se encontra em uma faixa ótima de 25 a 35°C (JORDÃO; PESSÔA, 2005). A variação da temperatura no afluente e efluente das ETEs estudadas apresentou-se nesta faixa.

O pH da amostra no afluente da ETE Belém Novo (tabela 11), variou de 6,8 na primavera, a 7,7 no inverno. Na amostra do efluente, o pH variou de 8,6 no inverno, a 10,4 no outono, indicando alcalinidade da amostra o que dificulta o desenvolvimento de microrganismos e proporciona o desenvolvimento de algas (SPERLING, 2005). Por sua vez, na ETE São João Navegantes, o pH do afluente variou entre 6,8 na primavera e 7,2 no outono e, no efluente, o pH variou entre 6,5 no verão e 6,7 no inverno e na primavera. A medida do pH é um dos parâmetros mais comumente utilizados, sendo exigência para operação de estações de tratamento de água e esgotos (JORDÃO; PESSÔA, 2005), pois todos os processos físico-químicos e biológicos que ocorrem no meio aquático são influenciados pelo pH.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) na amostra do afluente da ETE Belém Novo apresentou valores de 52,0 mg O<sub>2</sub>/L na primavera e 169 mg O<sub>2</sub>/L no verão. Na amostra do efluente, a DBO<sub>5</sub> variou entre 20 a 54,8 mg O<sub>2</sub>/L, indicando uma redução da carga orgânica no tratamento. A DBO<sub>5</sub> da ETE SJN variou de 325,0 mg O<sub>2</sub>/L no verão a 182,0 mg O<sub>2</sub>/L no inverno. No efluente dessa ETE, a maior DBO<sub>5</sub> foi verificada no verão (52,0 mg O<sub>2</sub>/L) e a menor DBO<sub>5</sub> ocorreu na primavera (17,3 mg O<sub>2</sub>/L). A DBO<sub>5</sub> está associada à fração de biodegradação de componentes orgânicos carbonáceos (SPERLING, 2005) e indica a quantidade de matéria orgânica presente na amostra.



**Tabela 4: Características físicas, químicas e bacteriológicas da água de afluente e de efluente da Estação de Tratamento de Esgotos ETE Belém Novo nos diferentes períodos sazonais de um ano.**

Parâmetro	Unidade	Afluente				Efluente			
		Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Temperatura amostra	°C	25,0	24,0	15,0	18,5	25,0	23,0	12,5	21,0
pH	–	7,3	7,3	7,7	6,8	9,8	10,4	8,6	9,7
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	169,0	104,0	125,0	52,0	54,8	52,6	36,7	20,0
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	–	209,4	242,8	111,0	–	114,2	130,6	135,0
Sólidos Suspensos (RNF 105°C)	mg/L	92,0	520,0	71,0	74,0	104,0	414,0	44,0	82
Sólidos Sedimentáveis	ml/L	1,4	4,0	1,1	0,8	0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrogênio Orgânico	mg N/L	10,64	12,88	15,68	5,04	10,64	9,24	5,88	6,44
Nitrogênio Amoniacal	mg N/L	34,27	36,96	31,58	11,42	0,35	0,38	0,56	0,36
Nitrito	mg N/L	<0,001	0,009	0,005	0,002	0,003	0,357	0,139	0,867
Nitrato	mg N/L	1,29	0,07	0,09	0,06	0,08	0,51	10,75	1,06
Nitrogênio Total	mg N/L	46,20	49,92	47,36	16,52	11,07	10,49	17,33	8,73
Fósforo Total	mg P/L	6,05	7,77	7,43	3,17	2,43	3,73	2,42	1,69
Chumbo	mg Pb/L	0,00300	0,00720	ND	ND	ND	0,00370	ND	ND
Cobre	mg Cu/L	0,01600	0,01610	0,00990	0,00884	ND	0,00040	0,00430	0,00226
Cromo Total	mg Cr/L	0,00020	0,00060	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cádmio	mg Cd/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mércurio	mg Hg/L	ND	0,00010	0,00010	ND	ND	0,00010	0,00200	0,00140
Zinco	mg Zn/L	0,05090	0,05670	0,04420	0,03602	0,00280	0,00300	0,00820	0,01277
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100m	6100000	8700000	6100000	1300000	2	6	26	10

Observações: ND- Não detectado; DBO- Demanda bioquímica de oxigênio; DQO- Demanda química de oxigênio.

Em relação ao fósforo total, na amostra do afluente da ETE Belém Novo, a concentração variou de 7,77 mg P/L no outono a 3,17 mg P/L na primavera. No efluente dessa ETE, a concentração no outono (3,73 mg P/L) também foi superior a encontrada nos demais períodos. Na amostra do afluente da ETE São João Navegantes, a maior concentração foi verificada no verão (12,00 mg P/L), enquanto que, no efluente obteve-se o maior valor no outono (4,80 mg P/L). O fósforo total ocorre na forma orgânica e inorgânica e é nutriente importante para o desenvolvimento de algas que atuam nos tratamentos biológicos.

Os metais apresentam ação tóxica e teratogênica sobre os seres vivos (SPERLING, 2005). De modo geral, as concentrações de metais detectadas na ETE São João Navegantes foram maiores do que aquelas encontradas na ETE Belém Novo. A ETE São João Navegantes que se encontra em uma área caracteristicamente urbana e recebe uma carga orgânica maior, composta por despejos domésticos e industriais, sugerindo correlação com o maior índice genotoxicidade obtido nesta ETE. A ETE Belém Novo situa-se em uma área urbana com características rurais, não recebendo outros tipos de afluentes que não despejos domésticos.

A *Escherichia coli* é o mais específico indicador de contaminação fecal, pois é abundante em fezes humanas e animais, tendo sido encontrada em esgotos, efluentes, águas naturais e solos. Na tabela 4, são apresentados os dados de contaminação das amostras de afluente e efluente da ETE Belém Novo para o parâmetro *E. coli*.

Na tabela 5, são apresentados os dados de presença de *E. coli* da ETE São João Navegantes nas amostras do efluente e as concentrações são extremamente altas, quando comparadas, aos dados obtidos nas amostras de efluente da ETE Belém Novo.

**Tabela 5: Características físicas, químicas e bacteriológicas da água de afluente e de efluente da Estação de Tratamento de Esgotos ETE São João Navegantes nos diferentes períodos sazonais de um ano.**

Parâmetro	Unidade	Afluente				Efluente			
		Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Temperatura amostra	°C	28,0	22,0	17,0	20,0	28,5	22,5	17,0	20,5
pH	—	7,1	7,2	7,1	6,8	6,5	6,6	6,7	6,7
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	325,0	221,0	182,0	184,0	52,0	17,3	45,0	27,0
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	639,0	227,9	419,2	340	—	39,4	96,4	81,0
Sólidos Suspensos (RNF 105°C)	mg/L	424,0	474,0	128,0	438,0	14,0	400,0	37,0	71
Sólidos Sedimentáveis	ml/L	11,0	0,9	0,6	3,0	0,1	0,1	2,0	2,0
Nitrogênio Orgânico	mg N/L	0,54	8,68	0,75	10,08	0,65	2,80	2,80	2,80
Nitrogênio Amoniacal	mg N/L	48,72	34,61	35,28	10,08	0,17	3,47	9,07	0,33
Nitrito	mg N/L	0,007	0,004	ND	0,002	0,014	0,172	0,046	0,031
Nitrato	mg N/L	0,10	0,04	0,07	0,04	17,35	12,19	9,79	7,47
Nitrogênio Total	mg N/L	49,37	43,33	36,10	20,20	18,18	18,63	21,71	10,63
Fósforo Total	mg P/L	12,00	5,45	5,35	2,19	1,49	4,80	3,46	1,24
Chumbo	mg Pb/L	0,03500	0,00020	0,01600	0,01218	ND	ND	0,00063	ND
Cobre	mg Cu/L	0,15240	0,01610	0,02325	0,03998	0,00365	0,00560	0,00575	0,00840
Cromo Total	mg Cr/L	0,08815	0,00240	0,00350	0,00604	0,00084	0,00150	ND	0,00051
Cádmio	mg Cd/L	0,00130	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mércurio	mg Hg/L	0,00080	0,00010	ND	0,00140	0,00010	0,00010	ND	0,00130
Zinco	mg Zn/L	0,43560	0,04280	0,05875	0,17693	0,03064	0,03610	0,30000	0,03953
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100m	8700000	3100000	3000000	2400000	46000	18000	61000	2900

Observações: ND- Não detectado; DBO- Demanda bioquímica de oxigênio; DQO- Demanda química de oxigênio.

## CONCLUSÕES

Verificou-se que os afluentes de ambas as estações de tratamento de esgotos apresentaram genotoxicidade, tendo em vista que os resultados apresentados foram significativamente superiores aos controles negativos utilizados.

Os dados mostraram que o efluente da ETE Belém Novo não apresenta genotoxicidade, pois os resultados foram semelhantes aos controles negativos. Por outro lado, o efluente da ETE São João Navegantes apresentou frequências de micronúcleos significativamente mais altas que os controles negativos, o que representa a presença de genotoxicidade neste efluente.

As plantas utilizadas para controles positivos e negativos apresentaram frequências de micronúcleos estáveis, embora os índices de pluviosidade tenham diferido sensivelmente ao longo dos diferentes períodos do ano, o que é desejável quando se usa ambientes não controlados para o cultivo das plantas que são utilizadas nos experimentos.

Os resultados dos parâmetros físico-químicos apontam que a ETE São João Navegantes recebe uma carga orgânica maior, podendo haver ocorrência de despejos industriais, sugerindo correlação com o maior índice genotoxicidade obtido nesta ETE.

O parâmetro Biológico, a *Escherichia coli*, não pode ser correlacionado com os resultados para genotoxicidade.

Como há diferentes variáveis físico-químicas e microbiológicas presentes nos afluentes e efluentes das estações de tratamento de esgotos, que podem estar influenciando a genotoxicidade das águas residuárias, não é possível estabelecer conclusões sobre o efeito direto e independente de cada variável.

O teste Trad-MCN se caracteriza pela simplicidade e rapidez da técnica e fornece importantes informações sobre as condições ambientais em diferentes locais, especificamente revelando os efeitos genéticos de poluentes,

além de se constituir em uma ferramenta para a educação, tendo em vista o vasto campo de pesquisa que a ela pode ser aplicado.

O teste de micronúcleos em *Tradescantia pallida* var. *purpurea* demonstrou ser eficiente para detecção de genotoxicidade em águas residuárias das Estações de Tratamento de Esgotos avaliadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.ALVES, E. S.; GIUSTI, P.M.; DOMINGOS, M.; SALDIVA, P. H. N.; GUIMARÃES, E.T.; LOBO, D. J.A. Efeito da poluição em folha de *Tradescantia*. *Revta Brasil. Bot*, São Paulo, v.24, nº 4, p. 567-576, dez. 2001.
- 2.APHA- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 th ed. Washington, APHA/AWWA/WPCF, 2005.
- 3.ARIAS, A.R.L., BUSS, D.F., ALBURQUERQUE, C., INÁCIO, A. F., FREIRE, M. M., EGLER, M., MUGNAI, R., BAPTISTA, D.F., Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxico. *Ciênc. saúde coletiva*, Rio de Janeiro, vol.12, n.1, Jan./Mar. 2007.
- 4.BRASIL. 2006a. Resolução CONSEMA nº129/ 2006. Secretaria do Meio Ambiente. Estado do Rio Grande do Sul.
- 5.BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L.; Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios -*Cad. Saúde Pública*, Print version ISSN 0102-311X Rio de Janeiro, 19(2):465-473, mar-abr, 2003.
- 6.CETESB, São Paulo. Avaliação da toxicidade de despejos industriais na região da Grande São Paulo. São Paulo, 92p, 1987.
- 7.DEFESA CIVIL -[http:// www2.defesacivil.rs.gov.br/estatistica/pluviometro-consulta.asp](http://www2.defesacivil.rs.gov.br/estatistica/pluviometro-consulta.asp). acesso em 11.10.2009.
- 8.FANG, T.A. A report on the studies of effects of environmental pollutants on chromosomes - A sino-american collaborated research project, 1980II *Tradescantia* micronucleus bioassay on environmental mutagen in the air and water samples from some industrial area of Qingdao, PRC and on the pesticide DDV. *Journal Shandong College of Oceanology*, v.11, p. 9-11, 1981.
- 9.FELZENSZWALB, I., SILVA, J., UMBUZEIRO, G., *Ciência Básica à Aplicada – O Papel da Sociedade Brasileira de Metagênese, Carcinogênese e Tetragênese Ambiental na Melhoria da qualidade de Vida e do Ambiente. Sociedade Brasileira de Metagênese, Carcinogênese e Teratogênese Ambiental (SBMCTA)*, 2007.
- 10.GONÇALVES, R.F. (coord.). *Desinfecção de Efluentes Sanitários*. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 438p., (Projeto PROSAB).
- 11.GOPALAN, H.N.B., *Ecosystem health and human well being: the mission of the International Program on Plant Bioassays. Mutation Research, Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. V. 426, p. 99-102, 1998.
- 12.GRANT W.F. 1994. The present status of higher plant bioassays for the detection of environmental mutagens. *Mutation Research* 310: 175–185.
- 13.GRANT, WF., LEE, HG., LOGAN, DM and SALOMONE, MF, (1992). The use of *Tradescantia* and *Vicia faba* bioassays for the in situ detection of mutagens in an aquatic environment. *Mutation Research* 270: 53-64.
- 14.GRANT, W.F. Higher plant assays for the detection of chromosomae aberrations and gene mutations – a brief historical background on their use for screening and monitoring environmental chemicals. ***Mutation Research***, v. 426, p. 107 – 112, 1999.
- 15.HEDDLE, J.A., A rapid in vitro test for chromosomos damage. *Mutation Research* 18: 1987-1990, 1983.
- 16.JORDÃO, E.P; PESSÔA, C.A, *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 4ª Ed- Rio de Janeiro, 2005.
- 17.MA, T. H. Landfill or incineration - which is the better way to treat our solid wastes? *Environmental and Molecular Mutagenesis*. v. 23, n. suppl. 23, p. 40, 1994.
- 18.MA, T. H. *Tradescantia* micronucleus bioassay and pollen tube chromatid aberration test for in situ monitoring and mutagen screening. *Environmental Health Perspectives*. v. 37, p. 85-90, 1981.
- 19.MA, T.H.; CABRERA, G.L.; CHEN, R.; GILL, B.S.; SANDHU, S.S.; VANDENBERG, A.L.; SALAMONE, M.F.. *Tradescantia* micronucleus bioassay. *Mutation Research, Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, v.310, p. 221-230., 1994
- 20.METCALFE, J. L. Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrates communities: history and present status in Europe. *Environmental Pollution*, v.60, p. 101- 139, 1989.

- 21.NBR 9898/87. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas Águas e Efluentes Líquidos. Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos Normas Técnicas de Águas e Efluentes.
- 22.PELCZAR, J.M. Jr.; CHAN, E.C.S.; KRIEG N.R. Microbiologia, conceitos e Aplicação. São Paulo: Editora Markon Books, 1996.
- 23.PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. Estações e Pluviômetros. 2009. disponível em < [http://www2.portoalegre.rs.gov.br/metroclima/default.php?p\\_mapa=1#>](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/metroclima/default.php?p_mapa=1#>), acesso em 10/11/2009.
- 24.RODRIGUES, G.S.; MA, T.H.; PIMENTEL, D.; WEINSTEIN, L.H.. Tradescantia bioassay as monitoring systems for environmental mutagenesis: a review. CRC Crit. Revue of Plant Science, v. 16, p. 325-359, 1997.
- 25.RUIZ, E. F., RABAGO, V. M. E., LECONA, S. U., PEREZ, A. B. , MA, T. H. 1992. Tradescantia micronucleus (Trad-MCN) bioassay on clastogenicity of wastewater and in situ monitoring. Mutation Reserarch, v. 270, p. 45-51, 1992.
- 26.SANTOS, I.T.Q.P. Clastogenicity evaluation of industrial catalytic waste using the micronucleus bioassay with Tradescantia pallid acv. Purpurea. [Tese de Doutorado], Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004. 102p.
- 27.SILVA, J.S. Efeitos genotóxicos em tétrades de Tradescantia pallida ( Rose) D.R.Hunter. purpúrea induzidos por poluentes atmosféricos na cidade do Salvador- BA. [Monografia de Ciências Biológicas], Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, BA, 2005.
- 28.SILVA,J., FONSECA,M.B., Estudos toxicológicos no ambiente e na saúde Humana.In: Silva, J., ERDTMANN, B., HENRIQUES,J.P.(org), Genética Toxicológica. Porto Alegre: Alcance, 2003 p. 424.
- 29.SOUZA, T. S. FONTANETTI, C. S.; Ensaio do Cometa para avaliação da qualidade das águas do Rio Paraíba do sul, Numa área sob Influência de Uma Refinaria de petróleo. 4 ° PDPETRO, Campinas, SP 6.2.0018-1- 2 21-24 de Outubro de 2007.
- 30.SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.
- 31.SPERLING, M., Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos-3 ed.-Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e ambiental; Universidade federal de Minas Gerais; 2005.425p.
- 32.ZAR, J. H. 1999. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ,