

## **VARIAÇÕES DE CARGAS HIDRÁULICAS E ORGÂNICAS EM REATORES UASB**

R. C. FERREIRA<sup>1</sup>, K. Q. de CARVALHO<sup>2</sup>, F. H. PASSIG<sup>3</sup>, L. B. do NASCIMENTO<sup>1</sup>, J. E. M. MARTINS<sup>4</sup>, E. J. ARANTES<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química.

<sup>2</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Construção Civil.

<sup>3</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Química e Biologia.

<sup>4</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Ambiental.

E-mail para contato: regiane.cristina.1989@gmail.com

**RESUMO** – Um reator UASB em escala piloto (160 L) foi operado para estudar a influência das variações senoidais cíclicas em valores inferiores e superiores a 40% e 60% da vazão afluyente no comportamento hidrodinâmico. Os ensaios de estímulo-resposta tipo pulso foram realizados com traçador eosina Y para vazão afluyente de 10,65 L.h<sup>-1</sup> e TDH de 15 h. A variação da concentração do traçador no efluente foi ajustada pelos modelos teóricos uniparamétricos de dispersão, de pequena e de grande intensidade e de reatores de mistura completa em série de acordo com Levenspiel (2000). Os resultados indicaram que o reator apresentou comportamento similar a mistura completa. Foi possível verificar a influência das características do lodo floculento no comportamento hidrodinâmico do reator. Para variações de 40% e 60% da vazão afluyente foram obtidos TDH de 12 h e 18 h, respectivamente, e para vazão constante de 6,9 h, o que indica que a maior velocidade ascensional de fluxo promoveu aumento do TDH real.

### **1. INTRODUÇÃO**

Os reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) destacam-se por apresentarem algumas vantagens em relação aos processos aeróbios convencionais, tais como eficiência de remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO) de 65% a 75%, baixa produção de lodo, baixo requerimento de energia elétrica, facilidade de instalação, operação e manutenção, baixo requerimento de área de construção, possibilidade de aproveitamento do biogás, capacidade de suportar sobrecargas orgânicas e hidráulicas, dentre outras (Foresti, 2002).

Por outro lado, esses reatores possuem algumas desvantagens tais como geração de maus odores, elevado intervalo de tempo necessário para partida, quando não inoculado previamente, baixa remoção de nutrientes e patógenos e necessidade de etapa de pós-tratamento (Chernicharo, 2000).

Na operação de estações tratamento de esgotos sanitários, as variações da vazão afluyente e da carga orgânica, que podem ser diárias, semanais ou sazonais devem ser consideradas por contribuírem na limitação do melhor desempenho desses reatores (Metcalf e Eddy, 2003).

O objetivo desse artigo é avaliar o comportamento hidrodinâmico de um reator UASB (160 L), submetido a variação da vazão afluyente em 40 % e 60% da vazão afluyente, tratando esgotos sanitários por meio de ensaios de estímulo-resposta tipo pulso utilizando eosina Y como traçador.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O reator UASB, em escala piloto (160 L) é constituído de uma coluna cilíndrica em PVC com diâmetro de 0,30 m e altura de 1,86 m e de um separador trifásico (gás-sólido-líquido) em PVC com altura de 0,60 m. O separador de fases foi acoplado à coluna cilíndrica à distância de 1,86 m da base do reator (Figura 1).

A alimentação do reator foi feita com esgotos sanitários com concentração de matéria orgânica variando de  $116 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $852 \text{ mg.L}^{-1}$  (em termos de DQO), armazenados em um tanque de homogeneização com capacidade de 500 L. Partindo do tanque de armazenamento, o substrato é introduzido no reator por meio de bomba dosadora eletromagnética automatizada, dotada de amortecedor de pulso na linha de alimentação.

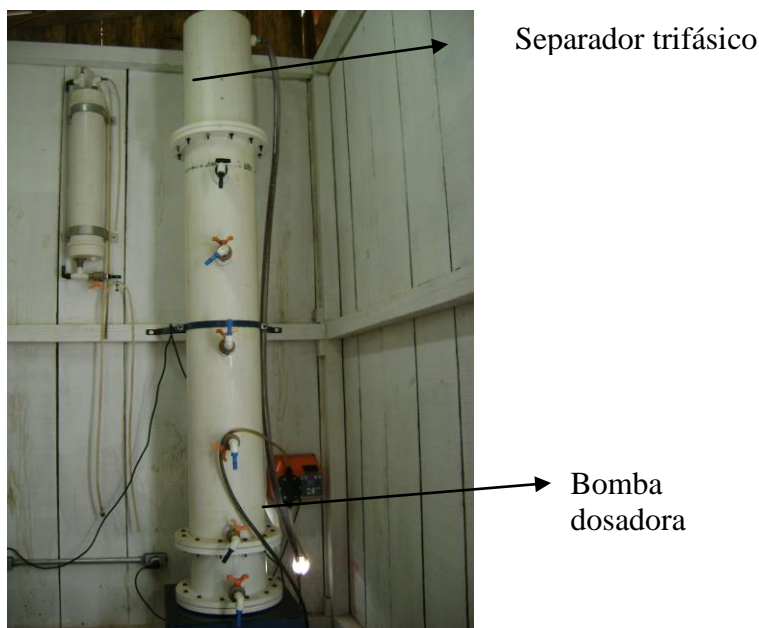


Figura 1- Reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB).

O reator foi inoculado com 55 L de lodo anaeróbio flocculento proveniente de um reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente que trata os esgotos sanitários da cidade de Campo Mourão (ETE 119), no estado do Paraná.

Para avaliar o comportamento hidrodinâmico foram realizados dois ensaios de estímulo-resposta em cada fase de operação com o corante eosina Y como traçador. O volume de injeção do traçador e o tempo de injeção foram de 20 mL e 50 s, respectivamente, para cada ensaio. Foram realizados dois

ensaios para cada etapa de operação: etapa I, vazão (Q) constante de 10,65 L.h<sup>-1</sup> e TDH de 15 h; etapa II com variação cíclica da vazão afluyente em 40% e etapa III com variação cíclica da vazão afluyente em 60%. Para determinação da concentração do traçador nas amostras do efluente do reator, foi utilizado o método colorimétrico de leitura de absorbância em espectrofotômetro Hach uv-vis, modelo DR/5000, com comprimento de onda de 516 nm. O tempo total de duração dos ensaios foi de 30 h, com intervalos para coleta do efluente de 15 min. As amostras coletadas foram centrifugadas durante 2 min a 3500 rpm para evitar interferência de sólidos na leitura das absorbâncias pelo método colorimétrico.

As curvas experimentais da variação de concentração do traçador ao longo do tempo (C(t)), foram normalizadas de acordo com Levenspiel (2000), resultando em curvas de distribuição do tempo de residência hidráulica (Eθ) em função do tempo adimensional (θ). A variância (σ<sup>2</sup><sub>θ</sub>) de cada ensaio foi calculada após a normalização. O ajuste das curvas experimentais foi realizado com base nos modelos teóricos uniparamétricos de dispersão de pequena intensidade (PD), de grande intensidade (GD) e de tanques em série (N-CSTR), como pode ser visualizado na Tabela 2.

Tabela 2 - Modelos teóricos uniparamétricos de dispersão utilizados

Modelo	Parâmetro	Equação
Dispersão de pequena intensidade	$\sigma^2_{\theta} = 2\left(\frac{D}{u.L}\right)$	$E_{\theta} = \frac{1}{2\sqrt{\pi(D/u.L)}} \exp\left[-\frac{(1-\theta)^2}{4(D/u.L)}\right]$
Dispersão de grande intensidade (tanque aberto)	$\sigma^2_{\theta,ta} = 2\left(\frac{D}{u.L}\right) + 8\left(\frac{D}{u.L}\right)^2$	$E_{\theta,ta} = \frac{1}{2\sqrt{\pi(D/u.L)}} \exp\left[-\frac{(1-\theta)^2}{4\theta(D/u.L)}\right]$
Tanques de mistura completa em série	$N = \frac{1}{\sigma^2_{\theta}} = \frac{\bar{\theta}^2_h}{\sigma^2}$	$E_{\theta} = \frac{N(N.\theta)^{N-1}}{(N-1)!} e^{-N.\theta}$

O volume de zonas mortas foi calculado de acordo com metodologia reportada por Peña *et al.* (2006) com base nos valores de TDH teórico e real, este último obtido a partir dos ensaios hidrodinâmicos e do volume total do reator. A presença de curtos-circuitos foi verificada pela relação entre o tempo do primeiro aparecimento do traçador no efluente do reator e o TDH teórico de acordo com Thackston *et al.* (1987) e Sarathai *et al.* (2010). A eficiência hidráulica, calculada de acordo com Sarathai *et al.* (2010) e Persson *et al.* (1999), reflete o volume efetivo e o número de tanques de mistura completa em série. As equações necessárias para o cálculo de zonas mortas, curto-circuito e eficiência hidráulica estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3- Equações para determinação da presença de zonas mortas, curtos-circuitos e eficiência hidráulica.

	Equações	Significado
<b>Zonas Mortas</b>	$\beta = \frac{TDH_r}{TDH_t}$	<b>B</b> = relação entre o TDH real (h) TDH teórico (h);
		<b>V<sub>a</sub></b> = volume ativo do reator (m <sup>3</sup> );
	$V_a = V_t \times \beta$	<b>V<sub>t</sub></b> = volume total do reator (m <sup>3</sup> );

	$V_d = V_t - V_a$	$V_d$ = volume de zonas mortas ( $m^3$ ).
<b>Curtos-Circuitos</b>	$\psi = \frac{\tau_k}{\tau_r}$	$\Psi$ = presença de curto-circuito; $\tau_k$ = tempo em que ocorre pico concentração (h); $\tau_r$ = TDH real (h).
<b>Eficiência Hidráulica</b>	$\lambda = V_e \left(1 - \frac{1}{N}\right)$	$\lambda$ = eficiência hidráulica; $V_e$ = volume efetivo ( $m^3$ ); $N$ = número de tanques CSTR em série

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi verificado lento decaimento na concentração dos traçadores ao longo do tempo, indicando fenômeno de cauda longa devido à difusão dos traçadores em zonas mortas do reator, adsorção na biomassa e de sua lenta liberação (Levenspiel, 2000). Outros estudos também observaram o efeito de cauda longa (de Nardi *et al.*, 1999; Carvalho *et al.*, 2008, Vilar *et al.*, 2012).

Os resultados obtidos com o ajuste das curvas de distribuição do tempo de residência pelos modelos matemáticos teóricos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros obtidos com o ajuste dos dados experimentais para o reator UASB.

<b>Etapa</b>	<b>Ensaio</b>	<b>TDH teóric (h)</b>	<b>TDH (h)</b>	<b>N-CST em série</b>	<b>Pequena dispersi (PD) (D/uL)</b>	<b>Grande dispersi (GD) (D/uL)</b>
I	1	15	6,7	1	0,394	0,158
	2	15	7,1	1	0,386	0,159
II	3	15	12	2	0,254	0,119
	4	15	12	2	0,263	0,138
III	5	15	18	3	0,167	0,269
	6	15	18	4	0,135	0,164

Pela Tabela 4, é possível notar aumento dos valores de TDH real, provavelmente devido a existência de canais preferenciais no reator; devido à aplicação das variações senoidais cíclicas de 40% e 60 % da vazão afluente, houve aumento da velocidade ascensional do efluente ocasionando aumento no TDH real. Além disso, o lodo do tipo floculento pode ter agravado o aumento da presença de canais preferenciais. Os valores do parâmetro número de reatores de mistura completa em série (N) não apresentaram diferenças significativas, o que indicou grau de mistura semelhante para os ensaios realizados.

No ajuste uniparamétrico com o modelo de pequena dispersão os valores foram iguais a 0,394 e 0,386 para a etapa I, 0,254 e 0,263 para a etapa II e 0,254 e 0,263 para a etapa III.

Carvalho *et al.* (2008) avaliaram a hidrodinâmica de um reator UASB (160 L), tratando esgotos sanitários, com vazão afluente constante de 16 L.h<sup>-1</sup> e TDH de 10 h e obtiveram 4 e 5 reatores de mistura completa em série. Os coeficientes de dispersão de pequena intensidade foram de 0,112 e 0,121 e os coeficientes de dispersão de grande intensidade foram de 0,075 e 0,079.

É possível observar que os valores do parâmetro N e do modelo de pequena e grande dispersão não foram similares aos reportados por Carvalho *et al.* (2008). Isso pode estar associado ao tipo do lodo, já que Carvalho *et al.* (2008) utilizaram lodo granular. Os resultados dos coeficientes de correlação obtidos para os modelos matemáticos teóricos são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Coeficientes de correlação obtidos com o ajuste dos dados experimentais aos modelos teóricos.

<b>Etapa</b>	<b>Ensaio</b>	<b>N-CSTR em série</b>	<b>Pequena dispersão (PD) (D/uL)</b>	<b>Grande dispersão (GD) (D/uL)</b>
I	1	0,921	0,850	0,542
	2	0,938	0,794	0,440
II	3	0,860	0,792	0,547
	4	0,924	0,695	0,245
III	5	0,843	0,668	0,180
	6	0,924	0,891	0,527

Através da análise das curvas DTR e dos coeficientes de correlação (Tabela 5), pôde-se observar que o modelo uniparamétrico de N-CSTR em série apresentou melhor ajuste dos dados experimentais em todos os ensaios realizados, independentemente da etapa.

As curvas de DTR obtidas com ajuste dos dados experimentais dos ensaios realizados no reator UASB com eosina Y nas 3 etapas podem ser observadas na Figura 3.

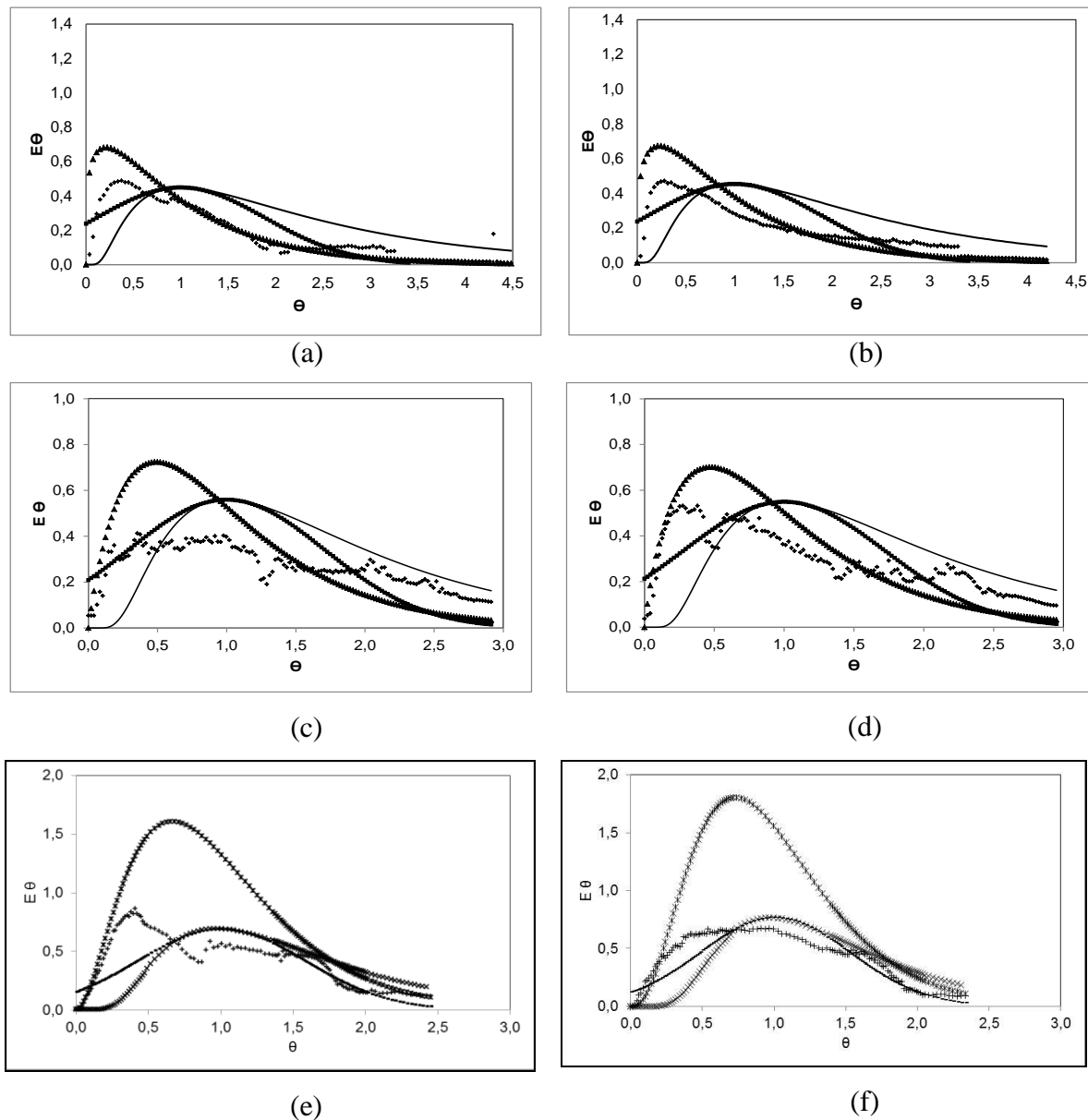


Figura 3 - Curvas de DTR obtidas experimentalmente ao longo do tempo nos ensaios de estímulo-resposta: vazão constante – a) ensaio 1, b) ensaio 2;  $Q = 40\%.Q$  e  $TDH = \text{var.}$ ; c) - ensaio 3, d) - ensaio 4;  $Q = 60\%.Q$  e  $TDH = \text{var.}$ ; e - ensaio 5, f – ensaio 6 -◇- Dados experimentais; -▴- pequena dispersão; -Δ- N-CSTR em série; — grande dispersão.

Dentre os modelos uniparamétricos de dispersão, o modelo de PD melhor ajustou os dados experimentais nos ensaios realizados, apesar de inicialmente não respeitarem as premissas ( $D/uL < 0,01$  e dispersão idêntica dentro e fora do volume de controle). Entretanto, isto não significa que o ajuste tenha sido satisfatório, porque mesmo neste modelo, a dispersão em relação aos valores experimentais foi grande.

Devido à elevada dispersão longitudinal encontrada no parâmetro  $D/uL$  nos modelos de dispersão, ao valor do parâmetro  $N$  e ao melhor ajuste dos dados experimentais pelo modelo de tanques de mistura completa em série (N-CSTR) em relação aos demais modelos, pode-se afirmar que o regime de fluxo predominante no reator UASB é o regime de mistura completa. Na Tabela 6 podem ser observados os volumes de zonas mortas obtidos com os ensaios eosina Y.

Tabela 6 - Volume de zonas mortas obtidos com os ensaios eosina Y.

Etapa	Ensaio	TDH Teórico	TDH Real (h)	Pico (h)	Volume de Zc mortas (%)
I	1	15	6,7	2,2	33
	2		7,1	2,4	29
II	3		12	4,4	20
	4		12	4,5	20
III	5		18	9,9	3,2
	6		18	10	3,2

Foi possível observar a presença de curto-circuitos apenas na Etapa I (vazão constante) ( $\Psi \leq 0,3$ ), assim como verificado por De Nardi *et al.*, 1999; Peña *et al.*, 2006; Carvalho *et al.*, 2008; Sarathai *et al.*, 2010; dentre outros.

Foi observada eficiência hidráulica insatisfatória ( $\lambda \leq 0,5$ ) nas Etapas I e II (variação de vazão de 40%) e satisfatória ( $0,75 \leq \lambda \leq 0,5$ ) na Etapa III (variação de vazão de 60%).

A eficiência hidráulica foi classificada como eficiência hidráulica insatisfatória neste trabalho devido a presença de zonas mortas que podem interferir na ocorrência de curtos-circuitos e na eficiência hidráulica, uma vez que impedem a capacidade de distribuição uniforme do traçador ao longo do reator.

## 4. CONCLUSÃO

Apesar da aplicação das variações senoidais cíclicas de 40% e 60%, os parâmetros tempo de detenção hidráulica e grau de mistura do reator não apresentaram diferenças significativas quando comparados àqueles parâmetros obtidos para vazão média afluyente constante.

Ao comparar o tempo de detenção hidráulica teórico com o determinado pelas curvas de DTR obtidas experimentalmente, verificou-se atraso de aproximadamente 50% da resposta do traçador que poderia indicar existência de zonas mortas hidrodinâmicas no interior do reator. O fenômeno de cauda observado nas curvas obtidas é resultante da difusão do traçador nessas zonas mortas e de sua lenta liberação no efluente.

O aumento no TDH real ao longo das etapas pode ter sido provocado pelo aumento da velocidade ascensional do efluente e o lodo do tipo floculento pode ter agravado o aumento de canais preferenciais.

## 5. REFERÊNCIAS

- CARVALHO, K.Q.; SALGADO, M.T.; PASSIG, F.H.; PIRES, E.C. Avaliação hidrodinâmica de reator UASB submetido à variação cíclica de vazão. *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 13, p.226-235, 2008.
- CHERNICHARO, C.A.L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores anaeróbios. 1.ed. Belo Horizonte, DESA/ UFMG. Cap 5., p.156. 1997.
- DE NARDI, I.R.; ZAIAT, M.; FORESTI, E. Influence of the tracer characteristics on hydrodynamic models of packed-bed bioreactors. *Biop. Eng.*, v. 21, p.469-476, 1999.
- FORESTI, E. Anaerobic treatment of domestic sewage: established technologies and perspectives. *Water. Sci. Techno*, v.45, n.10, p.181-186. 2002.
- METCALF e EDDY, INC. Wastewater Engineering – treatment, disposal and reuse. 3. ed. Estados Unidos, McGraw-Hill. 2003.
- LEVENSPIEL, O. Engenharia das Reações Químicas. Editora Edgar Blücher Ltda, São Paulo, 2000.
- PEÑA, M. R.; MARA, D. D.; AVELLA, G. P. Dispersion and treatment performance analysis of an UASB reactor under different hydraulic loading rates. *Wat. Res.*, v.50(3). p. 445-425, 2006.
- PERSSON J, SOMES N L G, WONG T H F, 1999. Hydraulics efficiency of constructed wetlands and ponds. *Wat. Sci. Tec.*, v.40. p. 291–300.
- SARATHAI, Y.; KOOTTATEP, T.; MOREL, A. Hydraulic characteristics of an anaerobic baffled reactor as onsite wastewater treatment system. *J. Environ. Sci.* v. 22(9). p. 1319-1326. 2010.
- THACKSTON E. L.; SHIELDS Jr. F. D.; SCHROEDER P. R.. Residence time distributions of shallow basins. *J. Environ. Eng.*, v.116(6). p. 1319–1332.1987.
- VILAR, F. M. D.; HATTORI, A. Y.; FREIRE, F. B.; PASSIG, F. H; CARVALHO, K. Q. 2012. Utilização de traçadores para avaliação do estudo hidrodinâmico de um reator UASB abiótico em escala de bancada. SIAUT – Simpósio Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Anais. Campo Mourão, PR. 2012.