

I-179 – INSTRUMENTOS DESENVOLVIDOS E RESULTADOS OBTIDOS NA RACIONALIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA

Geiza Lima de Oliveira⁽¹⁾

Engenheira de Produção Química, FTC Salvador, 2007. Mestranda em Engenharia Industrial PEI/UFBA

Karla Patrícia S. R. Oliveira Esquerre⁽¹⁾

Eng.^a Química, UFAL, 1998; Mestrado e Doutorado em Engenharia Química, UNICAMP, 2000 e 2003; Pós-doutorado em Engenharia Sócio-Ambiental, Universidade de Hokkaido, Japão, 2003-2005; Professora do Departamento de Engenharia Química. Pesquisador da Rede de TECLIM.

Asher Kiperstok⁽¹⁾:

Eng.^o Civil, Technion, 1974; Mestrado, 1994 e Doutorado, 1996, em Engenharia Química /Tecnologias Ambientais, UMIST, Reino Unido; Coordenador da Rede de Tecnologias Limpas-Teclim, Departamento de Engenharia Ambiental, PPG em Engenharia Industrial, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia.

Ricardo Kalid⁽¹⁾

Eng.^o Químico, UFBA, 1988; Mestrado em Engenharia Química, UFBA, 1991; Doutorado em Engenharia Química, USP, 1999; Professor do Departamento de Engenharia Química da UFBA. Pesquisador da Rede TECLIM.

Emerson A. Sales⁽¹⁾

Eng.^o Químico, UFBA, 1981; mestrado em Química, UFBA, 1990; doutorado em Ciências / Engenharia Química pela Université Paris VII - Denis Diderot, 1996, pós-doutorados pela Université de Paris VII - Denis Diderot (1998 e 2000) e pelo IRCEL (Lyon França), 2007- 2008; Professor associado da UFBA; Coordenador do Programa UFBA Ecológica.

Endereço⁽¹⁾: Aristides Novis , 02 - Federação - Salvador - Bahia - CEP: 40210-630 - Brasil - Tel: +55 (71) 3235-4436 - Fax: +55 (71) 3283-9892 - e-mail: engeuqui@gmail.com

RESUMO

Frente à necessidade de racionalização do uso da água pelas indústrias, a Rede de Tecnologias Limpas, TECLIM, da Universidade Federal da Bahia, UFBA, desenvolveu e vem aplicando uma metodologia específica para este assunto. Esta metodologia surgiu da aproximação das indústrias da Bahia com a comunidade acadêmica motivado pelo interesse em melhor gerir e reduzir seu consumo de água e geração de efluentes. Os instrumentos desenvolvidos que compõe a metodologia são apresentados. A relação dos instrumentos com os conceitos de Produção Mais Limpa (P+L) que orientam os projetos é elaborada para vincular as soluções estudadas e propostas, com as estratégias de otimização que trata a P+L. Uma ordem de utilização dos instrumentos ao longo dos projetos é apresentada para demonstrar como os mesmos estão inter-relacionados e como são trabalhados em conjunto. Alguns resultados como reduções no consumo de água e geração de efluentes mesmo sem investimento são apresentados.

PALAVRAS-CHAVE: Metodologia TECLIM, Água, Indústria, Efluente, Produção Limpa.

INTRODUÇÃO

A UNEP (2010) aponta que aproximadamente um terço (1/3) da população mundial vive em países sob médio ou alto estresse hídrico. A previsão é que até 2030 este número chegue a 47% da população sendo a água um dos quatro fatores críticos das próximas duas décadas (OECD, 2010). Estima-se que o setor industrial seja responsável por 25% do consumo de água no mundo (Metcalf e Eddy, 1991). No Brasil, 18% são destinados a este uso (ANA, 2009). No geral, os processos industriais consomem grandes quantidades de água e acabam por descartar grande volume de efluentes contaminados, gerando resíduos muitas vezes perigosos e de difícil tratamento, contribuindo para a contaminação e degradação de ecossistemas (FONTANA E OUTROS, 2005).

A valorização econômica dos recursos hídricos tende a crescer devido ao aumento do consumo de água e da pressão sobre as fontes existentes impactando diretamente as indústrias que principalmente demandem em seus processos quantidades significativas de água, através do aumento do custo da água e do tratamento de efluentes comprometendo sua competitividade e até mesmo sua sobrevivência (ALMEIDA, 2002).

As indústrias devem adotar programas, metodologias e ferramentas para otimização do uso da água seja internamente através da monitoração do uso, redução do consumo por unidade de produto e pesquisas de tecnologias mais eficientes bem como pela formação de parcerias com municipalidades onde atua, grupos não governamentais e a comunidade científica para minimização dos custos, preservação dos recursos e conscientização quanto ao uso e gestão da água (ULSON DE SOUZA ET AL. 2009; OLIVER ET AL., 2008)

No que tange a parceria com a comunidade científica, a metodologia desenvolvida pela Rede de Tecnologias Limpas (Teclim) da Universidade Federal da Bahia (UFBA) para racionalização do uso de água em plantas industriais será apresentada como um conjunto de iniciativas e técnicas aplicáveis aos processos consumidores de água de forma geral, que resultam em ganhos significativos na redução do consumo da água e na geração de efluentes.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Rede de Tecnologias Limpas e Minimização de Resíduos (TECLIM) da Bahia, coordenada pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), vêm desenvolvendo ao longo dos últimos 10 anos projetos de parceria com indústrias da região de forma a contribuir com o aumento da eficiência principalmente no que diz respeito ao uso da água dentro dos setores produtivos e também pela otimização da captação e descarte deste recurso no entorno das unidades industriais.

Nestes projetos, parte-se do princípio da Prevenção da Poluição através da Produção Mais Limpa (P+L) onde são priorizadas as ações de redução na fonte e, caso não seja possível reduzir na fonte, adotam-se de medidas de reuso e reciclagem (LaGrega, 1994). Desta forma a identificação de oportunidades de otimização ambiental dentro da empresa em estudo são direcionadas por esta visão. Os resultados esperados e metas são definidos pelo TECLIM junto às empresas.

Os instrumentos (I1 a I9) foram desenvolvidos com base nas necessidades identificadas nos projetos aonde também vem sendo aperfeiçoados. Os instrumentos encontram-se detalhadamente descritos em Kiperstok et al. (2006 & 2011) e são utilizados de acordo com as necessidades do projeto e dos recursos disponíveis. A seguir são apresentados.

I1- APROXIMAÇÃO DOS SABERES ACADÊMICO E OPERACIONAL/INDUSTRIAL:

Indústria e Universidade constroem um projeto de parceria com o objetivo de otimização ambiental. São identificados os objetivos do projeto e as metas a serem alcançadas. Participam pesquisadores da UFBA e funcionários da empresa na definição do escopo, acompanhamento, alinhamento de informações e direcionamento dos estudos.

I2- INSERÇÃO DOS CONCEITOS DE P+L ATRAVÉS DA CAPACITAÇÃO PERMANENTE E EM LARGA ESCALA:

Conceitos de Produção Mais Limpa são transmitidos aos operadores e engenheiros da empresa em duas etapas. Em uma primeira etapa eles são convidados a identificarem ideias que contribuam para a melhoria do desempenho ambiental da empresa para o projeto com o Teclim e em seguida apresentam suas contribuições em uma segunda etapa.

Um programa de cursos, além dos de P+L, é definido para capacitar as equipes envolvidas nos instrumentos utilizados no projeto e nos conhecimentos necessários para a identificação, análise e desenvolvimento de oportunidades a exemplo dos cursos de medição de vazão, simulação, torres de resfriamento, projeto de redes de aproveitamento de águas industriais, qualidade de água e equipamentos para tratamento de água e efluentes, dentre outros.

I3- BALANÇO HÍDRICO (BH) E RECONCILIAÇÃO DE DADOS:

Essa ferramenta consiste na representação dos fluxos hídricos de entrada e saída de água de uma empresa em torno dos seus vários volumes de controle. Todas as informações de vazão são utilizadas para a composição do balanço sendo aplicado o conceito de Qualidade de Informação (QI) onde, a cada fonte de informação é atribuída uma nota proporcional à confiança atribuída à mesma.

A incerteza da informação, que é inversamente proporcional à QI, é relacionada com o método pelo qual esta informação foi obtida. Inicialmente, atribui-se valores de QI variando de 0,4 a 10 para cada corrente aquosa considerada.

A forma de avaliar o QI adotada nos projetos do Teclim é calculando um QI representativo do conjunto considerado, ponderando os valores de vazão e de QI das correntes conhecidas (equação 1). Calculando o desvio percentual entre as vazões de entrada e saída (equação 2), as correntes do balanço que necessitam de sistemas de medição mais eficazes são identificadas. A reconciliação de dados é utilizada para melhorar a distribuição das incertezas existentes e garantir que as informações atendam as restrições determinadas no processo (DESVIO = 0).

$$QI_{\text{ponderado}} = \frac{\sum_{i=1}^N QI_i \cdot V_i}{\sum_{i=1}^N V_i} \quad \text{equação (1)}$$

Onde: QI = qualidade de informação atribuída ao valor da vazão; V_i = valor de vazão da corrente i ; N = número de correntes consideradas.

$$DESVIO (\%) = \frac{100 \cdot \left(\sum_{i=1}^M V_{in} - \sum_{i=1}^N V_{out} \right)}{\sum_{i=1}^N V_{out}} \quad \text{equação (2)}$$

Onde: $\sum_{i=1}^M V_{in}$ e $\sum_{i=1}^N V_{out}$ correspondem ao somatório das vazões de entrada e saída em um volume de controle, respectivamente.

I4- IMPLEMENTAÇÃO DE UM BANCO DE IDÉIAS DIGITAL:

As equipes do TECLIM e da empresa são motivadas e convidadas a registrarem suas ideias. O cadastro é feito pela internet utilizando usuário e senha específicos para o projeto. Uma equipe de oportunidade da UFBA fica responsável pela leitura e detalhamento das ideias. Consultas aos autores das ideias podem ser feitas para o esclarecimento de dúvidas.

As ideias são avaliadas quanto aos impactos positivos que podem provocar em relação aos aspectos ambientais, culturais e econômicos, conforme a Tabela 1 e em seguida são levantados os investimentos financeiros necessários para que as ideias sejam implementadas. De posse da nota atribuída ao impacto positivo e de uma escala que representa os investimentos (em R\$) é construída a matriz da Figura 1.

Na Figura 1 as ideias aparecem classificadas por atratividade de acordo com o impacto e investimento e serão priorizadas para implantação no debate com a empresa.

Tabela 1: Valores utilizados na avaliação de Impacto Positivo

Nota	Conceito	Aspectos Ambientais	Aspectos Culturais	Aspectos Econômicos
		Faixa de redução (%)	Abrangência da Ideia	Faixa de valor (R\$) *
1	Muito baixo	$\leq 0,1$	Apenas no posto de trabalho do funcionário	$\leq 5\ 000$
2	Baixo] 0,1 ; 0,5]	No posto e na área de trabalho do funcionário] 5 000 ; 10 000]
3	Médo] 0,5 ; 2,0]	Sobre o posto, área e planta do funcionário] 10 000 ; 100 000]
4	Alto] 2,0 ; 4,0]	Posto+Área+Planta+Casa] 100 000 ; 500 000]
5	Muito alto	$> 4,0$	Posto+Área+Planta+Casa+ Comunidade onde o funcionário mora	$> 500\ 000$

*Os valores são adaptados a depender da indústria

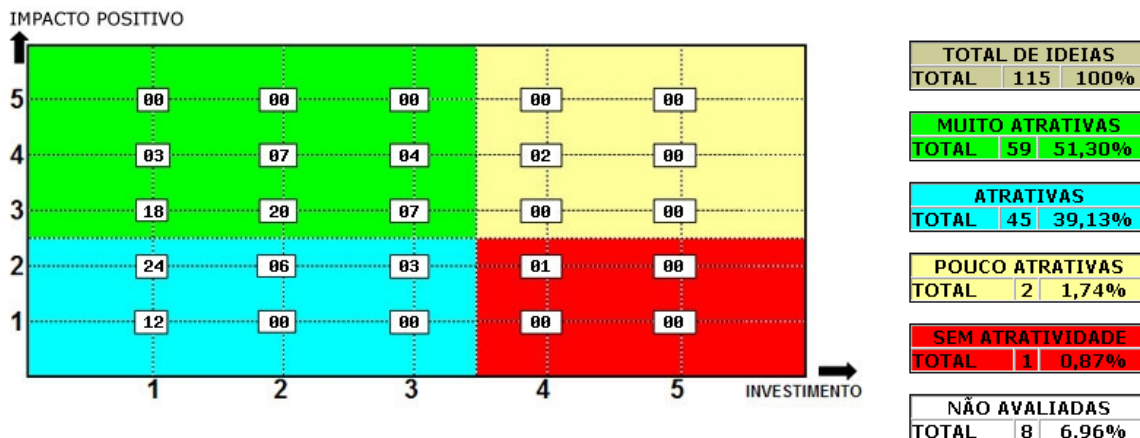


Figura 1 – Matriz de avaliação das ideias

I5- IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG):

Tem a finalidade de proporcionar uma visão integrada da área de atuação de cada projeto e, mais especificamente, vincular as fontes e consumidores de água representados por coordenadas geográficas visando servir de base para a avaliação dos custos de interligação das correntes de efluentes com as suas destinações.

O GIS permite aos engenheiros avaliar rapidamente a logística necessária (distância, cotas, obstáculos a serem transpostos, existência de passagem) para a transferência de massa de um ponto ao outro da planta. Dessa forma projetos inviáveis são celeremente descartados. O SIG viabiliza ainda a definição das áreas de contribuição de chuvas e a representação das empresas no ciclo hídrico da região na qual estão inseridas.

I6- OTIMIZAÇÃO DAS REDES DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA:

Os objetivos iniciais dos estudos de otimização das redes de transferência de massa consistem em tornar os processos industriais mais eco eficientes. Até o momento, o desenvolvimento completo deste instrumento não tem alcançado nenhuma das plantas industriais das quais se têm trabalhado. Dentre os benefícios associados à integração de massa encontra-se a redução do consumo de água e geração de efluentes, assim como, o marketing ambiental.

I7- ANÁLISE DA INSERÇÃO DA EMPRESA NO CICLO HIDROLÓGICO REGIONAL:

Tem como principal objetivo avaliar as ações efetivas de proteção, preservação e remediação de recursos hídricos superficiais e subterrâneos na região, assim como identificar fontes alternativas de abastecimento e descarte.

I8- ELABORAÇÃO DE PROJETOS CONCEITUAIS DE MINIMIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA E DA GERAÇÃO DE EFLUENTES:

Refletem os resultados da inserção dos conceitos de P + L na empresa, sendo gerados a partir das idéias cadastradas no Banco de Idéias e que foram priorizadas junto à empresa. Os projetos conceituais levam em conta os a representação espacial da área em estudo.

I9- AUDITORIA DE FONTES DE GERAÇÃO DE EFLUENTES:

Pretende definir, no “chão da fábrica”, ações e procedimentos para a redução do volume de efluentes pontuais, buscando ainda a melhoria da qualidade destes efluentes através da minimização da perda de produtos. O efluente reflete a estabilidade do processo devendo-se, portanto estabelecer rotinas para seu controle. A observação visual, assim como as medições, é essencial para caracterizar problemas com efluentes.

INSTRUMENTOS: ASSOCIAÇÃO COM CONCEITOS DE P+L E INTERLIGAÇÃO

A relação entre os instrumentos e as estratégias de otimização propostas por LaGrega (1994) é apresentada na Tabela 2. Busca-se associar os instrumentos com os conceitos da P+L. Observa-se que para cada instrumento existe pelo menos uma estratégia fortemente associada a ele, demonstrando a relevância da aplicação deste instrumento no projeto e o direcionamento a resultados que cada um deles deve levar de acordo com a estratégia.

Tabela 2: Grau de relação entre as estratégias de otimização e os instrumentos desenvolvidos.

Marco Conceitual	Estratégias de otimização	Instrumentos Utilizados (I)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Redução na fonte	• Boas Práticas Operacionais									
	• Mudanças na Tecnologia									
	• Mudanças nos Insumos*									
Reciclagem Interna e Externa	• Técnicas de Reuso									
	• Técnicas de Reciclagem									
Tratamento/Descarte	• Separação de correntes									
	• Disposição final									

* Insumos e produtos considerados se referem à água captada e produzida pelas empresas, respectivamente.

Legenda

	Fortemente relacionados		Moderadamente relacionados		Fracamente relacionados
---	-------------------------	---	----------------------------	--	-------------------------

Fonte: Adaptado de Kiperstok et al. 2011

Na Figura 1 é apresentada uma ordem de utilização dos instrumentos de acordo com as fases do projeto definidas pelo *Project Management Institute* (PMI).

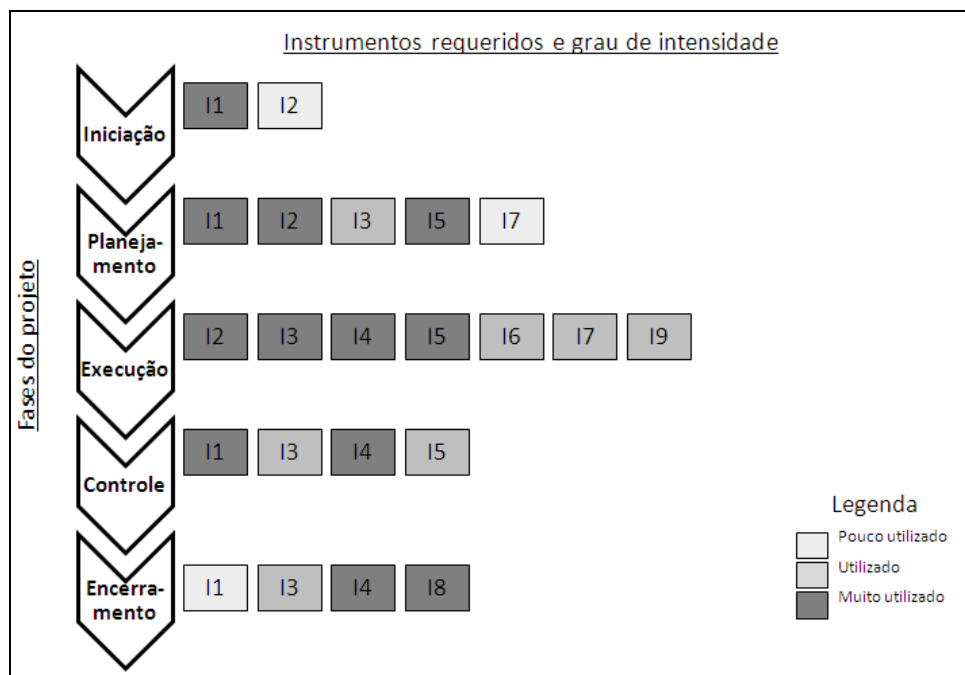


Figura 2: Interligação dos instrumentos

Na fase de iniciação, a parceria da universidade com a indústria (I1) é o instrumento mais utilizado, seguido pela programação dos treinamentos (I2). Na etapa de planejamento a parceria (I1), treinamentos (I2) e sistema de informações geográficas (I5) irão definir equipes, capacitação necessária e conhecimento da representação espacial para identificação de oportunidades.

Neste momento, começam a ser identificadas e mapeadas as correntes aquosas que irão compor o balanço hídrico (I3) e uma análise inicial da inserção da empresa no ciclo hidrológico (I7) é efetuada para delimitação dos estudos.

Na execução, intensificam-se os treinamentos (I2), composição do balanço hídrico com atribuição da qualidade da informação (I3), o banco de ideias (I4) é amplamente divulgado e utilizado para cadastro e avaliação de oportunidades. Para o controle do projeto, os instrumentos de parceria (I1), balanço hídrico (I3), banco de ideias (I4) e sistema de informações (I5) são indicados.

No encerramento as metas iniciais definidas no instrumento 1 são confrontadas com os resultados, o balanço hídrico (I3) por área e global reconciliados são produtos entregues, as oportunidades priorizadas no banco de ideias (I4) são recomendadas para análise da empresa. Os projetos conceituais (I8) são entregues.

A análise da Figura 1 indica que os instrumentos são utilizados de acordo com as necessidades do projeto, que estes podem ser necessários em mais de uma fase e que não existe uma sequência única na aplicação deles. É possível que um instrumento seja mais ou menos utilizado a depender dos objetivos do projeto e dos recursos disponíveis. A inter-relação dos instrumentos abre espaço para novas análises e avaliação de oportunidades que ainda não foram desenvolvidas nos projetos no Teclim.

RESULTADOS

Na Figura 3 são apresentados dados históricos de consumo de água da empresa A. Nota-se a redução do consumo da água em 13% durante o período do projeto, mesmo uma fase de estabilização, antecedida por uma redução significativa do consumo. Este resultado foi obtido sem que qualquer alteração tecnológica ou investimento financeiro fosse efetuado.

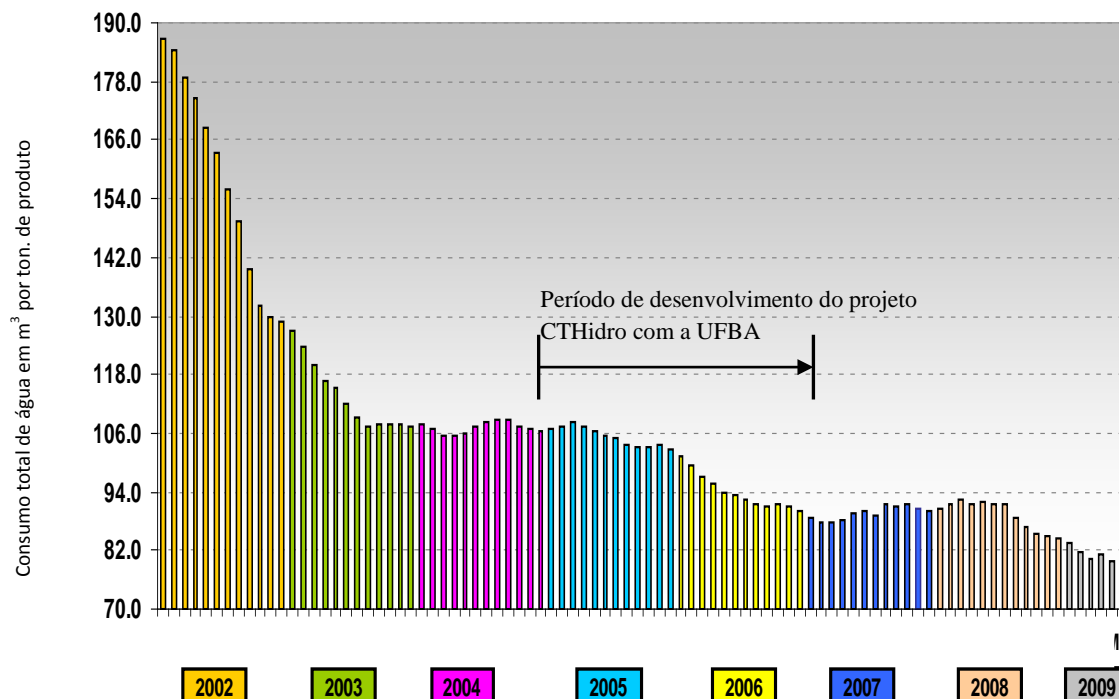


Figura 3: Evolução do consumo específico de água na empresa A (m^3 por tonelada de produto). Fonte: Kiperstok et al., 2011

No projeto com a empresa C representada na Figura 4 são observadas tendências de queda tanto no consumo de água como na produção de efluentes. A curva representativa do consumo de água clarificada, referenciada no eixo esquerdo do gráfico, indica uma redução do consumo de 17% em apenas um ano. No período citado houve uma redução da produção específica de efluentes de 43% e do consumo de água potável em 42%.

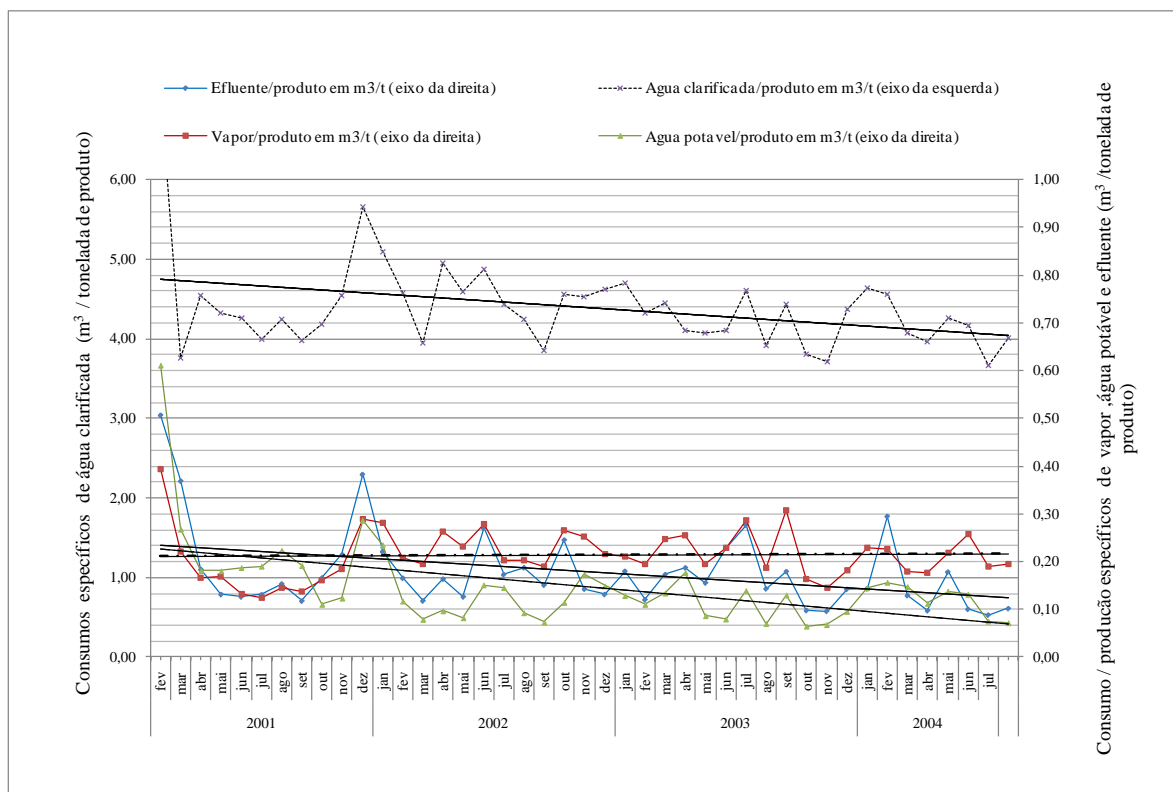


Figura 4: Evolução do consumo de água e produção de efluentes na empresa C

Em todos os projetos realizados desde 2001 as metas de redução propostas foram atingidas e/ou superadas. A Tabela 3 mostra de forma resumida os principais resultados obtidos ao longo dos projetos de parceria.

Tabela 3: Resultados obtidos a partir dos diversos instrumentos nos projetos

Projeto	Duração (anos)	Nº de profissionais treinados	Nº de ideias geradas	Vazão (t /h)	Potencial de economia estimado (t/h)
A	2	508	103	600	158
B	6	80	53	4300	391
C	2	338	113	407	160
D	2	194	50	90	32
E	1	400	106	1250	320
F	1	150	67	700	300

CONCLUSÕES

Os instrumentos desenvolvidos permitem atingir as metas de redução definidas nos projetos de parceria. Mostra-se a aproximação entre os instrumentos e os marcos da Produção Mais Limpa permitindo-se visualizar a necessidade e importância da utilização de cada um dos instrumentos. A inter-relação dos instrumentos demonstra que não existe uma sequência clara e única na sua utilização e que a maior ou menor demanda por determinado instrumento irá depender das necessidades do projeto. Os resultados permitem identificar os ganhos ambientais, econômicos e sociais obtidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, G. S.; SILVEIRA Júnior, J. S. C.; AZEVEDO, A. DE. VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió, 2002.
- ANA - Agência Nacional de Águas (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2009. 204 p.
- KIPERSTOK, A., KALID, R. AND SALES, E. Development of water and wastewater minimization tools for the process industry: the experience of the Clean Technology Network of Bahia, Brazil. Proc. Global Conf. on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering, 4, 3-6 October 2006, São Carlos, SP, Brazil.
- KIPERSTOK, A.; OLIVEIRA, G. L., OLIVEIRA-ESQUERRE, K. P.; KALID, R. Conservação dos recursos hídricos no semiárido brasileiro frente ao desenvolvimento industrial. In:_____. Recursos Hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido , 2011. cap.7, p. 207-247.
- LAGREGA, M.D.; BUCKINGHAM, P.L.; EVANS, J.C. 1994. The environmental resources management group: hazardous waste management. : McGraw-Hill, Singapore, 1146 p.
- METCALF & EDDY, Inc. Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse. 3rd ed. revised by George Tchobanoglous, Frank Burton. Singapore: McGraw-Hill, 1991. 1331p.
- OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT Disponível em:< http://www.oecd.org/document/47/0,3343,en_2649_34285_36146415_1_1_1_1,00.html>. Acesso em: 30 dez. 2010.
- OLIVER, P.; RODRÍGUEZ, R.; UDAQUIOLA, S. Water use optimization in batch process industries. Part 1: design of the water network. J.Cleaner Prod., v.16, pp.1275-1286, 2008.
- ULSON DE SOUZA, A.A.; FORGIARINI, H.L.; XAVIER, M.F.; PESSOA, F.L.P.; GUELLI DE SOUZA, S.M.A. Application of Water Source Diagram (WSD) method for the reduction of water consumption in petroleum refineries. Resources, Conservation and Recycling, v.53, pp.149-154, 2009.
- UNEP- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Disponível em: <<http://www.unep.org/Themes/Freshwater/About/index.asp>>. Acesso em: 30 dez. 2010.
- FONTANA, D., KALID, R. A., KIPERSTOK, A., SILVA, M.A.S. – Methodology for wastewater minimization in industries in the petrochemical complex. 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering and 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering. EMPROMER, Costa Verde, Rio de Janeiro-Brasil 2005.