ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

PHA 3513 – Sustentabilidade no Setor Produtivo

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) – Parte 3

Luiz Kulay

Case Study # 2 – RL Higiene

Corporate name: RL Sistemas Higiene LTDA

Sector: Professional Cleaning and Hygiene

Nember of employees (2013): 61

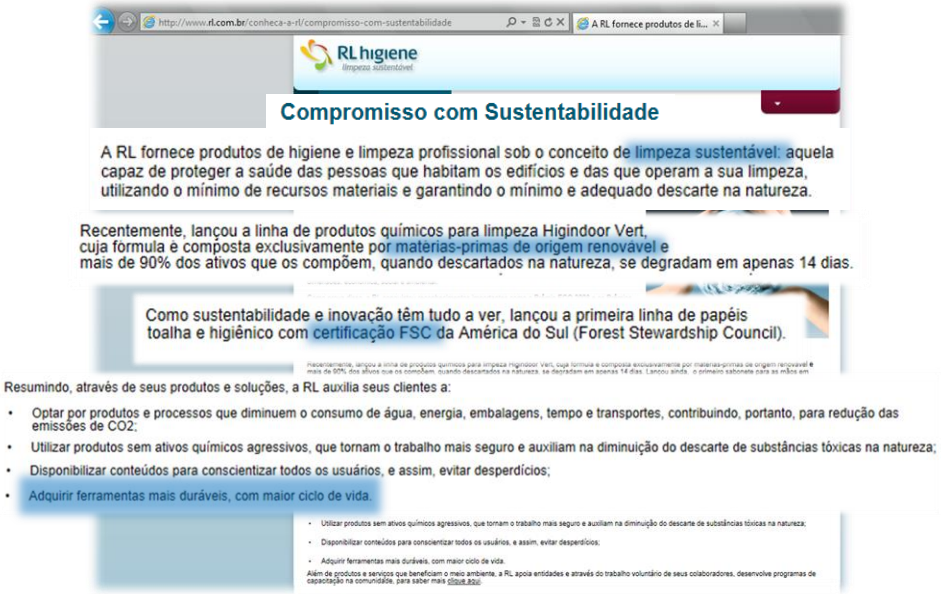
Product Portfólio: 336

Main customers: Organizations of industrial sectors and service (> 900)

Billing in sales (2013): 14.6 MUS$

RL Higiene: mission, vision and values

RL Higiene: Sustainability



Product under study

Higindoor 201 (HD 201):

Multipurpose cleaner, applicable to different kinds of washable surfaces: floors, walls, doors, windows, metal furniture, plastic, sanitary appliances, etc., throughout the institutional segment.

Goal Definition and Scope

Objectives: determining the environmental profile of HD 201

General approach: **cradle-to-grave**

Product: neutral detergent **HD 201** – diluted solution (1: 66.7)w/w

Function: cleaning the floor of a coffee shop

Functional Unit: cleaning a **162 m²** floor of a coffee shop

Reference flow: **20.3 L** HD 201

Cleaning Concept:

Standard established ABRALIMP: IR > 85% floor (80% sampling points)
Area = 162m²: 12 points → 10 points with IR > 85%

Scope Definition

Data source:
1ary data: manufacturing of HD201; transport; industrial utilities;
2ary data: other unit processes from the product system

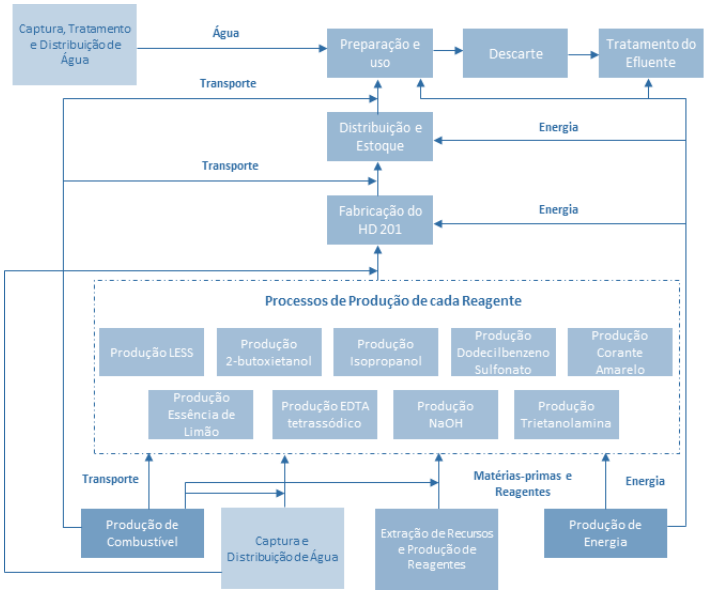
Cut-off criteria:
Mass and energy cumulative contribution < 1%
Environmental relevance (ISO 14044: 2006)

Data quality – Dimensions:
Temporal: 2010 (1ary data)
Geographic: SP (manufacturing and use of HD201 + raw-materials)

Allocation: there was no multifunctional situation in this study

Impact assessment model: CML baseline 2000

Scope Definition



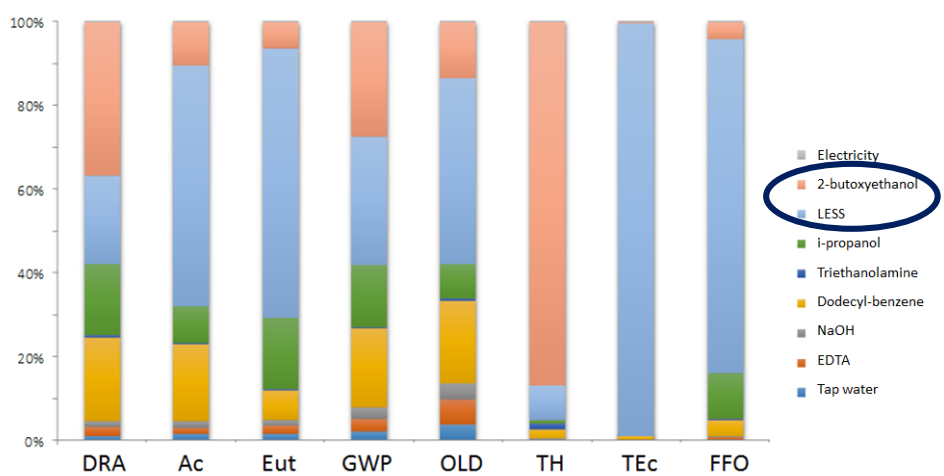
Results

Impact Assessment related to the use of HD201 for cleaning 162m² floor

Impact categories	Units	Total	Use + Final disposal	Dilution water	HD 201
DRA	kg Sb eq	1.60E-01	0	2.60E-03	1.50E-01
Ac	kg SO_2 eq	8.40E-02	0	1.20E-03	8.30E-02
Eut	kg PO_4^{3-} eq	3.70E-02	1.80E-02	1.30E-04	1.90E-02
GWP (100)	kg CO_2 eq	13.4	0	4.70E-01	13.0
OLD	kg CFC-11 eq	9.86E-07	0	1.14E-08	9.75E-07
TH	kg 1,4-DB eq	46.1	0	1.10E-01	46.0
TEc	kg 1,4-DB eq	2.59	0	1.50E-03	2.59
FFO	kg C_2H_4	1.60E-02	0	5.39E-05	1.60E-02

Results

Impact Assessment: use of HD201 for cleaning 162m² floor – individual contribution per asset



Conclusions

- The study identified significant contributions associated to HD201 in terms of DRA, Ac, EUT, and GWP in terms of floor cleaning
- As for the formulation, **dodecyl benzene**, **LESS**, **i-propanol**, and **2-butoxyethanol** were responsible for most significant environmental loads over CV under analysis
- Considering the diagnosis RL higiene decided to compare the environmental performance of HD201 with other options which have equivalent technical performance. The alternative select were:

  a) HD410 (existing in the portfolio - restricted uses);

  b) NMU (New Multi-Use – based on renewable assets);

  c) HD201 (New formulation – assets produced in BR)

Comparative scenarios

General characteristics of the products taken into account in the study

LCA approach: **cradle-to-grave**

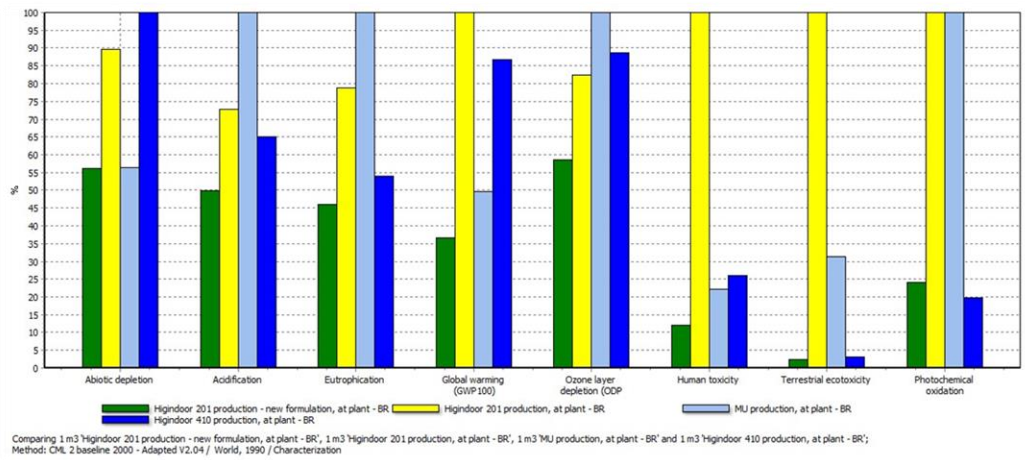
Functional Unit: cleaning a **8000 m²** floor (total area occupied by the company)

Impact categories: DRA; Ac; Eut; GWP (100); OLD; TH; TEc; FFO

Product	HD 201	HD 410	NMU	HD 201 NF
Dilution	**1:66.7**	**1:100**	**1:150**	**1: 125**
Reference flow (m^3)	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**

Results

Comparative analysis of impacts – relative values



Results

Comparative analysis of impacts – absolute values

Impact categories	Units	HD 201 NF	HD 201	NMU	HD 410
DRA	kg Sb eq	6.45	10.3	6.49	11.5
Ac	kg SO_2 eq	3.65	5.33	7.33	4.77
Eut	kg PO_4^{3-} eq	9.80E-01	1.67	2.12	1.15
GWP (100)	kg CO_2 eq	297	809	401	701
OLD	kg CFC-11 eq	4.42E-05	6.22E-05	7.54E-05	6.68E-05
TH	kg 1,4-DB eq	395	3267	725	848
TEc	kg 1,4-DB eq	4.34	180	56.5	5.69
FFO	kg C_2H_4	2.70E-01	1.11	1.11	2.20E-01

Final Conclusions

- HD 410: **good levels** of environmental performance, but the application range is **restricted** in comparison to the others
- Potentials of **Eut** and **TEc** are deeply influenced by the effectiveness of the product to carry out the function: **consumer habit review**
- HD201 new formulation (only considering assets produced in BR): **best** environmental performance even in comparison to the MNU
- LCA: provided important **information** in terms of **Eco-design**. The environmental variable was in fact a criteria in the decision-making process

Case Study # 3 – IHARABRAS

Corporate name: Iharabras SA Indústrias Químicas

Sector: production of herbicides, fungicides, and insecticides

Nember of employees (2010): 371

Product Portfólio: > 60

Main customers: farmers and agricultural cooperatives

Billing in sales (2011): 286 MUS$

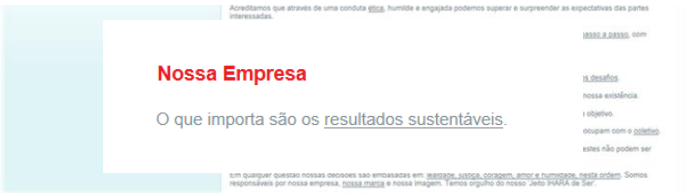
IHARA: mission, vision and values

Nosso Planeta

O mundo precisará cada vez mais de alimentos. Na busca pela produtividade sempre respeitaremos os recursos naturais.

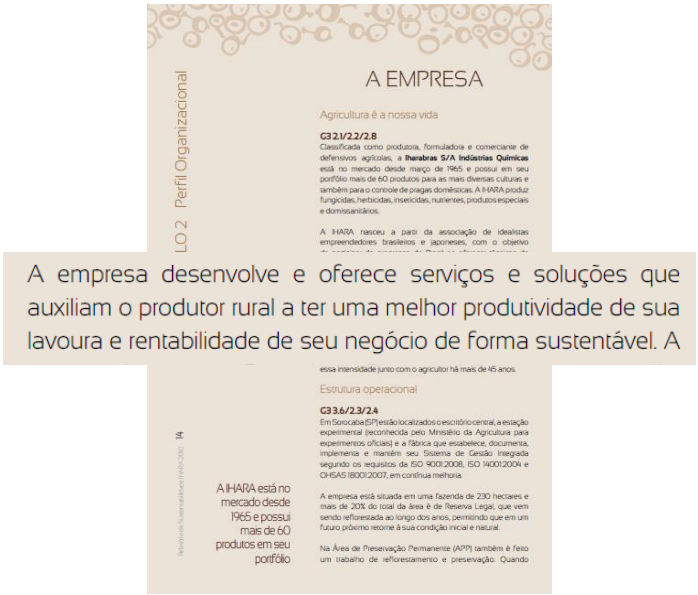
Tudo está interligado. Terra, Água e Ar são os maiores bens da humanidade.
Teremos a máxima responsabilidade na forma de tratá-los.

Alimentar o mundo preservando esses bens é a verdadeira sustentabilidade.



IHARA: Sustainability

IHARA: Environmental Policy



LO 2 Perfil Organizacional

A EMPRESA

Agricultura é a nossa vida

G3.2.1/2.2/2.8

Classificada como produtora, formuladora e comerciante de defensivos agrícolas, a **Iharabras S/A Indústrias Químicas** está no mercado desde março de 1965 e possui em seu portfólio mais de 60 produtos para as mais diversas culturas e também para o controle de pragas domésticas. A IHARA produz fungicidas, herbicidas, inseticidas, nutrientes, produtos especiais e domissanitários.

A IHARA nasceu a partir da associação de idealistas empreendedores brasileiros e japoneses, com o objetivo

A empresa desenvolve e oferece serviços e soluções que auxiliam o produtor rural a ter uma melhor produtividade de sua lavoura e rentabilidade de seu negócio de forma sustentável. A

essa intensidade junto com o agricultor há mais de 45 anos.

Estrutura operacional

G3.3.6/2.3/2.4

Em Sorocaba (SP) estão localizados o escritório central, a estação experimental (reconhecida pelo Ministério da Agricultura para experimentos oficiais) e a fábrica que estabelece, documenta, implementa e mantém seu Sistema de Gestão Integrada segundo os requisitos da ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 e OHSAS 18001:2007, em contínua melhoria.

A empresa está situada em uma fazenda de 230 hectares e mais de 20% do total da área é de Reserva Legal, que vem sendo reflorestada ao longo dos anos, permitindo que em um futuro próximo retome à sua condição inicial e natural.

Na Área de Preservação Permanente (APP) também é feito um trabalho de reflorestamento e preservação. Quando

14

A IHARA está no mercado desde 1965 e possui mais de 60 produtos em seu portfólio

Objectives & Motivation

Pesticides: for society it is "**necessary evil**" to increase agricultural productivity in order to meet the food needs of modern society

IHARA:
Assessing the environmental performance of its products
Identification of opportunities to improve environmental performance

Selected Product:
Methyl thiophanate (SC 50).

Why SC 50?
Regular use in cultivation of soybeans, cotton, beans, rice, tomato, citrus, etc.
2009-2010: soybean cultivation in the Cerrado - Brazil: **70.4%** of IHARA's sales were due to SC 50

Company's expectations:
Supporting decision-making processes: **environmental variable**
Guide agricultural products (consumer of the product)

Scope Definition

Conceptual framework: NBR ISO 14044 (2006)

General approach: cradle-to-grave

Product: Methyl thiophanate (SC 50)(sol.) – diluted solution (1:1)w/w = SC 50%

Function: Control the growth **of fungi** in soybean planting in the Brazilian Cerrado

Reference flow: adding 100L (= **116.2 kg**) of SC 50 to control the growth of fungi in the planting of **100 ha** of **soybean** in the Brazilian Cerrado

System boundaries:
Processing stages of SC50
Transports;
Manufacture of intermediates;
Use of SC 50 in soybean cultivation;
Production of process utilities (water and effluent treatment, generation and transport of electricity)

Scope Definition

Data quality:
1ary data: SC 50 fabrication; transports; and industrial utilities
2ary data: other unit processes

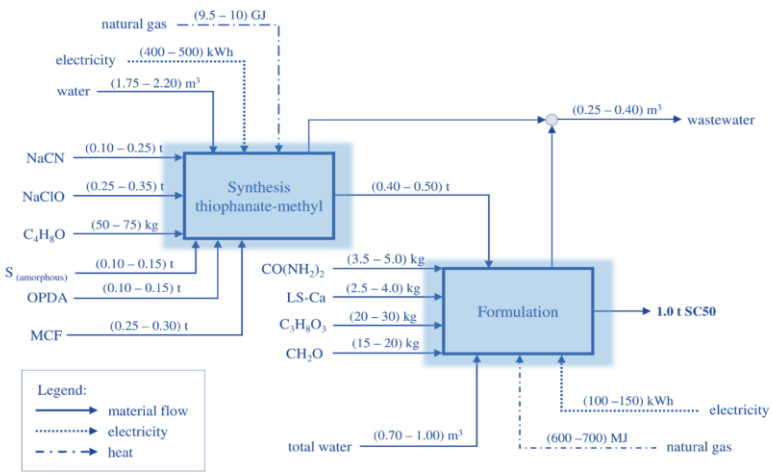
Exclusion criteria:
Cumulative contributions in terms of mass or energy < 2.0%

Data quality - Coverage:
Temporary: 2009-2010
Geographical: SP (production SC 50 + raw materials); MT, GO, BA (use SC 50); JP (production of Methyl thiophanate)
Technological: current

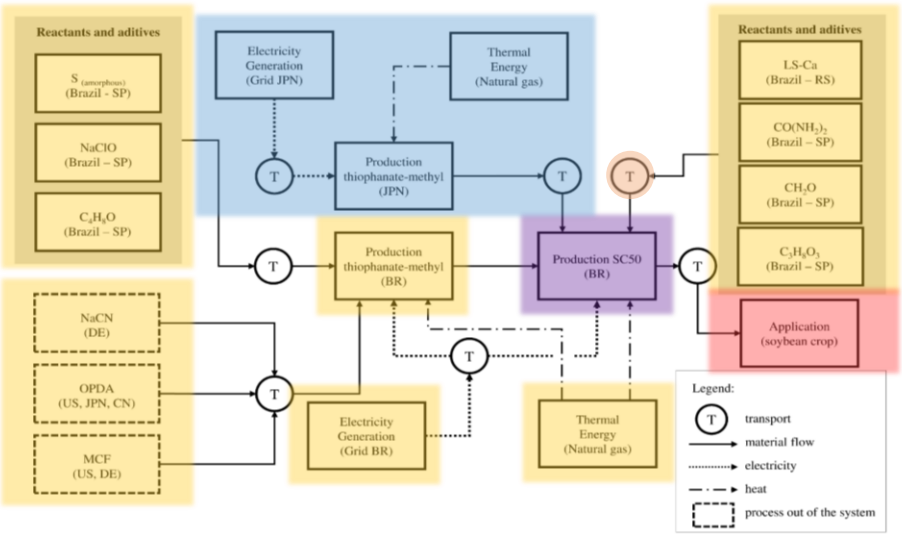
Multifunctionality situation: product system doesn't present multifunctional processes

Impact Assessment categories: AD, AC, EUT, GWP, PHO, HT_c, HT_{nc}, ECT

Technological approach



Product System



Results

Environmental impact for fungal growth control in soybean crops using SC 50

Impact category	Unit	Total	Final disposal	Use	Transport	Manufacture
AD	kg Sb eq	6.85	0.00	5.22	2.99E-01	1.34
AC	kg SO_2 eq	7.06	0.00	6.16	2.06E-01	6.92E-01
EUT	kg PO_4^{3-} eq	2.60	0.00	1.44	5.35E-02	1.11
GWP	kg CO_2 eq	951	0.00	813	42.7	95.5
PHO	kg C_2H_4 eq	1.63E-01	0.00	1.08E-01	6.44E-03	4.89E-02
HTc	CTUh	1.45E-08	0.00	5.68E-09	8.66E-10	7.99E-09
HTnc	CTUh	1.20E-09	0.00	7.27E-10	1.21E-10	3.49E-10
ECT	CTUe	1900	1839	1.05	7.15E-02	59.5

dispersion of the agrochemical on soybean crops (by **plane**)

Analysis based on corporate strategy

- LCA results depicted that the **method of dispersion** should be the focus of collective environmental impact **improvement actions**
- The company, however, **discouraged projects** that addressed that aspect, **fearing** that if the impact reduction were associated to a procedure managed by **farmers**, they would feel required to take part in a process. This could, in its turn, lead to considerable **market losses**
- Proposals aimed to reducing SC 50 **final disposal** impact were also **disregarded**. In the company's view, the best way to deal with the issue would be to develop a **new molecule** based on concepts of **DfE**, which is an **expensive** procedure, with only **long-term** results
- Conversely, the company identified situations throughout the **production chain** of SC 50 in which **Cleaner Production** actions could be taken and result in potential decreased impact.

Scenarios for potential improvement of environmental performance

After applying a selection criteria based in management and technical-operational requirements, five improvement actions have been selected by the company

Action	Description	Scenario	Arrangement
A	Review of in-plant instrumentation and control systems	S1	A
B	Closing of process water/effluent circuit + redesign of effluent treatment plant	S2	A + B
C	Discontinuation of imported thiophanate-methyl from Japan + replacement of the OPDA supplier	S3	A + B + C
D	Implementation of a steam cogeneration system	S4	A + B + C + D
E	Replacing renewable glycerin for fossil glycerin	S5	A + B + C + D + E

Results

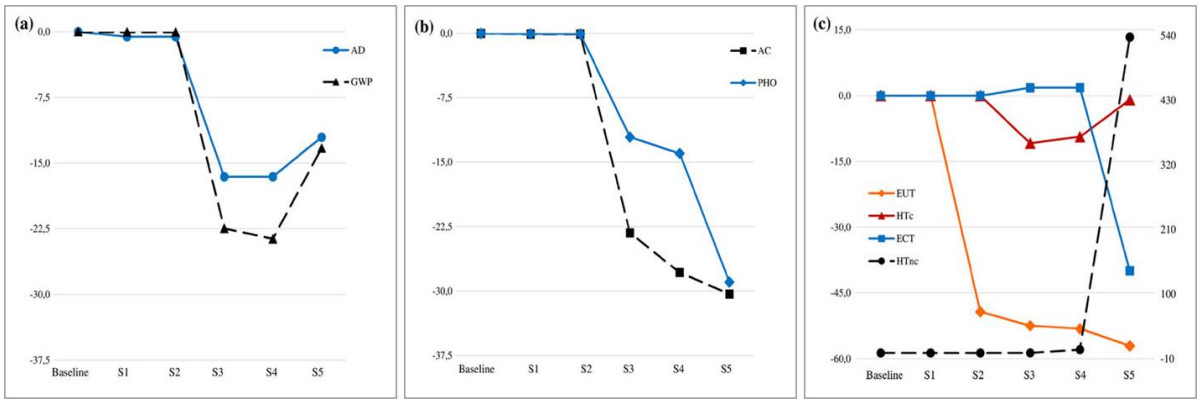
Distinct effects of each improvement action on the environmental impact profile of SC 50 production

Impact category	Baseline scenario	Relative contribution (%) per improvement action					
	Unit	Total	A	B	C	D	E
AD	kg Sb eq	1.34	(–) 0.59	0.00	(–) 15.4	0.57	4.51
AC	kg SO_2 eq	6.92E-01	(–) 0.09	0.00	(–) 23.0	(–) 2.23	(–) 2.51
EUT	kg PO_4^{3-} eq	1.11	0.00	(–) 49.3	0.27	(–) 0.35	(–) 3.92
GWP	kg CO_2 eq	95.5	(–) 0.03	0.00	(–) 22.4	(–) 0.57	10.4
PHO	kg C_2H_4	4.89E-02	(–) 0.06	0.00	(–) 12.0	(–) 0.89	(–) 15.0
HTc	CTUh	7.99E-09	0.00	0.00	(–) 10.8	0.74	8.42
HTnc	CTUh	3.49E-10	(–) 0.05	0.00	0.10	2.84	532
ECT	CTUe	59.5	0.00	0.00	1.83	0.00	(–) 41.8

Discontinuation of imported thiophanate-methyl from Japan + replacement of the OPDA supplier

Results

Effect of successive deployment of improvement actions on the Environmental Profile of SC50 production.
Results regarding: **(a)** GWP and AD; **(b)** AC and PHO; **(c)** EUT, HTc, HTnc and ECT



Conclusions

- **Discontinuing** the use of thiophanate-methyl imported from **Japan**, while in disagreement with a corporate directive, was found to be an effective action. The implementation of this measure is, however, conditioned to **cultural changes** within the company itself

- Installation of an energy cogeneration unit in order to decouple it from the Brazilian power grid. Despite the slight environmental gains of this action, such an undertaking needs to consider an **economic analysis**

- The use of fossil-sourced glycerin instead of its renewable counterpart is **controversial**. This leads to gains in terms of EUT, ECT and PHO, but also **disadvantages** in AD, GWP and specially, in HT_{nc}

- This study met its original expectations, to support the organization's management in **decision-making process** that could incorporate the environmental variable as a prerogative for this kind of action

Case Study # 4 – PETROBRAS

Efeito de diferentes estratégias de pré-tratamento
sobre o desempenho ambiental de processo para reúso de água
em refinaria de petróleo

Estudo de Caso: Objetivos

- Verificar o efeito de diferentes estratégias de pré-tratamento sobre os desempenhos ambiental, energético e econômico de processo para reúso de água em refinaria de petróleo
- Fornecer subsídios para que a dimensão ambiental seja incorporada ao processo de seleção de tecnologias de tratamento e reúso
- Difundir a aplicação do enfoque sistêmico em análises de desempenho que estejam voltadas a essa classe de reúso

Método

- Seleção do processo de tratamento de efluentes e das tecnologias de pré-tratamento: definição de cenários de estudo
- Caracterização tecnológica dos cenários: especificação e modelagem
- Aplicação da ACV para diagnóstico ambiental
- Realização de Análise Econômica
- Realização de Análise de Ecoeficiência
- Análise de resultados e proposição de melhorias

Seleção de Tecnologias

- Revisão de literatura: artigos técnicos, catálogos, relatórios e dissertações/teses
- Sequência-base tratamento para reúso: OR → EV → CR
- Tecnologias térmicas baseadas em recompressão de vapor
- Tecnologias de pré-tratamento: software OLI + relatórios técnicos de fabricantes de membranas
- **Requisito**: o efluente recuperado se destina a torre de resfriamento

- EDTA para prevenção de incrustações;
- Recuperação máxima → supersaturação limite $BaSO_4$

- D
a
- N
li

- $Ca(OH)_2$: aumento de pH
- $CaCO_3$: coprecipitação sais incru
- HCl: correção de pH antes da RO
- Limitante: SiO_2

- $MgCl_2$: remoção de Si [formação de
- $MgSO_4$: substitutivo de $MgCl_2$ e Na_2SO_4;
- HNO_3: para correção de pH

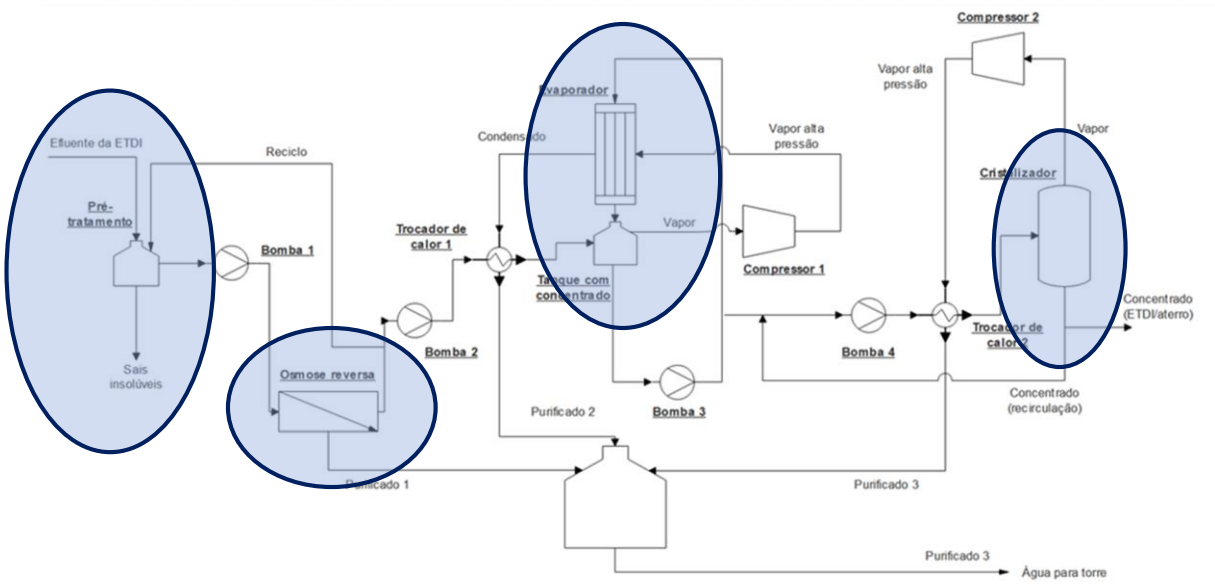
PT

Condições tecnológicas	S1	S2	S3	S4	S5
Osmose reversa (RO)	+	+	+	+	+
Evaporação e cristalização (EV + CR)	+	+	+	+	+
Dessupersaturação Ba	–	+	–	–	–
Coprecipitação	N/A	N/A	$Ca(OH)_2$ + $CaCO_3$	$Ca(OH)_2$ + $CaCO_3$ adição de $MgCl_2$ e Na_2SO_4	$Ca(OH)_2$ + $CaCO_3$ adição de $MgSO_4$
Reciclo	–	–	–	+	+
Acidificação	–	–	HCl	HCl	HNO_3
Recuperação RO (%)	84,6	87,0	95,8	97,2	96,4

Condições de Modelagem

- Modelagem pré-tratamento: OLI Systems
- Modelagem osmose: Hydranautics® IMS Design
- Fluxo médio limite: Q = 20 lmh
- Rejeição salina: r_s = 99,8%
- Modelagem evaporador e cristalizador: Aspen Plus v.8.8
- F_v = 0,4
- Consumos energéticos enquadrados na literatura
- Cristalizador *quasi*-adiabático

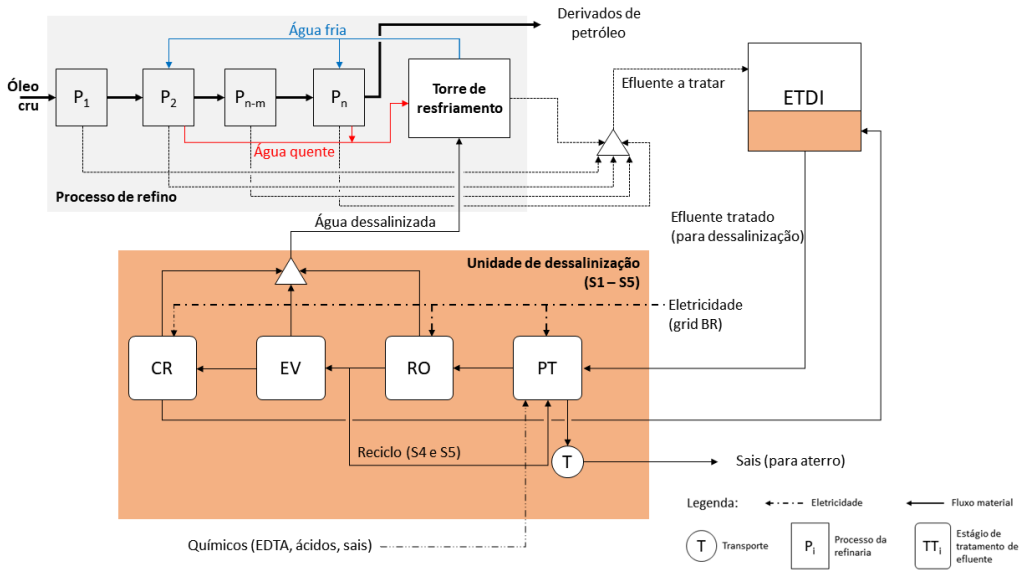
Fluxograma do processo de reúso industrial



Análise Ambiental
ACV – Definição de Escopo

- Fluxo de referência: FR = produção de 1,0 m^3 água para reuso em torre de resfriamento
- Software: SimaPro v. 8.5.2.0 (PRé Consultants)
- Tipos de dados: 2ários
- Categorias de impacto:
  Demanda de Energia Primária (PED), Aquecimento Global (GW), Consumo de Água (WC) e Ecotoxicidade de Água Doce (FEC)

ACV: Sistema de Produto



Análise de Resultados

- Recuperação de água global (Rag): 99,7 (S1) < Rag (%) < 99,9 (S3 e S5);
- Fração de sólidos salmoura (Fss): 1,60 (S1) < Fss (%) < 18,2 (S5)
- Destinação para ETDI e descarte em corpo hídrico

Massa de sais formados no pré-tratamento (kg/250 m^3 efluente a tratar)

Sal	S2	S3	S4	S5
$BaSO_4$	0,11	0,11	0,11	0,12
$CaCO_3$	–	87,2	81,8	88,0
$SrCO_3$	–	0,30	–	–
$Ca_5(OH)(PO_4)_3$	–	5,21	4,87	5,23
$Mg_{48}Si_{32}O_{80}(OH)_{64}$	–	6,15	7,91	8,48
$Mg(OH)_2$	–	–	6,34	15,1
Massa Total	0,11	98,9	101	117

Análise de Resultados

Dados das simulações de RO no software IMS Design
(Balanço de massa)

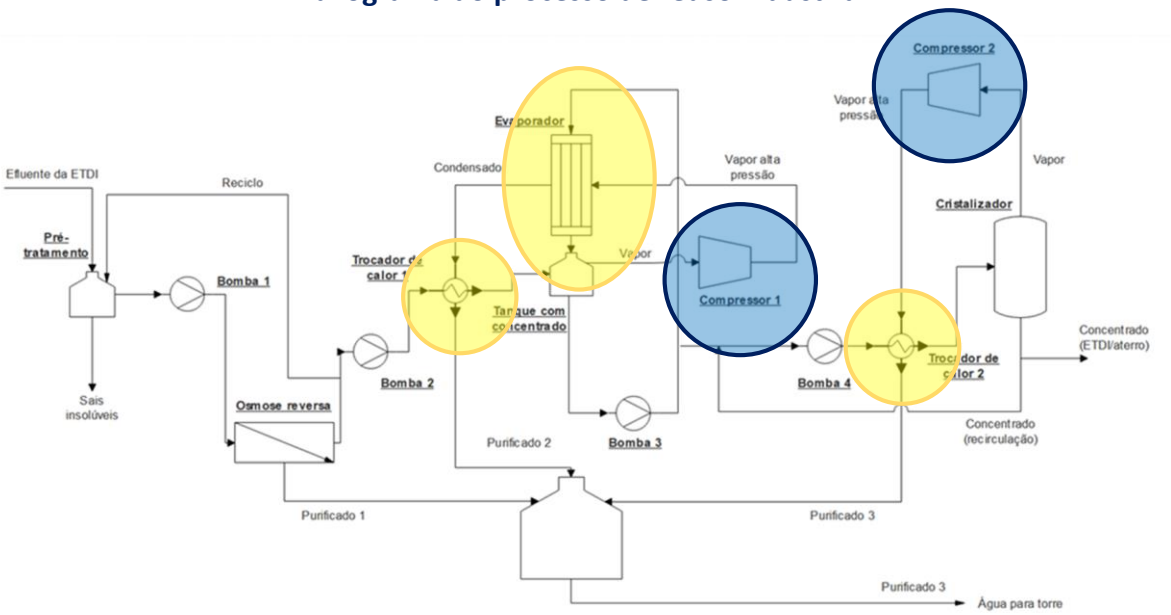
Parâmetro	Unidade	S1	S2	S3	S4	S5
Vazão alimentação	(m^3/h)	250	250	250	251	251
Vazão purificado	(m^3/h)	201	218	237	226	233
TDS purificado	(mg/L)	26,0	42,7	102	85,4	106
Vazão de concentrado	(m^3/h)	48,9	32,4	13,0	25,1	17,6
TDS concentrado	(g/L)	5,74	8,56	15,5	14,6	16,1
Energia consumida	(kWh)	75,7	90,1	165	156	146
Recuperação água	(%)	80,4	87,0	94,8	90,0	93,0

Análise de Resultados

Consumos energéticos em EV e CR
(Balanço de massa)

Parâmetro	Unidade	S1	S2	S3	S4	S5
Consumo compressor 1 (3,0 bar)	(kWh)	1177	767	309	596	418
Consumo compressor 2 (2,2 bar)	(kWh)	1983	1321	528	987	692
Total eletricidade (RO + EV + CR)	**(kWh)**	**3236**	**2179**	**1002**	**1741**	**1256**
Consumo trocador 1	(GJ)	1,56	0,86	0,36	0,70	0,50
Consumo trocador 2	(GJ)	84,8	56,5	22,6	43,5	30,5
Consumo EV	(GJ)	39,2	25,7	10,3	19,9	13,9
Total calor	**(GJ)**	**125**	**83,0**	**33,2**	**64,1**	**44,9**
Sólidos no concentrado	(%)	1,60	6,72	17,4	16,2	18,2

Fluxograma do processo de reúso industrial



Análise de Resultados

Perfil de Impactos Ambientais: S1 a S5

Categoria de impacto	Unidade (/FR)	S1	S2	S3	S4	S5
PED	MJ	61,3	42,1	22,1	38,2	26,9
GW	kg $CO_{2\ eq}$	3,85	2,70	1,58	2,60	2,28
FEC	g 1,4-DB $_{eq}$	363	263	151	298	160
WC	L	16,0	12,7	12,4	21,6	8,80

Análise de Resultados: PED (MJ/FR)

Grid BR (2017)
HY: 64%
NG: 13%
BM: 8.0%
FO: 4,8%
CO: 4,4%

Perfil de Impactos Ambientais: S1 a S5

Categoria de impacto	S1	S2	S3	S4	S5
NRF	17,9	12,4	7,30	12,6	9,58
NRN	3,27	2,27	1,21	2,07	1,38
NRB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RB	5,11	3,50	1,75	3,03	2,04
RSWG	1,85	1,27	0,63	1,08	0,73
RW	33,1	22,7	11,2	19,3	13,2
Total	61,3	42,1	22,1	38,1	26,9
Total eletricidade (RO + EV + CR) (kWh)	3236	2179	1002	1741	1256

Análise de Resultados: PED

- Influência do pré-tratamento: 5,5% ($MgCl_2$ em S4) ↔ 9,3% (HCl em S4)
  Clorados obtidos via eletrólise: 1,0 kg Cl_2: 1,15 – 1,39 kWh

- HNO_3: produzido a partir de NH_3 (reforma a vapor): 1,0 kg NH_3: 0,6 m^3 GN ($NH_3 \approx 9{,}2\%\ PED_{S5}$)

- $Ca(OH)_2 \rightarrow CaO \rightarrow CaCO_3$ (via calcinação): 1,0 kg CaO = 91,4 g OC + 93,8 Wh

Análise de Resultados: GW

Impactos para GW associados a produção de eletricidade (kg CO_{2eq}/FR)

Processo	S1	S2	S3	S4	S5
HY	1,54	1,05	0,52	0,89	0,61
T-GN	0,91	0,62	0,31	0,53	0,36
T-CO	0,57	0,39	0,19	0,33	0,23
T-FO	0,54	0,37	0,18	0,32	0,22
Total	3,56	2,43	1,20	2,07	1,42

Eletricidade participa com 62% (S5) até 93% (S1) nos impactos de GW

Análise de Resultados: GW

Categoria de impacto	Unidade (/FR)	S1	S2	S3	S4	S5
GW	kg $CO_{2\ eq}$	3,85	2,70	1,58	2,60	2,28

Pré-tratamento:

eletricidade para produção do Cl_2 (eletrólise)

HCl: 7,3% (S3)

HCl: 7,8% (S4) + $MgCl_2$: 5,6% (S4)

$Ca(OH)_2$: 6,6% (S4) – 9,0% (S3): calcinação $CaCO_3$: 909 gCO_2/kg CaO

HNO_3: ~ 13% (S5): 8,4 gN_2O/kg HNO_3 (FI = 298 kg $CO_{2,eq}$/kg N_2O)

Análise de Resultados: WC

Categoria de impacto	Unidade (/FR)	S1	S2	S3	S4	S5
WC	L	16,0	12,7	12,4	21,6	8,80

Consumo de água refere-se ao ciclo de vida e não a captação local!

Pré-tratamento:

Produtos clorados: 9,0% (S2) – 35% (S3): 39 < WC (L/kg Cl_2) < 113: resfriamento de equipamento de eletrólise

Produção NH_3: 21% (S5): 140 L/kg NH_3 (Reforma a vapor)

Análise de Resultados: FEC

Impactos associados ao carvão para **geração de eletricidade**: (g 1,4-DB_{eq}/FR)

Aspecto	S1	S2	S3	S4	S5
Rejeito mineração de carvão	133	91,6	45,4	78,2	52,8
Cinzas queima carvão	78,8	54,0	27,3	47,5	31,7
Total	212	146	72,7	126	84,5
Contribuição total de FEC (%)	49,1	44,0	33,0	34,3	37,1
Rejeito beneficiamento Cu	47,2	35,2	18,4	31,8	16,5
Ganga de Ni	22,0	16,5	8,70	15,0	7,70
Total	69,2	51,7	27,1	46,8	24,2
Contribuição total de FEC (%)	16,1	15,6	12,3	12,8	10,6

Impactos associados a infraestrutura **de transmissão eletricidade**: (g 1,4-DB_{eq}/FR)

Análise de Resultados: FEC

Aspecto	S1	S2	S3	S4	S5
Pós-cristalização (disposição final/corpo hídrico)	67,0	9,10	8,40	2,20	4,70
Pré-tratamento (Aterro sanitário)	–	59,1	59,6	61,2	64,3
Total	67,0	68,2	68,0	63,4	69,0

Impactos dos sais destinados à ETDI/corpo hídrico e aterro (g 1,4-DB_{eq}/FR)

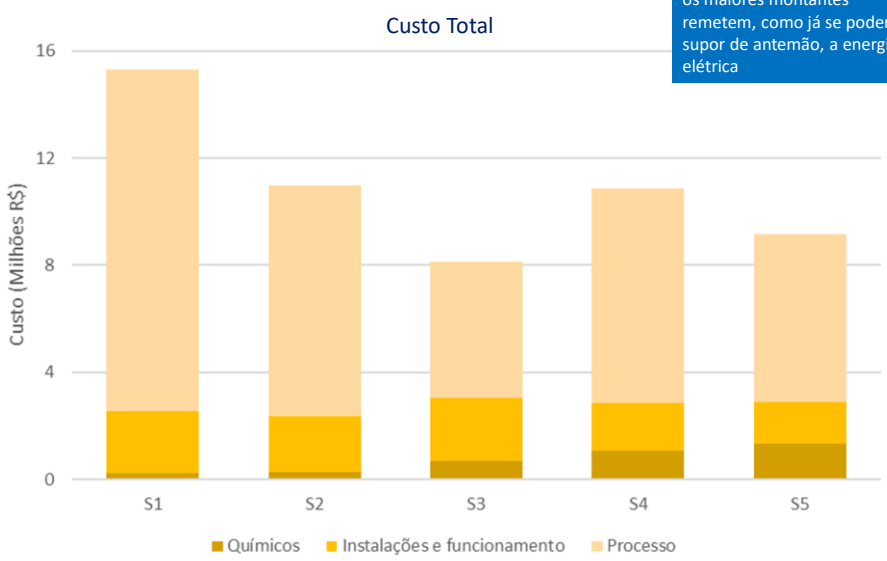
O íon Ba^{2+} é altamente impactante (1 kg Ba^{2+} = 228 kg 1,4-Db_{eq})
S2: 110 g/FR
S1, S3 – S5: > 100 kg/FR (pré-tratamento)

Análise Econômica

- Método de Turton et al. (2009). Aço carbono e pressão atmosférica
- Custos de instalação + operação
- Tempo de vida da unidade: 9,5 anos
- Considerada uma troca de membranas no meio da vida
- Unidade de osmose: base no trabalho de Moreira (2017)

Análise Econômica

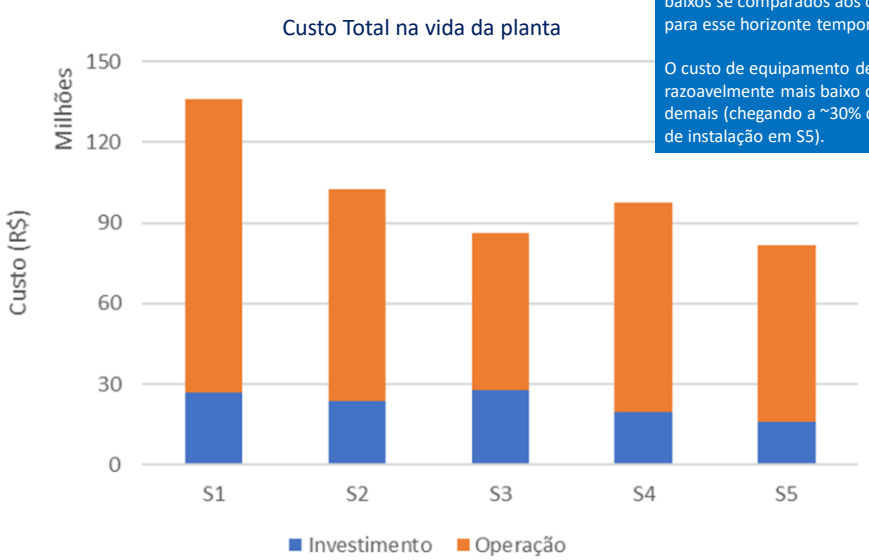
Dentre os custos de processo, os maiores montantes remetem, como já se poderia supor de antemão, a energia elétrica



Análise Econômica

Ou seja, os custos de investimento são baixos se comparados aos de operação para esse horizonte temporal.

O custo de equipamento de RO é razoavelmente mais baixo que os demais (chegando a ~30% do valor total de instalação em S5).



Análise Econômica

Cenário	S1	S2	S3	S4	S5
Custo Total (R$)	136.222.671,06	102.343.577,23	86.385.677,85	97.417.779,97	81.817.274,42
Vazão de água (m^3/h)	249,3	249,5	249,8	249,6	249,8
Preço água de reúso (R$/$m^3$)	**6,56**	**4,93**	**4,16**	**4,69**	**3,94**

Gripp (2014): 3,71 R$/$m^3$ (corrigido 2019) ≈ 80,4 vezes taxa concessionária

Bortolini (2017): 9,22 R$ /m^3 (Itália)

Análise de Ecoeficiência

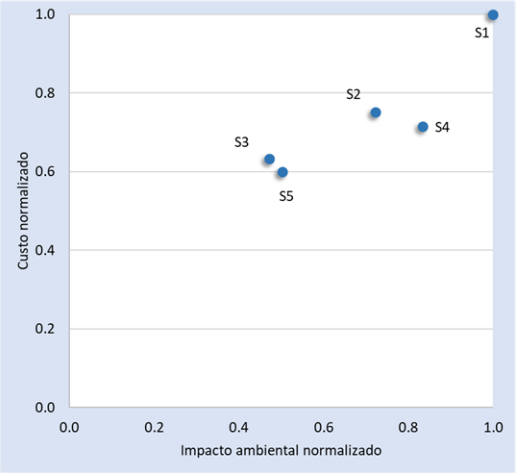
- Adaptação do modelo BASF, no que diz respeito à análise econômica
- Distância da ecoeficiência ideal (DEI):

$$DEI = \sqrt{(CA_N)^2 + (C\$_N)^2}$$

Análise de Ecoeficiência

Categorias	S1	S2	S3	S4	S5
Ambiental-energético					
GW_N	1.00	0.70	0.41	0.68	0.59
WC_N	0.74	0.59	0.58	1.00	0.41
FEC_N	1.00	0.73	0.42	0.82	0.44
PED_N	1.00	0.69	0.36	0.62	0.44
IU_A	3.74	2.70	1.77	3.12	1.88
$IU_{A,N}$	1.00	0.72	0.47	0.83	0.50
Econômico					
$IU_{\$}$	1.00	0.75	0.63	0.71	0.60

Cenário	S1	S2	S3	S4	S5
DEI	1.41	1.04	0.79	1.10	0.78



Conclusões

- Cinco cenários de reuso de água visando o regime de Descarga Zero de Líquidos foram avaliados do ponto de vista ambiental e energético (ambos via ACV), e econômico (Método Turton, 2009)
- Nas condições estudadas, a separação água-soluto foi quase completa. Efluente com fração de sólidos entre 1,6 e 18,2%.
- Influência do consumo de eletricidade é significante para todos os cenários
- Pré-tratamento influenciou nos resultados:
  - Quanto maior o aproveitamento de água na osmose, menor o consumo global de energia
  - Impactos associados à produção dos compostos de pré-tratamento detectados pela ACV
- Custo da água de reuso: R$ 3,94 - R$ 6,56: valores elevados para a realidade brasileira atual, mas que podem ser viáveis dependendo do local em que o sistema de reúso seja aplicado
- S5 e S3 são as opções mais Ecoeficientes. Resultados devem ser considerados em conjunto com outras variáveis (i.e. localização, interesses em água de reuso, e possibilidade de $ em equipamentos)

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

PHA 3513 – Sustentabilidade no Setor Produtivo

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

luiz.kulay@usp.br