



“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

## **Avaliação dos desempenhos energético e ambiental entre antissépticos bucais com distintas propriedades sensoriais de uma planta da América Latina**

LOPES, L. C. <sup>a\*</sup>, KULAY, L. <sup>a</sup>

*a. Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo*

*\*Autor correspondente, lucas.cubas@usp.br*

### **Resumo**

O segmento de higiene pessoal é competitivo e a opinião do consumidor final – que leva em conta percepção sensorial – é um aspecto decisivo para o sucesso de certo produto ou marca. No contexto em questão, a variável ambiental também pode ser como diferencial de mercado. Ciente dessa circunstância, este estudo comparou o desempenho energético e ambiental associado a produções de 1,0 m<sup>3</sup> de dois tipos de antisséptico bucal que cobrem diferentes consumidores por questões organolépticas, mas apresentam mesma função primária. A verificação foi realizada a partir da técnica de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). A análise revelou que o Produto 'A', com base de álcool de cadeia curta, apresenta uma Demanda de Energia Primária (PED) de 77,4 GJ/FR enquanto o Produto 'B', também composto por um álcool, porém com múltiplas hidroxilas, consome 20,3 GJ/FR. Em termos de impactos derivados de emissões, o Produto 'A' voltou a demonstrar pior desempenho do que 'B'. Destacam-se nesse caso os resultados desfavoráveis em termos de Mudanças Climáticas, Ocupação de Solo Agrícola e Depleção de Água. Para todos esses impactos percebeu-se uma contribuição significativa de um fluido inertizante utilizado no processamento do Produto 'A'. Diante dessa constatação variou-se a quantidade consumida deste ativo a título de Análise de Sensibilidade. Como padrão de referência para essa estimativa adotou-se por premissa a equidade dos desempenhos de 'A' e 'B' em termos de Mudanças Climáticas. Para tal condição constatou-se redução da PED associada à produção de 'A' para 38,8 GJ/FR: uma redução de quase 50%. Em outra análise exploratória, procedeu-se a revisão do Balanço de Carbono de ambos os produtos, na qual foram incorporadas taxas de CO<sub>2</sub> sequestrado junto à atmosfera, e a ela reintegrado na forma biogênica. Sob essa ótica o desempenho ambiental de 'A' superou significativamente o de 'B', pois o primeiro consegue fixar mais carbono do que emite. As conclusões obtidas do estudo são úteis em desenvolvimentos futuros que venham a ser empreendidos nos seus sistemas de produto.

*Palavras-chave: higiene pessoal; desempenho ambiental; desempenho energético, ACV, processos químicos.*

### **1. Introdução**

O segmento de higiene pessoal é dinâmico e mostra características próprias, quando comparado a outros setores produtivos. Neste caso em específico, o lançamento e a perpetuação de certa categoria de produtos no mercado são influenciados pela opinião do público consumidor. Assim, critérios específicos como propriedades funcionais e sensoriais do bem de consumo tornam-se determinantes para o estabelecimento de novas formulações. Os processos decisórios de planejamento e desenvolvimento que ocorrem nesse âmbito invariavelmente desconsideram requisitos de ordem ambiental. Por outro lado, o usuário de artigos dessa classe tem solicitado com intensidade crescente

“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

São Paulo – Brazil – May 24<sup>th</sup> to 26<sup>th</sup> - 2017

uma postura responsável e proativa das empresas com relação à preservação do entorno. Tanto isso é verdade que 29% dos brasileiros estão dispostos a decidir suas compras tendo em conta as práticas e os resultados ambientais obtidos pelas corporações (Méndez e Euphrasio, 2016). Dado o contexto, o atendimento dessa reivindicação do consumidor, de buscar obter bom desempenho ambiental, pode trazer vantagens e diferenciais importantes em um cenário que se mostra tradicionalmente competitivo, para as empresas que optarem por enveredar por esse caminho.

A sinergia entre as avaliações de ordem ambiental e desenvolvimento de produto já ocorre em alguns subsetores do segmento de higiene pessoal, como de produtos para puericultura (Weisbrod e Van Hoof, 2012) e de saúde bucal (Narimatsu et al., 2013). Em todos esses casos, foram realizadas análises comparativas, que se fundamentaram em resultados gerados pela técnica de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Weisbrod e Van Hoof (2012) verificaram o progresso dos parâmetros ambientais de produtos em relação ao aumento de desempenho da função primária dentro de um período determinado. Já Narimatsu et al. (2013) identificaram impactos da inclusão de resinas plásticas recicladas na fase de pré-consumo para manufatura de escovas de dente. Ambos os estudos trataram de identificar ganhos ambientais potenciais que seriam gerados em consequência de mudanças realizadas no ciclo produtivo dos objetos de estudo. Seguem no mesmo diapasão, estudos comparativos que possam verificar se alterações efetuadas sobre o processo produtivo de certo bem resultariam em melhoria de desempenho ambiental, expressa na forma de redução do potencial de impactos, quando este é comparado a outro artigo de mesma função. O presente estudo se propôs a dar uma contribuição dentro dessa mesma linha de abordagem ao avaliar, o desempenho ambiental da produção de dois antissépticos bucais que estão disponíveis no mercado nacional. A verificação foi conduzida aplicando-se a ACV com enfoque atribucional e escopo do 'berço-ao-portão'. Os produtos em questão procedem de formulações que divergem entre si, essencialmente, quanto aos solventes utilizados. A principal razão dessa dicotomia está vinculada a distintas percepções organolépticas de nichos heterogêneos de consumidores (Watson, 2014).

Ambos os produtos detêm fatias bem definidas, e expressivas, de mercado e, por isso, antes de indicar uma opção, os resultados obtidos a partir dessa iniciativa servirão para implementar prática de Produção mais Limpa (P + L) em cada arranjo processual, com vistas a reduzir, minimizar, ou eventualmente até, eliminar impactos ambientais que sejam por eles gerados. O caráter comparativo da análise deve portanto ser entendido como artifício didático. Destaque-se por fim que os dois enxaguatórios possuem finalidades antissépticas e efetividades de uso equivalentes (Lynch et al., 2016), bem como, níveis idênticos de segurança para a saúde do consumidor (Boyle, Koechlin e Autier, 2014). O atendimento desses requisitos permite afirmar que tais antissépticos bucais possuem mesma função primária.

Espera-se que os resultados gerados a partir desta iniciativa possam trazer elementos para que os conceitos de P + L sejam considerados em termos de melhoria, e na condição limite, de otimização, da cadeia de produção dos itens de higiene pessoal estudados.

## 2. Produção dos antissépticos bucais

Tendo em vista aspectos de confidencialidade relacionados aos bens de consumo em estudo, bem como, a seus processamentos, estes cosméticos passarão a ser denominados *Produto 'A'* e *Produto 'B'*. Em linhas gerais, as cadeias de produção específicas da planta fabril avaliada nesse estudo compreendem quatro estágios de transformação, quais sejam: (i) síntese de matérias-primas, insumos e embalagens; (ii) manufatura dos antissépticos em si; (iii) envase; e (iv) operações de transporte. A diferença entre ambos reside na formulação. Enquanto o Produto 'A' faz uso de um álcool de cadeia curta como um desses veículos, a mesma função será cumprida, também por um álcool, que contem, no entanto, múltiplos grupos hidroxila no Produto 'B'. As composições dos produtos são completadas por ativos antissépticos, estabilizantes e edulcorantes, além de água purificada como solvente.

A manufatura dos enxaguatórios no local avaliado ocorre em reatores dotados de agitação. O Produto 'A' possui um processo adicional de utilidades, que é a inertização dos tanques. Tal operação utiliza fluido inertizante, cuja função é evitar a combustão do álcool nas unidades reacionais e assim, preservar a integridade física dessas instalações. O Produto 'B' também predispõe especificidades de manufatura, como o aquecimento indireto do fluido até temperaturas entre 60 e 95°C realizado com



biomass (NRB), Renewable, biomass (RB), Renewable, wind, solar, geothermal (RWSG), e Renewable, water (RWA) para aferição das Demandas de Energia Primária (PED) de ambos os produtos. O segundo nível considerou impactos derivados de emissões, cujas magnitudes foram aferidas pelo método ReCiPe – Midpoint v1.12 (Goedkoop et al., 2013), para Mudanças Climáticas (CC), Acidificação (TA), Formações de Foto-oxidantes (POF), Consumo de Energia Fóssil (FEC), Ocupação de Solo Agrícola (ALO) e Depleção de Água (WD).

Aparte das premissas gerais, definiram-se também condicionantes específicos para caracterização do modelo de sistema de produto. Estas aparecem listadas a seguir:

- O caráter edulcorante dos antissépticos foi unicamente simulado por glicerina de origem vegetal;
- Não foram consideradas para efeito de análise de desempenho cargas ambientais associadas aos processos de transformação das resinas plásticas nas embalagens dos produtos;
- Os transportes que ocorrem em ambos os sistemas de produto foram determinados em função de distâncias reais. Quando havia mais do que uma possibilidade de deslocamento do mesmo ativo, ou matéria-prima suas quantidades foram estimadas pelo critério econômico;
- Foram desprezadas perdas de matérias-primas e insumos durante a fase dos transportes;
- Assumiu-se que a estação de tratamento de efluentes possui 95% de eficiência de remoção de sólidos dissolvidos – expressos em termos das demandas química e biológica de oxigênio (DBO e DQO) gerados na fase de produção dos antissépticos;
- Admitiu-se que água para limpeza e sanitização de equipamentos e unidades de processo não conteria qualquer grau de contaminação ao ser descartada, devido à característica reológica dos produtos que favorece essa premissa.

## 4. Resultados e discussão

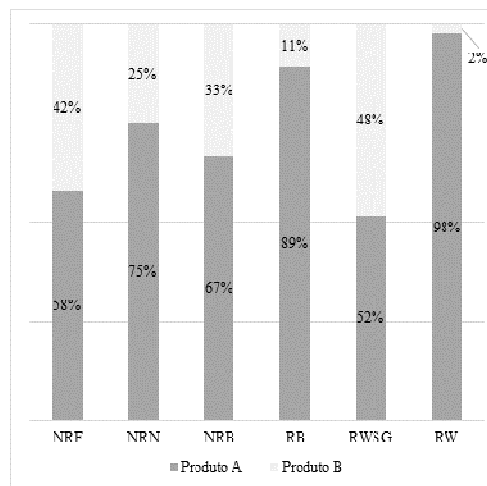
### 4.1 Análise energética

A Tabela 1 descreve os perfis de desempenho, em termos de PED, das produções dos enxaguatórios bucais analisados neste estudo. Já a Figura 2 traz, para cada categoria analisada por aquele método, as contribuições relativas das manufaturas dos Produtos 'A' e 'B'.

**Tab. 1.** Perfil energético dos Produtos de 'A' e 'B'

Categoria de impacto	Unidade	Produto 'A'	Produto 'B'
NRF	GJ	20,7	15,0
NRN	GJ	3,02	1,00
NRB	GJ	4,86E-02	2,43E-02
RB	GJ	30,5	3,67
RWSG	GJ	5,64E-02	5,27E-02
RW	GJ	23,1	5,19E-01
<b>Total</b>	<b>GJ</b>	<b>77,4</b>	<b>20,3</b>

**Fig. 2.** Valores relativos Produtos 'A' e 'B'



Com relação ao Produto 'A', as contribuições mais significantes ocorrem em termos de NRF, RB e RW: 27%, 39% e 30% do total desses impactos. A demanda de eletricidade aparece como principal fonte de PED da obtenção do bem de consumo (28,0 GJ/FR). Deste total, 27,6 GJ/FR remetem à fabricação

do fluido utilizado para inertizar os reatores durante a manufatura do enxaguante. Apenas a produção do fluido (9,05 t/FR) consome 43,8 GJ/FR de energia, que representam 57% do total de PED do referido antisséptico. Outra evidência de que o processamento do inertizante é decisivo para a demanda de energia primária global de está em sua contribuição para RW (22,6 GJ/FR), que perfaz 98% do total de impacto da categoria. Como citado anteriormente, o uso do inertizante busca auxiliar o sistema de segurança da planta em preservar a integridade física da instalação e do grupo operacional.

Para NRF os aportes ocorrem a partir das extrações de gás natural (GN) e petróleo (RO). A geração de eletricidade apresenta as principais contribuições (169 m<sup>3</sup>GN/FR e 73,3 kg RO /FR). Seguem-se a esses o processamento de p-xileno (C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>) (30 m<sup>3</sup>GN/FR e 35,4 kg RO/FR), insumo essencial à produção da resina PET que será conformada para formação das embalagens que acondicionam os Produtos 'A' e 'B'. Produção de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> predispõe também consumos de GN e RO (5,79 m<sup>3</sup>/FR e 9,36 kg/FR). O C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> é empregado na obtenção de etilenoglicol também usado para produzir PET. Há também um consumo expressivo de RO na produção de diesel (23,1 kg/FR) para transportes de matérias-primas e insumos.

O impacto total de RB está associado à energia intrínseca existente na biomassa de cana-de-açúcar (23,2 GJ/FR) e de soja (6,48 GJ/FR). Da parcela referente à cana, 16,1 GJ/FR decorrem da produção de álcool de cadeia curta utilizado na formulação. O restante procede da biomassa (bagaço) que compõem o grid elétrico brasileiro (grid BR), cuja participação em 2014 foi de 7,30% (EPE, 2015). O resultado verificado em termos de RW decorre de energia hidroelétrica procedente do grid BR. Em 2014 essa fonte respondeu por 65,2% do suprimento interno nacional, já considerando a fração importada do Paraguai (EPE, 2015).

Para o Produto 'B' os principais aportes quanto a PED remetem a NRF e RB (74% e 18%) do total obtido. Em termos de NRF esses se concentram, mais uma vez, nas depleções de GN e RO, que ocorrem durante o processamento de propeno (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>) (31,9 m<sup>3</sup>GN/FR e 51,7kg RO/FR), insumo essencial na síntese de óxido de propileno (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O) que, de sua parte serve à fabricação de propilenoglicol (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>). Outra fonte de consumos reside na obtenção de C<sub>8</sub>H<sub>10</sub> (29 m<sup>3</sup>GN/FR e 34,3 kgRO/FR). Cerca de 89% dos impactos gerados pelo Produto B na forma de RB procedem da biomassa associada à soja (3,27 GJ/FR).

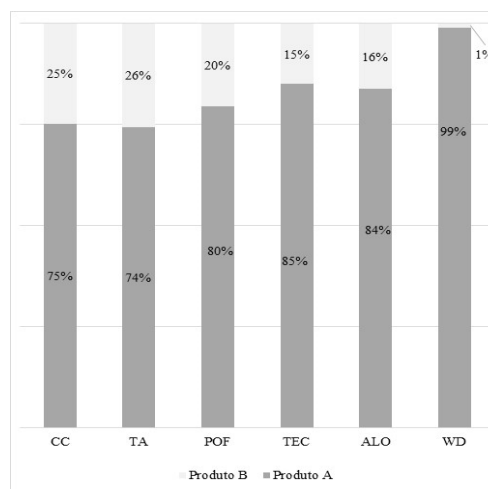
#### 4.2 Análise ambiental

O Produto 'B' mostrou melhor desempenho ambiental que seu homólogo (Produto 'A') nas seis categorias de impacto analisadas pelo método ReCiPe. Esses desempenhos estão descritos a seguir tanto em termos absolutos (Tabela 2), como relativos entre os produtos em análise (Figura 3).

**Tab.2.** Perfil ambiental das produções de 'A' e 'B'

Categoria de impacto	Unidade	Produto 'A'	Produto 'B'
CC	kg CO <sub>2</sub> eq	2271	751
TA	kg SO <sub>2</sub> eq	9,62	3,31
POF	kg NMVOC	10,8	2,79
TEC	kg 1,4-DB eq	5,54	9,77E-01
ALO	m <sup>2</sup> a	1851	359
WD	m <sup>3</sup>	2020	21,5

**Fig. 3.** Contribuições relativas entre 'A' e 'B'



Destaca-se nesse caso a influência da cadeia produtiva do C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>, em particular, no tocante às

produções de  $C_3H_6$  e  $C_3H_6O$ . Os impactos decorrentes de emissões do Produto 'A' sofreram influência de dois fatores. O primeiro fator foi destacado antes e remete ao consumo elétrico da produção de fluido inertizante para os reatores de processo. O segundo fator está associado à origem do álcool que integra a composição do Produto 'A'. Por proceder de cana-de-açúcar, a matéria-prima gera impactos ambientais significantes em termos de CC, TA, TEC, ALO e WD, que são derivados das circunstâncias em que o processamento agrícola ocorre.

Os principais precursores de CC para o Produto 'A' são emissões para o ar de dióxido de carbono fóssil ( $CO_{2f}$ ) e de mudança do solo ( $CO_{2LT}$ ), com contribuições de 48% e 26%; metano biogênico ( $CH_{4b}$ : 12%), e óxido de dinitrogênio ( $N_2O$ : 9,9%). Em termos de  $CO_{2f}$ , destacam-se as perdas ocorridas na geração de eletricidade (termoelétricas movidas a gás natural, óleo combustível e carvão: 305 kg/FR, 206 kg/FR e 125 kg/FR), nos transportes de  $C_2H_6O$ ,  $C_3H_8O_3$ , fluido inertizante e PET (41,9 kg/FR) e na produção de  $C_8H_{10}$  (48,7 kg/FR). Os lançamentos de  $CO_{2LT}$  decorrem de emanções dos lagos de sistemas hidrelétricos (572 kg/FU), assim como aqueles referentes a  $CH_{4b}$  (10,8 kg/FR). O transporte de energia a alta tensão ioniza o ar gerando  $N_2O$  (388 kg/FR). Além dessa fonte, o precursor é produzido também da desnitrificação de fertilizantes nos cultivos de soja e cana (212 e 68,6 kg/FR).

Impactos na forma de TA ocorrem essencialmente a partir de emissões de dióxido de enxofre ( $SO_{2(g)}$ : 52%), amônia ( $NH_{3(g)}$ : 27%) e óxidos de nitrogênio ( $NO_{x(g)}$ : 21%). O  $SO_{2(g)}$  procede também da produção de energia termoelétrica (gás natural: 972 g/FR; óleo: 1,56 kg/FR; e carvão: 559 g/FR) e da manufatura de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ : 194 g/FR) usado para ajuste de pH na fermentação alcoólica para produção de  $C_2H_6O$ . A geração de eletricidade responde por perdas de  $NO_x$  (gás natural: 206 g/FR; óleo: 643 g/FR; carvão: 227 g/FR; além de biomassa: 444 g/FR). A ela se somam emissões devidas a queima de bagaço de cana (524 g/FR) e a transportes (112 g/FR).  $NH_3$  procede de desnitrificação de fertilizantes no cultivo de cana-de-açúcar (810 g/FR).

As contribuições para POF decorrem de perdas de monóxido de carbono biogênico ( $CO_b$ : 48%), também de  $NO_x$  (33%), e de compostos orgânicos voláteis não-metânico (NMVOC: 6,3%). As emissões de  $CO_b$  originam-se da queima de palha de cana-de-açúcar. Para essa análise admitiu-se que 10% da colheita de cana ocorresse pela via manual para a qual a queimada é prática regular (ÚNICA, 2015). Por fim, as emissões de NMVOC remetem à dessulfurização e transporte de gás natural (103 g/FR), queima de carvão para geração de eletricidade (157 g/FR) e produção de  $C_8H_{10}$  (72,7 g/FR).

Os agroquímicos consumidos nos cultivos de cana-de-açúcar e de soja respondem pela quase totalidade dos impactos de TEC. Quando somadas, as perdas para o solo de atrazina (6,84 g/FR), carbofuran (30,0 g/FR), fipronil (3,50 g/FR), diuron (5,78 g/FR), linuron (5,38g/FR) registram 68% desses impactos. Já nos cultivos de soja, as emissões de 2,4-D (93,2 g/FR), Diflubenzuron (67 g/FR) e monocrotophos (8,19 g/FR) detêm as principais contribuições para a categoria (29%).

Como não poderia deixar de ser, as produções de insumos agrícolas, a partir dos quais são gerados ativos da formulação do Produto 'A', também representam os principais precursores para ALO. O cultivo de soja, cuja produtividade média foi estimada em 2,46 t/ha em regime de cultivo anual (Sugawara, 2012), contribuiu com 655m<sup>2</sup>a; já ao processamento de cana foram atribuídos 516 m<sup>2</sup>a em função de sua produtividade média (70t/ha para o estado de São Paulo) e ciclo de cultivo semiperene (CONAB, 2015). A produção do fluido inertizante acumula 87% dos impactos de WD. Isso ocorre em função da reposição de água das torres de resfriamento existentes no processo que operam sob recirculação aberta. Somam-se a esses, consumos de água para geração de hidroeletricidade (8,1%).

No caso do Produto 'B' os impactos em termos de CC se originam de emissões de  $CO_{2f}$  (81%),  $CH_{4f}$  (9,4%) e  $N_2O$  (5,4%). O  $CO_{2f}$  é emitido durante o processamento de  $C_8H_{10}$  (55,7 kg/FR), na produção de  $C_3H_6$  (47,7 kg/FR), e nos transportes (35 kg/FR) para distribuição de  $C_3H_8O_2$ , glicerol ( $C_3H_8O_3$ ), PET e PP. As principais perdas aéreas de  $CH_{4f}$  estão associadas as manufaturas também de  $C_3H_6$  e de  $C_8H_{10}$  (471 e 547 g/FR). No caso do  $N_2O$ , estas remetem ao cultivo de soja (107 g/FR) sendo resultantes da desnitrificação de adubos nitrogenados.

Os impactos em termos de TA procedem em 73% de emissões de  $SO_2$ , e outros 26% de lançamentos de  $NO_x$ . O  $SO_2$  é emanado da queima de carvão (803 g/FR) para produção de eletricidade, e das sínteses de  $C_3H_6$  (99g/FR) e  $C_8H_{10}$  (119 g/FR). As emissões de  $NO_x$  procedem rigorosamente das

mesmas fontes que emitem SO<sub>2</sub>. Nesse caso, porém, tais contribuições totalizam, 365 g/FR, 90,3 g/FR e 100 g/FR. Complementarmente a isso, destacam-se ainda perdas de óxidos nitrogenados que ocorrem, mais uma vez, por conta de transportes de C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>, PET e PP desde os centros produtores, até a unidade de produção do Produto 'B'.

Assim como ocorre com o Produto 'A', também no caso presente os lançamentos de NO<sub>x</sub> e NMVOCs são importantes precursores de POF. Às suas participações (55% e 15% do total de impactos da categoria se somam também emissões de hexano (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>: 10%), C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> (7,5%) e SO<sub>x</sub> (7,0%). As perdas de NMVOC se concentram na produção de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (36,6g/FR), C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> (114 g/FR), PP (44,5 g/FR) e C<sub>8</sub>H<sub>10</sub> (98,1 g/FR). O C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> é solvente de uso regular na extração de óleo de soja. Suas perdas atmosféricas são originárias de evaporação durante este processo, e montaram, para o caso presente, 342 g/FR.

Os impactos provocados pela produção do Produto 'B' em termos de TEC originam-se, tal como para seu homólogo, de perdas de agroquímicos para o solo, além de emissão de cloro (Cl) para o ar. Os defensivos que atuam no cultivo da soja, foram os principais contribuintes para a categoria (85%). Esses aportes remetem a disposições no ambiente de 2,4-D (47,1 g/FR), Diflubenzuron (33,8 g/FR) e monocrotophos (41,3 g/FR). Já as emissões de Cl<sub>2(g)</sub> (184 g/FR) representaram 8,6% dos impactos e ocorrem durante o processamento de óxido de propileno. A rota mais frequentemente empregada na síntese de C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O consiste do ataque de C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> por Cl<sub>2(g)</sub> em presença de soda (NaOH) situação em que, invariavelmente, ocorre liberações atmosféricas de cloro.

Como seria possível supor de antemão, a produção de soja responde pelas principais contribuições para ALO (92%) com aporte de 329 m<sup>2</sup>a. Por fim, diferentemente do que ocorre com seu homólogo, o perfil de impacto em termos de WD para o Produto 'B' é bastante diversificado em termos de contribuições. Também aqui destacam-se atividades industriais na forma de consumos hídricos que ocorrem durante as produções de Cl<sub>2(g)</sub> (9,6% do total de WD); NaOH (8,6%); O<sub>2(l)</sub> (6,0%); C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O (5,7%); C<sub>8</sub>H<sub>10</sub> (5,6%); C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub> (3,9%) e tratamento de água (7,5%). Para o Produto 'B' a geração hidroelétrica de energia traz ainda um impacto para WD de 8,9%.

#### 4.3 Balanço de carbono

Os resultados apresentados para a categoria de impacto Mudanças Climáticas estão vinculados a uma decisão metodológica de ignorar as porções relacionadas à fixação de gás carbônico (CO<sub>2,fix</sub>) e as emissões desse mesmo gás advindos de fontes renováveis (CO<sub>2,b</sub>). Para uma avaliação mais detalhada, realizou-se uma nova análise de CC com enfoque 'berço-ao-portão' para os Produtos 'A' e 'B'. Esse ajuste é chamado de Balanço de Carbono (CC<sub>BalCarb</sub>). O novo estudo para a quantificação de CC levou em consideração os fatores de impacto (IF) na forma IF<sub>fix</sub> = (-) 1.00 kg CO<sub>2 eq</sub>/kgCO<sub>2,fix</sub> e IF<sub>b</sub> = 1,00 kg CO<sub>2eq</sub>/kgCO<sub>2,b</sub>.

O cálculo é sustentado por três premissas: (i) como parte do modelo ReCiPe, a metodologia usa CO<sub>2</sub> como substância-padrão sobre a categoria CC (IPCC, 2006). Por esse motivo, os fatores de impacto são unitários; (ii) as porções CO<sub>2,fix</sub> e CO<sub>2,b</sub> estão associadas a uma mesma substância química. Por esse motivo, assume-se que IF<sub>b</sub> = (-) IF<sub>fix</sub>; (iii) A referência para quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> é o meio ambiente e, portanto, a fixação de determinada quantidade do gás permitiu o uso do sinal negativo no fator de impacto. A Tabela 3 apresenta os cálculos que sustentam o balanço de carbono para os produtos do estudo.

**Tab. 3.** Balanço de Carbono – Ajuste de Mudança Climática (CC<sub>BalCarb</sub>) para os antissépticos A e B

Contribuições para o impacto CC	Unidade	Produto A	Produto B
CC (ReCiPe)	kg CO <sub>2 eq</sub>	2271	751
CO <sub>2,b</sub>	kg CO <sub>2 eq</sub>	1656	24,0
CO <sub>2,fix</sub>	kg CO <sub>2 eq</sub>	(-) 2677	(-) 248
Categoria CC ajustada (CC <sub>BalCarb</sub> )	kg CO <sub>2 eq</sub>	1250	527

Observa-se que a incorporação da taxa de CO<sub>2,fix</sub> ao CC<sub>BalCarb</sub> do Produto 'A' resulta em melhoria para seu desempenho nessa categoria devido à fonte renovável do álcool de cadeia curta (cana-de-açúcar), que faz parte do conjunto de solventes da formulação. O Produto 'A' fixa CO<sub>2</sub> no produto e isso leva a

um desempenho melhor do que aquele calculado pelo IPCC (2006), enfoque este, praticado para análises de CC no método ReCiPe. Embora a diferença diminua com o ajuste de CC, o Produto 'A' segue ainda demonstrando impactos mais expressivos em termos de CC do que o Produto 'B'.

## 5. Análise de sensibilidade da inertização – Produto A

O perfil de impactos ambiental de 'A' indicou ser o fluido inertizante uma das principais fontes de efeitos adversos daquele antisséptico. Portanto, um passo inicial da fase de diagnósticos da cadeia produtiva do Produto 'A' compreende a realização de uma Análise de Sensibilidade do uso daquele material. Tal avaliação se baseou nas seguintes premissas: (i) o perfil ambiental do Produto 'B' figurou como referência de desempenho ambiental. A quantidade de gás inertizante a ser adicionado aos reatores de produção de 'A' será tal que o desempenho global desse produto em termos de CC seja igual àquele alcançado pelo Produto B (751 kg CO<sub>2</sub> eq/FR). O valor encontrado nesse caso é de 12,5% da massa total de agente inertizante usada inicialmente no processamento de Produto A; (ii) nenhuma alteração foi feita no modelo criado para o Produto 'B'; e, (iii) as bases, premissas e demais aspectos de modelagem usados na fase de diagnóstico inicial foram mantidas nesta segunda etapa.

### 5.1 Análise energética

A Tabela 4 descreve os perfis de PED das produções dos enxaguatórios bucais analisadas neste estudo. Adicionou-se a avaliação de cenário de redução para 12,5% no uso de fluido inertizante relacionado ao Produto A.

**Tab. 4.** Perfil energético das produções de 'B' e 'A' (diferentes simulações para inertização de 'A')

Cenários simulados:			I	II
Quantidade de fluido inertizante no Produto A (% m/m):			100%	12,5%
Categoria de impacto	Unidade	Produto B	Produto A	Produto A
NRF	GJ	15,0	20,7	10,4
NRN	GJ	1,00	3,02	7,31E-02
NRB	GJ	2,43E-02	4,86E-02	4,81E-02
RB	GJ	3,67	30,5	24,4
RWSG	GJ	5,27E-02	5,64E-02	2,00E-02
RW	GJ	5,19E-01	23,1	3,21
Total	GJ	20,3	77,4	38,8

Em termos de consumo de recursos nota-se grande redução de valores em NRF e RW. No cenário de uso de 12,5% do fluido inertizante sobre o processamento do Produto 'A' (cenário II), há 49,7% de queda da demanda de energia em uma comparação do cenário de uso de 100% do mesmo gás (cenário I). Além, observa-se que a redução para 12,5% do gás inertizante no Produto A (10,4 GJ/FR) apresenta menor valor do que o Produto 'B' (15,0 GJ/FR) usado como referência.

Para RW, a relação entre o uso do fluido inertizante e o impacto da categoria é estreita. Após simulação do cenário II, nota-se que a demanda de energia de RW é reduzida em 86,1% frente ao cenário I. Em relação ao Produto 'B', embora a redução de RW do enxaguatório 'A' seja significativa, observa-se que uma redução de consumo do gás inertizante para 12,5% do valor original ainda não o coloca no patamar de impacto de RW do Produto 'B'. Dessa forma, a busca por soluções além de mudanças na cadeia do fluido inertizante é importante para avaliações futuras do sistema do Produto 'A'.

No caso de RB, o grau de dependência entre a etapa de inertização dos tanques de fabricação do Produto 'A' não se mostra elevado. Mesmo com a redução tratada pelo cenário II, RB apresenta baixo nível de queda (20,1%) em relação a mesma categoria no cenário I. Além disso, o Produto 'A' do cenário II apresenta alto valor dessa categoria sobre o Produto 'B' (86,9% da contribuição), ao somar as demandas de RB dos dois antissépticos. O impacto total de RB está associado à energia existente na biomassa de cana-de-açúcar presente em 'A'. Portanto, diagnósticos além do aumento de eficiência da cadeia do gás inertizante devem ser realizados para que a contribuição de RB para o PED do Produto 'A' atinja os menores valores possíveis de impacto.



### 5.2 Análise ambiental

A Tabela 5 descreve os perfis de desempenho ambiental das produções dos enxaguatórios bucais analisados neste estudo. Incluiu-se também nesse caso a análise de redução para 12,5% do uso de fluido inertizante relacionado à manufatura de 'A'.

Em relação a WD, a queda dos valores é significativa para o Produto 'A'. Na comparação entre o cenário II e a situação padrão de produção de 'A' (cenário I), há redução de 84%. Note-se, porém, que o cenário II ainda apresenta resultado superior ao de 'B' usado como referência na análise.

**Tab. 5.** Perfil ambiental das produções de B e A (diferentes simulações para inertização de A)

Cenários simulados:			I	II
Quantidade de fluido inertizante em uso no Produto A (% <sub>v</sub> , m/m):			100%	12,5%
Categoria de impacto	Unidade	Produto B	Produto A	Produto A
CC	kg CO <sub>2</sub> eq	751	2271	751
TA	kg SO <sub>2</sub> eq	3,31	9,62	5,07
POF	kg NMVOC	2,79	10,8	7,72
TEC	kg 1,4-DB eq	9,77E-01	5,54	3,55
ALO	m <sup>2</sup> a	359	1851	1220
WD	m <sup>3</sup>	21,5	2020	319
PED	GJ	20,3	77,4	38,8

### 5.3 Análise de Sensibilidade com dados de Balanço de Carbono

As mesmas premissas apresentadas no item 4.2 desse artigo foram usadas para ajustar a categoria CC. Portanto, a Tabela 6 apresenta valores detalhados do Balanço de Carbono do Produto 'B', e dos dois cenários apresentados para 'A' com os números ajustados da categoria (CC<sub>BalCarb</sub>).

**Tab. 6.** Perfil ambiental das produções de 'B' e 'A' (com diferentes simulações para inertização de 'A')

Cenários simulados:			I	II
Quantidade de fluido inertizante em uso no Produto A (% <sub>v</sub> , m/m):			100%	12,5%
Categoria de impacto	Unidade	Produto B	Produto A	Produto A
CC (ReCiPe)	kg CO <sub>2</sub> eq	751	2271	751
CO <sub>2,b</sub>	kg CO <sub>2</sub> eq	24,0	1656	1146
CO <sub>2,fix</sub>	kg CO <sub>2</sub> eq	(-) 248	(-) 2677	(-) 2112
CC <sub>BalCarb</sub>	kg CO <sub>2</sub> eq	527	1250	(-) 219

Nota-se que o valor de CC<sub>BalCarb</sub> do Produto 'A' consegue fixar mais carbono do que emite, ambos na forma de CO<sub>2</sub>, para o ambiente no cenário de redução para 12,5% do total de fluido inertizante aplicado no cenário I. Dessa forma, com o balanço de carbono, essa categoria apresenta resultados melhores para o antisséptico 'A' do que para 'B'.

## 6. Conclusões

Este estudo comparou, por meio da ACV, o desempenho ambiental da produção de dois antissépticos bucais, sendo o primeiro deles de base alcoólica com cadeia curta ('A'), e o outro, elaborado a partir de álcool com múltiplos grupos hidroxila ('B'). A análise verificou impactos ambientais em termos de PED e derivados de emissões. A necessidade de fazer uso de um fluido inertizante como recurso acessório à obtenção do Produto 'A' resulta não apenas na principal fonte de PED daquele bem de consumo, mas também, em aumento, da ordem de quase quatro vezes seu desempenho no âmbito energético, com relação ao do Produto 'B'. Em termos de impactos procedentes de emissões, o Produto 'A' mostrou novamente menor desempenho que o antisséptico B, nesse caso, nas seis categorias de impacto analisadas. Isso deveu-se em síntese, a dois fatores: (i) o consumo elétrico associado à produção do fluido inertizante; e (ii) a origem renovável do álcool que integra a composição do cosmético que resulta em efeitos adversos significantes em termos de CC, TA, TEC, ALO e WD.

Dada a expressividade da participação do gás inertizante nas diversas categorias de impacto de 'A', realizou-se uma análise de sensibilidade para verificar o efeito da redução desse ativo sobre o

desempenho global do processo. Notou-se que o aumento de eficiência na extração e uso do fluido inertizante pode resultar em melhorias significativas nos perfis energético e ambiental do Produto 'A' em NRF e RW, que são categorias do CED, além de WD, mensurada pelo método ReCiPe. Ademais, a revisão dos impactos de CC em função do ajuste do Balanço de Carbono do Produto 'A' (cenário II) revelou taxas de fixação do CO<sub>2</sub> bem superiores à de emissão. Essa condição fez com que 'A' supera 'B' em termos de menor impacto na categoria CC. Logo, o antisséptico com álcool de cadeia curta mostra potencial melhoria no desempenho ambiental em relação ao Produto 'B', na perspectiva de 'Mudanças Climáticas'.

Vale ressaltar que não se pode perder de vista que todas as normas de segurança operacional devem ser respeitadas para que a otimização de processamento e uso do sistema de inertização sejam eficazes. Esse requisito deve ser ostensivamente observado em fase posterior à de diagnóstico, que constasse de um plano hipotético de implementação de melhorias na mesma unidade. Essa ação teria a função de confrontar o desempenho ambiental do ciclo produtivo em análise com requisitos inerentes à segurança do processo, na busca por estabelecer o risco aceitável a que a instalação passaria a estar sujeita. Enfim, espera-se que o mapeamento realizado dos ambientais dos antissépticos e futuros diagnósticos mais detalhados possam estruturar posteriores desenvolvimentos de Produção mais Limpas nas cadeias produtivas dos Produtos 'A' e 'B'.

## 7. Referências

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009. NBR ISO 14044:2009: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações, 46 p.
- Boyle, P., Koechlin, A., Autier, P., 2014. Mouth use and the prevention of plaque, gingivitis and caries. *Oral Diseases*, 20, n.1, 76p.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil), 2015. Séries Históricas de Área Plantada, Produtividade e Produção, Relativas às Safras 2005/06 a 2014/15 de Cana-de-Açúcar. CONAB <http://www.conab.gov.br> acessado em Maio/2016.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética (Brasil), 2015. Balanço Energético Nacional 2015: Ano Base 2014. Rio de Janeiro, 288 p.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., Hischer, R., Hellweg, S., Humbert, S., Köllner, T., Loerincik, Y., Margni, M. Nemecek, T., 2007. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods: Data v2.0. Ecoinvent report No. 3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland.
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., van Zelm, R., 2013. ReCiPe main report. Life Cycle Impact Assessment <http://www.lcia-recipe.net/file-cabinet> acessado em Maio/2016
- Lynch, M., Cortelli, S.C., Revankar, R., McGuire, J.A., Mordas, C.J., Pelino, J.E., Ricci-Nittel, D., Zhang, J., Aquino, D.R., Cortelli, J.R., 2016. Antiplaque/Antigingivitis Efficacy of Two Essential Oil-containing Mouthrinses: 6-month Study. *International Association for Dental Research*, Control ID 2473814.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006. In: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2, IGES, Kanagawa.
- Méndez, G., Euphrasio, A., 2016. Brasil 17 Tendências de consumo 2017. Mintel, Brasil, pp. 13-15.
- Narimatsu, A., Puglieri, F., Rangel, F., Ometto, A.R., 2013. Eco Reach Essencial Johnson&Johnson® toothbrush: an LCA study case application to analyze different materials in handle design. 20th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Singapore, 2013, pp. 549-552.
- Sugawara, E.T., 2012. Comparação dos desempenhos ambientais do B5 etílico de soja e de óleo diesel, por meio da avaliação do ciclo de vida (ACV). Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 240 p.
- Weisbrod, A.V., Van Hoof, G., 2012. LCA-measured environmental improvements in Pampers® diapers. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 17, n.2, pp.145–153.
- Watson, K., 2014. Com 15% dos dentistas do mundo, Brasil tem mercado milionário do sorriso. BBC Brasil [http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/12/141217\\_sorriso\\_fd](http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/12/141217_sorriso_fd) acessado em Julho/2016.