

## ÍNDICE DIFUSO DE VALOR ADICIONAL SUSTENTÁVEL PARA AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE RECICLAGEM DE ALUMÍNIO

Área temática: Gestão Ambiental e Sustentabilidade

**Pedro Paulo Silveira Felicissimo**

[felicissimotrader@yahoo.com.br](mailto:felicissimotrader@yahoo.com.br)

**Luiz Gavião**

[luiz.gaviao67@gmail.com](mailto:luiz.gaviao67@gmail.com)

**Gilson Brito Alves Lima**

[gilson@latec.uff.br](mailto:gilson@latec.uff.br)

**Resumo:** *O artigo apresenta uma avaliação das dimensões estratégicas para proposição de um índice de valor adicional sustentável na avaliação de projetos de reciclagem de alumínio. Com este objetivo, utilizou-se de metodologias do tipo qualitativa com revisão da literatura sobre os modelos, dimensões e indicadores de sustentabilidade mais utilizados pelo setor empresarial, aplicando-se posteriormente a pesquisa quantitativa, a partir das análises dos relatórios de sustentabilidade e das práticas reais de mercado de reciclagem de alumínio. O método difuso complementa a pesquisa na observação e comprovação dos comportamentos dos indicadores ambientais, econômicos, sociais e normativos, frente às adições crescentes de conteúdo reciclado no produto final. As conclusões da aplicação dos métodos qualitativo, quantitativo e difuso, sinalizam um papel preponderante da dinâmica social do modelo para a adição de valor sustentável final na utilização e conteúdo reciclado pelo setor. O acréscimo de uma dimensão normativa ao modelo proposto, realizado pela adequação as normas ISO 14040-14044 que regulamenta as ACV e ICV dos produtos com conteúdo reciclado, proporciona aos pesquisadores, questões e perspectivas para futuras análises na identificação de padrões e estratégias, para a inclusão pelas empresas da reciclagem ao final do ciclo de vida dos seus produtos.*

**Palavras-chaves:** *Reciclagem, Ecoeficiência, Ecosocial eficiência, Indicador valor adicional sustentável, Lógica difusa.*

## 1 INTRODUÇÃO

Afirmam Laurent *et. al.* (2014) que a disposição de resíduos sólidos em todo o mundo vem se elevando mais que proporcionalmente às soluções apresentadas para sua disposição final adequada. Em 2014 este volume atingiu 17 bilhões de toneladas ao ano sendo estimados para as duas próximas décadas um crescimento em torno de 150% atingindo o volume de 27 bilhões anuais.

Em contraponto, os volumes de reciclagem para o reaproveitamento industrial de materiais e resíduos após ciclo de vida útil, a logística reversa, vem se elevando gradativamente, ganhando uma maior importância estratégica nas empresas, sendo apresentado como um negócio lucrativo e que proporciona sustentabilidade técnica, ambiental, social e econômica (GUTBERLET, 2012).

Pitta Junior *et. al.* (2009) afirmam que a logística reversa para as empresas só adquire a característica de uma forte sustentabilidade quando a soma de todos os custos das operações necessárias à reversibilidade dos produtos, materiais e processos de conformidade para seu reaproveitamento, são menores ou apresentam tendências futuras a serem menores do que os custos da matéria prima e do processo original.

Para Gutberlet (2012), as receitas anuais adquiridas pelas empresas com a reciclagem e o reaproveitamento industrial de materiais e resíduos em torno de 800 milhões a US\$ 2 bilhões de dólares em 2012, são extremamente significativas e com tendências crescentes, apresentando um potencial para as duas próximas décadas de US\$ 5 bilhões ao ano, no entanto, sendo incorporadas diretamente aos lucros das empresas e não reinvestidas nos processos reversos.

No caso específico do Brasil, destacam-se os índices de 97,9 % de reciclagem e reaproveitamento do alumínio das latas como consta no relatório de sustentabilidade da Associação Brasileira do Alumínio (ABAL, 2012).

As operações iniciais da coleta de materiais são implementadas em sua grande maioria por cooperativas de catadores. Torna-se fundamental para as empresas a obtenção de economias de escala para a sustentabilidade final do sistema.

Do outro lado, a reciclagem e a utilização de conteúdo reciclado pelas indústrias apresenta um enorme potencial na geração de emprego e renda para o setor de reciclagem.

Segundo Gutberlet (2012), a reciclagem é o meio de trabalho e sustento de 1% da população brasileira, ou seja, 2.000.000 de pessoas, apesar de 50% desta mão de obra ainda atuar na informalidade.

Diante deste contexto, o objetivo deste artigo é apresentar um índice difuso de valor adicional sustentável para avaliação de projetos de reciclagem de alumínio. Este indicador de sustentabilidade, conforme descreve Amaral (2003), deve ser representativo dos diversos interesses das partes que compartilham os riscos do negócio, os *stakeholders* das empresas.

Como estratégia foram definidas unidades funcionais de benefícios às empresas, indicadores e métricas, conforme as recomendações em Saling *et. al.* (2002), Shonnard, Kicherer e Saling (2003), Kicherer e Aktiengesellschaft (2007) e Laurent *et. al.* (2014).

Para as avaliações dos impactos ambientais adicionais, seguiram-se as recomendações de Kratena (2004) e Frischknecht (2010) de adotar uma abordagem biofísica, a qual considera os fluxos de energia e emissões como os indicadores mais relevantes com a mensuração dos fluxos de carbono emitidos e evitados, normalizados em kg de CO<sub>2</sub> eq- por kg de material: alumínio primário e sucata de alumínio.

A avaliação dos impactos econômicos adicionais foi realizada sob uma ótica do custo de oportunidade, conforme Figge e Hahn (2004) e Figge e Hahn (2005). O indicador Valor Econômico Adicional (VEA), considerou os preços de comercialização final de ambas as matérias primas no mercado, alumínio primário e sucata de alumínio, conforme a definição de custos internos relevantes para a comparação de produtos, explicitados em Shonnard, Kicherer *et Saling* (2003).

A definição dos indicadores e métricas sociais para a modelagem difusa, procurou similaridade, aderência com as recomendações do GRI G4 (GRI G4, 2015) e do modelo SEE Balance da BASF (BASF, 2015), correlacionando-os às normas e recomendações da Lei 12.305 de 2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

A necessidade para a modelagem difusa de definir um indicador do percentual de conteúdo reciclado no novo produto, no caso do alumínio, 46% no estado de arte atual e um *target* estimado de utilização de 80% para o ano de 2020 (NOVELIS, 2014), reafirma, segundo Vogtländer, Brezet e Hendriks (2001) e Koroneos e Nanaki (2012), a importância que a Análise de Ciclo de Vida do Produto (ACV) e do Inventário do Ciclo (ICV) têm nas decisões de inclusão da Reciclagem ao Final de Vida do Produto e utilização de conteúdo reciclado pelas empresas. A adequação do novo produto às dimensões normativas legais e de

conformidade da ACV e ICV aos requisitos mínimos da ISO 14040 – 14044, proporciona ao pesquisador uma visão holística do planejamento estratégico da empresa (ISO, 2006).

O artigo é organizado em seis sessões. A primeira sessão busca introduzir e contextualizar o tema, descrevendo as situações problemas que se apresentam como desafios a serem superados na busca por sustentabilidade e a importância e a forma de desenvolvimento de um índice de valor adicional sustentável que sinalize para as empresas, as vantagens competitivas de mercado ao implementarem a logística reversa e o reaproveitamento industrial de conteúdo reciclado. A segunda sessão apresenta a metodologia empregada: a abordagem qualitativa do tipo descritiva e exploratória, acrescida de abordagem quantitativa das práticas reais do mercado e as diversas etapas da modelagem difusa, realizada para verificação e comprovação do conteúdo extraído dos dois métodos. A terceira apresenta a pesquisa e aplicação dos indicadores. A quarta sessão apresenta para análise e discussão, o módulo de defuzzificação ou o resultado da modelagem. A quinta sessão apresenta as conclusões do artigo e a sexta e última sessão as referências bibliográficas.

## 2 METODOLOGIA

A partir do modelo desenvolvido em Felicíssimo (2016) de dimensões estratégicas para proposição de um índice de valor adicional sustentável para avaliação de projetos de reciclagem de alumínio, o presente artigo foi estruturado sobre uma abordagem qualitativa do tipo descritiva e exploratória das metodologias e conceitos de revisão da literatura sobre o tema. Foi acrescentada a abordagem quantitativa, realizada a partir de análises das práticas reais de mercado e de *benchmarking* do setor de alumínio para aplicação da modelagem difusa na validação dos resultados e conclusões de ambas as abordagens.

O esquema abaixo apresenta a sequência dos passos desenvolvidos para a formulação do índice de valor adicional sustentável (VAS):

- 1º Definição dos Sistemas de Inferências Difuso (SIF)

Na simulação do modelo proposto pela pesquisa, inferimos que todo o sistema seja composto por quatro subsistemas: ambiental, econômico, social e normativo. A

sustentabilidade global é avaliada através do Índice de Valor Adicional Sustentável (VAS) final sendo uma função de integridade de cada subsistema individual, concebido através da lógica difusa.

A aplicação do Sistema de Inferências Difuso (SIF) SUGENO é característico quando temos funções determinísticas que podem ser aplicadas ao modelo e o Sistema de Inferências Difuso (SIF) MAMDANI quando não conseguimos determinar uma função a ser aplicada, ou seja, as variáveis possuem graus de subjetividade e conseqüentemente não pode ser expressa por uma ou mais variáveis discretas ou pelo método probabilístico.

- 2º Definição da Base de Dados

Phillis e Andriantiatsaholiniaina (2001) afirmam que as informações obtidas para um tratamento de dados consistente deve conter: (i) abordagem de todas as dimensões do modelo proposto; (ii) indicação clara se o objetivo será cumprido; (iii) poderem ser expressos quantitativamente; (iv) serem compreensíveis para não especialistas e (v) conterem parâmetros para uma avaliação no longo prazo.

- 3º Definição da Base de Regras

Segundo Phillis *et* Andriantiatsaholiniaina (2001), as variáveis linguísticas podem ser definidas por quatro itens: (i) indicadores; (ii) os seus respectivos valores linguísticos (iii) as funções de pertinência destes valores linguísticos e (iv) o domínio físico sobre o qual a variável toma valores quantitativos.

Um exemplo da aplicação da lógica nebulosa está abaixo adaptado de Phillis e Andriantiatsaholiniaina (2001), onde uma determinada empresa que busca a ecoeficiência de um processo tem as variáveis linguísticas para valores econômicos: “muito”, “pouco” e para valores sociais e ambientais: “péssima”, “insuficiente”, “satisfatória” e “ótima” No módulo de defuzzificação, “péssima”, “insuficiente”, “satisfatória” e “ótima” vão fornecer um único valor *crisp* ou discreto para a Sustentabilidade da empresa.

SE a empresa tem “muito” lucro e polui “pouco”, ENTÃO ela é “ótima” em Sustentabilidade.

SE a empresa tem “muito” lucro e polui “muito”, ENTÃO ela é “insuficiente” em Sustentabilidade.

SE a empresa tem “pouco” lucro e polui “pouco”, ENTÃO ela é “satisfatória” em Sustentabilidade.

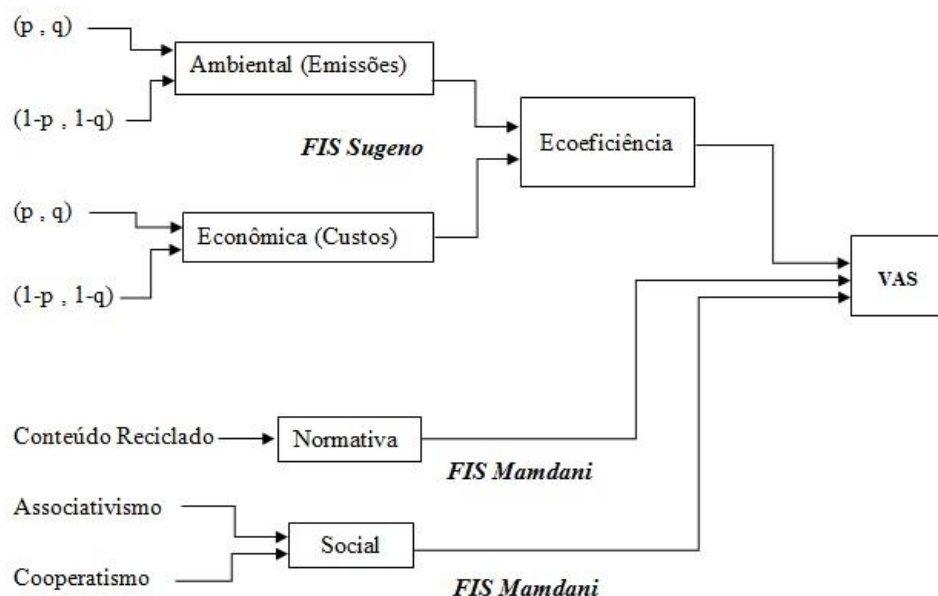
SE a empresa tem “pouco” lucro e polui “muito”, ENTÃO ela é “péssima” em Sustentabilidade<sup>1</sup> (PHILLIS E ANDRIANTIATSAHOLINIAINA, 2001).

- 4º Modelagem do Índice Difuso de Valor Adicional Sustentável (VAS)

Conforme descrevem Cornelissen *et. al.* (2001), o conceito de sustentabilidade é difuso e a lógica nebulosa é uma lógica atuando sobre múltiplos valores, oferecendo uma estrutura matemática não formal. Sua característica principal é permitir a avaliação no campo intermediário ou zona difusa, entre o estritamente sustentável e o estritamente insustentável com a imprecisão descrevendo o grau em que a sustentabilidade ocorre.

- 5º Processo de Defuzzificação

Ao ser aplicada na forma de regras *if-then* (se...então), obtém-se ao final no módulo de defuzzificação, um valor *crisp* para a sustentabilidade final do sistema. Na figura 1, abaixo podemos visualizar o SIF desenvolvido para a obtenção do índice de VAS.



**FIGURA 1** – Sistema de Inferências Difuso.

Fonte: (FELICISSIMO, 2016).

<sup>1</sup> Tradução e adaptação livre do autor.

Na aplicação do Sistema de Inferências Difuso (SIF) SUGENO as funções determinísticas de *input*, emissões e custos, foram obtidas das análises de Frischknecht (2010), sobre o comportamento das variáveis no cálculo de ecoeficiência. Os inputs no Sistema de Inferências Difuso (SIF) MAMDANI, as dimensões social e normativa, possuíam graus de subjetividade e juízos de valor, conseqüentemente não podendo ser expressas por uma ou mais variáveis discretas ou por método probabilístico, sendo necessário a criação de *checklists* para definição das métricas.

### 3 PESQUISA E APLICAÇÃO DE INDICADORES

As funções determinísticas obtidas em Frischknecht (2010) e, aplicadas para *input* no SIF Sugeno são:

- 1º Ambiental (Emissões)

Alumínio Primário c/ Reciclagem

Emissões em kg de CO<sub>2</sub>-eq do Alumínio Primário c/ Reciclagem =  $p \cdot c_1 + q \cdot c_2$

Sucata de Alumínio c/ Reciclagem

Emissões em kg de CO<sub>2</sub>-eq da Sucata de Alumínio c/ Reciclagem =  $(1-p) \cdot c_1 + (1-q) \cdot c_2$

- 2º Econômica (Custos)

Alumínio Primário c/ Reciclagem

Custo do Alumínio Primário c/ Reciclagem =  $p \cdot k_1 + q \cdot k_2$

Sucata de Alumínio c/ Reciclagem

Custo da Sucata de Alumínio c/ Reciclagem =  $(1-p) \cdot k_1 + (1-q) \cdot k_2$

Onde:

p, variável (percentual de Alumínio Primário na Liga)

q, variável (percentual de Sucata de Alumínio na Liga)

c<sub>1</sub>, constante (emissões do Alumínio Primário)

$c_2$ , constante (emissões da Sucata de Alumínio)

$k_1$ , constante (custo do Alumínio Primário)

$k_2$ , constante (custo da Sucata de Alumínio)

Os valores das emissões utilizadas para a modelagem difusa foram extraídos da base de dados Ecoinvent (2015) e os valores de US\$/kg de alumínio primário e US\$/kg de sucata de alumínio, utilizados na modelagem difusa, foram obtidos, respectivamente da Bolsa de *Commodities* da *London Metal Exchanges* - LME (2015) e no endereço eletrônico da Associação Brasileira do Alumínio - ABAL (2015). Ambos os valores, impactos ambientais e econômicos adicionais serviram para cálculo de ecoeficiências dos dois tipos de materiais utilizados.

A definição dos indicadores sociais de Associativismo e Cooperativismo e o conceito de Ecosocial Eficiência, defendido por Schaffel (2010) para o modelo de sustentabilidade, seguiu a aderência, correlação e similaridade entre a Lei 12.305 (BRASIL, 2010), as recomendações do GRI G4 (GRI G4, 2015) e o modelo SEE Balance da BASF (BASF, 2015) no que diz respeito à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto.

Na definição das métricas para a modelagem, a formação de acordos setoriais de logística reversa com a inclusão das cooperativas de catadores nos processos, obedeceu a metodologia de realização de *checklists* para verificação do grau de maturação dos processos em suas diversas etapas, conforme o esquema a seguir:

#### Associativismo (Acordos Setoriais):

- ✓ Não existência;
- ✓ Em implementação;
- ✓ Em execução

#### Cooperativismo (Especialização das Etapas da Cadeia Logística Reversa):

- ✓ Coleta Seletiva;
- ✓ Transporte;
- ✓ Armazenagem;
- ✓ Seleção;



- ✓ Tratamento;
- ✓ Beneficiamento;
- ✓ Fardamento;
- ✓ Comercialização.

Na definição do indicador normativo levou-se em consideração as conclusões de Vogtländer, Brezet e Hendriks (2001) e Frischknecht (2010) de que a determinação da empresa de utilizar um percentual de conteúdo reciclado na fabricação de seus produtos, envolve não só estratégias econômicas, ambientais, de responsabilidade social ou de eco eficiência que se quer demonstrar ao mercado, mas também de adequação às normas ambientais legais e de conformidade do novo produto, estas últimas, avaliadas pela ACV e ICV. Quanto maior o percentual de utilização e conteúdo reciclado maior a necessidade de adequação e conformidade do novo produto.

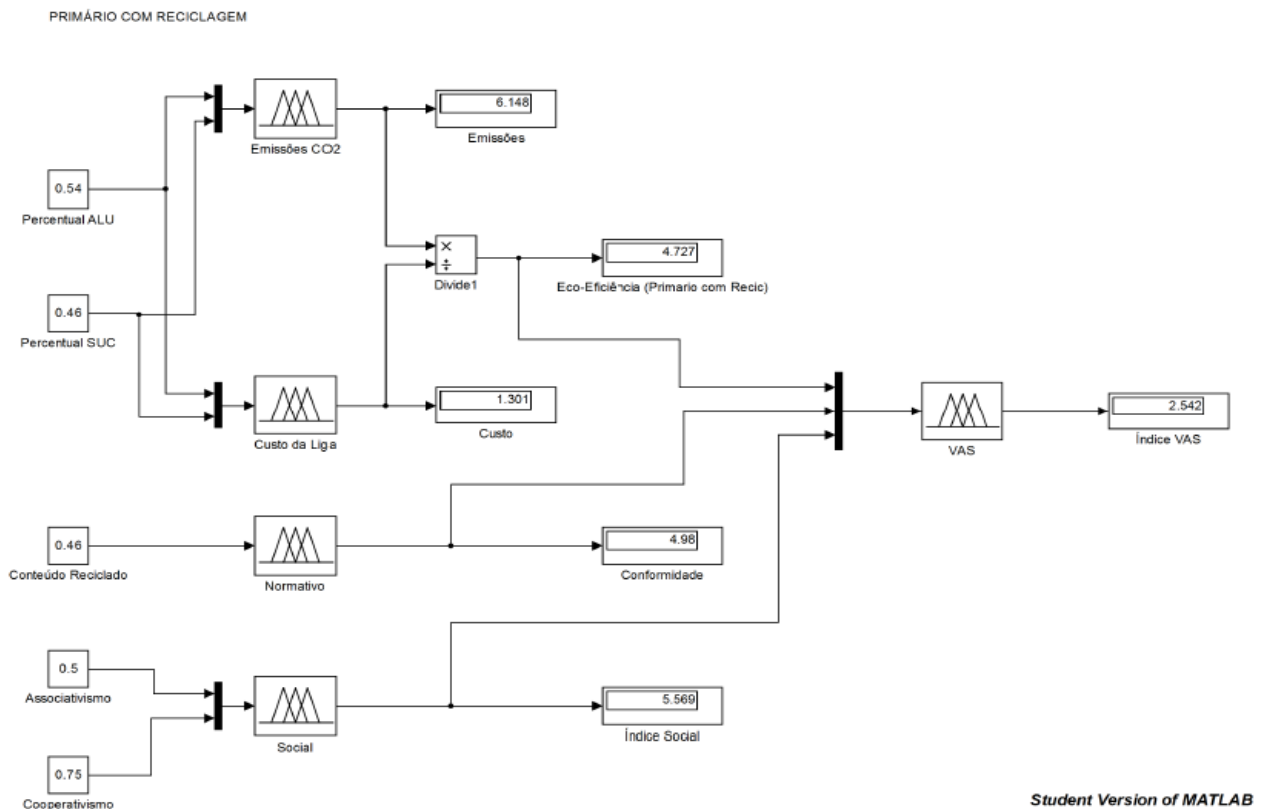
Ainda de acordo com Vogtländer, Brezet e Hendriks (2001), Koroneos e Nanaki (2012) e Laurent *et. al.* (2014) as normas ISO 14040 – 14044 disciplinam para as empresas, os padrões e requisitos mínimos para uma ACV e ICV que venha a incluir a estratégia de Reciclagem ao Final de Vida do produto. Desta forma, a avaliação através de um *checklist* da ACV e ICV do novo produto com conteúdo reciclado, proporciona ao pesquisador obter uma visão holística do produto e da estratégia da empresa.

Os requisitos mínimos das normas são descritos a seguir:

- 1º. Definição de objetivo;
- 2º. Definição do escopo e requisitos mínimos: (i) a unidade funcional; (ii) o sistema de produto a ser estudado; (iii) as fronteiras do sistema de produto; (iv) procedimentos de alocação; (v) tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto e interpretação subsequente a ser usada; (vi) requisitos dos dados; (vii) suposições; (viii) limitações; (ix) requisitos da qualidade dos dados iniciais; (x) tipo de análise crítica, se aplicável e (xi) tipo e formato do relatório requerido para o estudo;
- 3º. Estrutura da avaliação do ciclo de vida;
- 4º. Análise de inventário (ICV);
- 5º. Avaliação dos impactos.

As métricas adotadas de *inputs* de conteúdos reciclados para a modelagem difusa foram extraídas do Relatório de Sustentabilidade da empresa *benchmarking* no mercado mundial de utilização de alumínio reciclado (Novelis, 2014), sendo expostas a seguir:

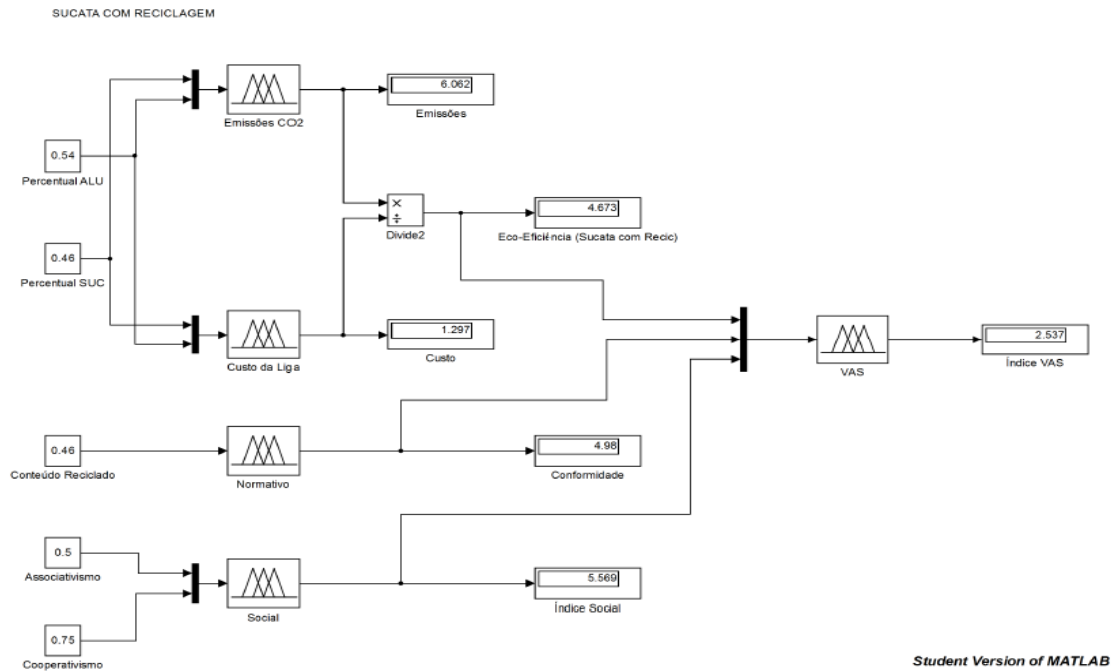
A figura 2 apresenta o comportamento do alumínio primário frente ao percentual atual de adição de conteúdo reciclado de 46%:



**Figura 2** - VAS do alumínio primário com reciclagem de 46%.

Fonte: FELICISSIMO (2016).

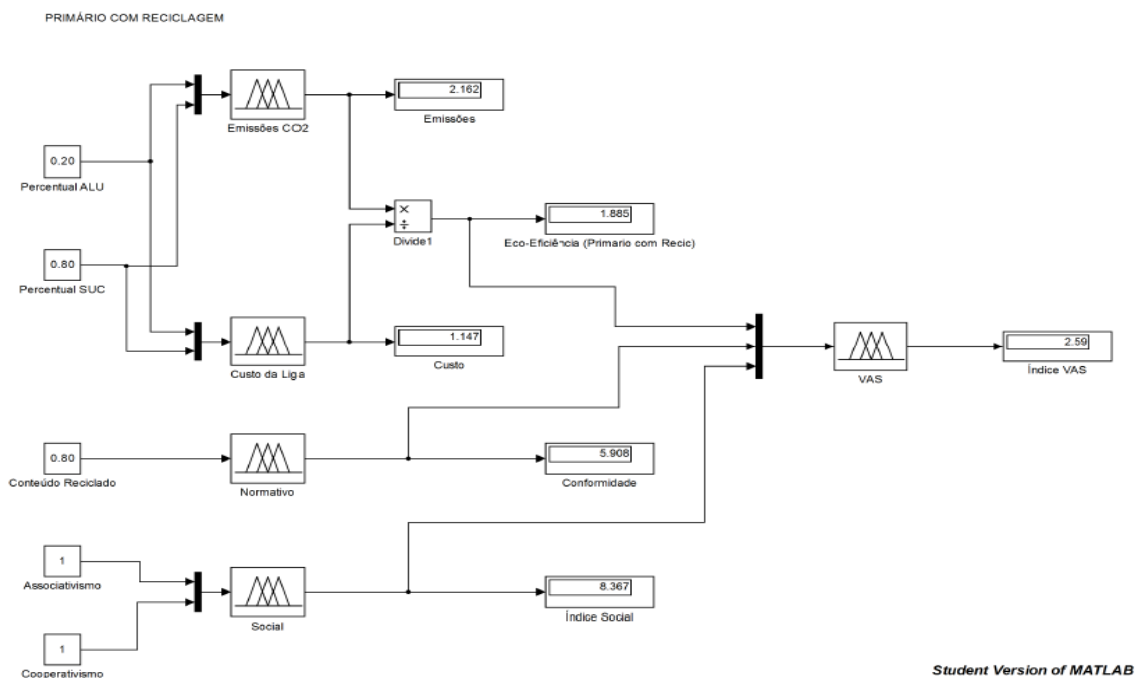
A figura 3 apresenta o comportamento da sucata de alumínio primário frente ao percentual atual de adição de conteúdo reciclado de 46%:



**Figura 3** - VAS da sucata de alumínio com reciclagem de 46%.

Fonte: FELICISSIMO (2016).

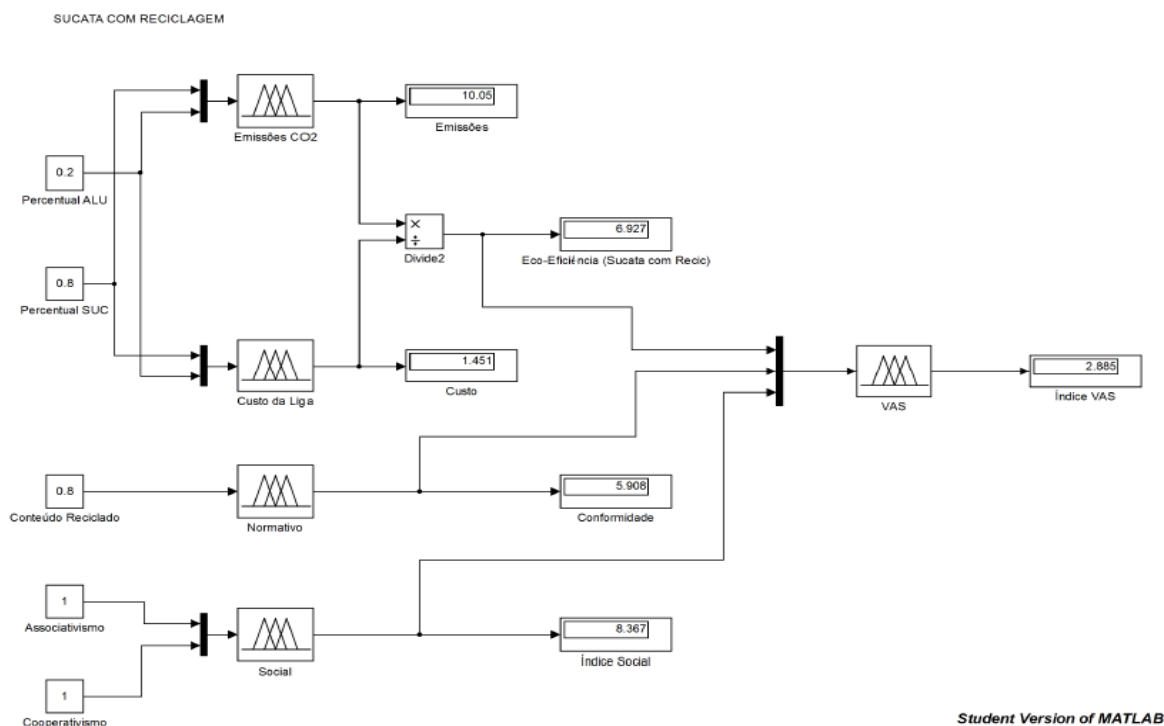
A figura 4 apresenta o comportamento do alumínio primário frente ao *target* estimado para o ano de 2020 de percentual de adição de conteúdo reciclado de 80%:



**Figura 4** - VAS do alumínio primário com reciclagem de 80%.

Fonte: FELICISSIMO (2016).

A figura 5 apresenta o comportamento da sucata de alumínio primário frente ao *target* estimado para o ano de 2020 de percentual de adição de conteúdo reciclado de 80%:



**Figura 5** - VAS da sucata de alumínio com reciclagem de 80%.

Fonte: FELICISSIMO (2016).

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A conclusão da hipótese estabelecida pelo trabalho de Frischknecht (2010), sobre a eco eficiência na reciclagem e utilização de conteúdo reciclado pela indústria de alumínio é comprovado na modelagem difusa pelo módulo de defuzzificação do Sistema de Inferências Difuso (SIF) SUGENO: os impactos ambientais e valores econômicos adicionais de ambos os materiais, alumínio primário e sucata de alumínio, tendem a convergir para um ponto de equilíbrio, econômico e ambiental a uma determinada taxa de reciclagem e utilização de conteúdo reciclado.

Observa-se na modelagem que na reciclagem e utilização de um percentual atual de 46% de conteúdo reciclado de alumínio, a ecoeficiência do alumínio primário é de 4.727 kg CO<sub>2</sub> - eq de emissões por kg de material por 1 US\$ de custo por kg de material, enquanto a

eco eficiência da sucata de alumínio é de 4.673 kg CO<sub>2</sub> - eq de emissões por kg de material por 1 US\$ de custo por kg de material.

A partir deste ponto, neste exemplo em torno de 50% na *composite* da liga final, o comportamento de ambos os materiais se inverte, sendo menos eco eficiente do ponto de vista ambiental e econômico para a empresa, a reciclagem e utilização de conteúdo reciclado.

Observa-se na modelagem que na reciclagem e utilização de um percentual para um *target* estimado de 80% de conteúdo reciclado de alumínio no ano de 2020, a eco eficiência do alumínio primário passa a ser de 1.885 kg CO<sub>2</sub> - eq de emissões por kg de material por 1 US\$ de custo por kg de material, enquanto a eco eficiência da sucata de alumínio é de 6.927 kg CO<sub>2</sub> - eq de emissões por kg de material por 1 US\$ de custo por kg de material.

Esta comprovação pela modelagem difusa da hipótese em Frischknecht (2010), demonstra que ocorre uma restrição econômica e ambiental para a empresa ao se utilizar da logística reversa e do conteúdo reciclado na fabricação de produtos.

No entanto do ponto de vista da dimensão social, Figueiredo, Moynier e Rocha, (2013), afirmam que a Responsabilidade Social (RS) vem assumindo um papel prioritário nas empresas, legal, ético, estratégico e financeiro, colaborando na formação para a percepção de um valor econômico adicional e sustentável ao produto e fixação da marca da empresa no mercado, frente a um consumidor (*stakeholder*) mais consciente da responsabilidade compartilhada.

Na Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) das empresas, Selig; Ávila Lerípio; Viegas, (2012), afirmam que uma nova visão se estabeleceu, passando de uma abordagem simples e linear e um domínio estritamente técnico e racional de análise e avaliação para o campo da boa governança corporativa, que reconhece os conflitos de valor, significativos níveis de incertezas, assimetria nas relações de poder, a cultura e os interesses dos *stakeholders*. A estratégia deixa de ser um mero instrumental de avaliação dos impactos ambientais (AIA) e dos processos decisórios para sentar à mesa da negociação.

Da mesma forma Schaffel (2010), afirma que a análise sobre do ponto de vista puramente econômico e ambiental, a eco eficiência, torna-se insatisfatória como sendo a única contribuição das empresas para a sustentabilidade, defendendo o conceito de Eco Social Eficiência para o equilíbrio do sistema, visto que o investimento na base de *stakeholders* da empresa contribui para a formação de economias de escalas e redução das externalidades.

Observa-se na modelagem difusa com a reciclagem de 46%, um índice de 0.5, atribuído ao grau de Associativismo do setor de embalagens, segundo o critério correspondente a um acordo setorial em implementação, envolvendo a indústria de embalagens de alumínio e checado no endereço eletrônico do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2015) e um índice de 0.75, atribuído ao grau de cooperativismo, segundo o critério correspondente a uma especialização até a etapa de Fardamento (ausente o Beneficiamento e a Comercialização do produto final), checado junto ao relatório da ABAL (2012). O VAS correspondente foi de 2.542 para o alumínio primário e de 2.537 para a sucata de alumínio.

Na modelagem difusa com a simulação do *target* de 80%, um índice de 1 é atribuído ao grau de Associativismo do setor, segundo o critério correspondente a um acordo setorial em execução e um índice de 1, atribuído ao grau de cooperativismo, segundo o critério correspondente a uma especialização até a etapa final da cadeia, a Comercialização. O VAS correspondente foi de 2.59 para o alumínio primário e de 2.885 para a sucata de alumínio, tornando esta última, portanto, mais atraente do ponto de vista econômico e ambiental para a empresa, revertendo o diagnóstico inicial de restrição de uma análise somente do ponto de vista da Eco Eficiência.

Um terceiro ponto de discussão, refere-se a contribuição da dimensão normativa para a identificação de padrões e parâmetros, ambientais, econômicos e estratégicos com a inclusão da reciclagem e utilização de conteúdo reciclado pela empresa na ACV e ICV. Há uma relação diretamente proporcional entre os percentuais de adição de conteúdo reciclado ao novo produto e a conformidade técnica, econômica, social e ambiental necessária a entrada do mesmo no mercado, os quais podem ser identificados por um *checklist* de seguimento das normas recomendadas pela ISO 14040-14044.

A inclusão crescente de conteúdos reciclados nos processos industriais, reduz o tempo necessário na curva de aprendizagem da empresa sobre novos processos e produtos e auxilia na identificação de estratégias de sustentabilidade adotadas pelo mercado.

## 5 CONCLUSÕES

O artigo procurou demonstrar pela aplicação da modelagem difusa que a proposição de um índice de valor adicional sustentável para avaliação de projetos de reciclagem de alumínio passa necessariamente por um modelo que contemple a dimensão social, dado que ocorre para a empresa, uma restrição econômica e ambiental, mais precisamente na análise de eco eficiência dos materiais, à medida que se elevam os percentuais de reciclagem e de utilização de conteúdo reciclado, a serem empregados na composição dos novos produtos.

O modelo difuso apresentou consistência e robustez ante as dificuldades inerentes aos métodos existentes de se atribuir valores econômicos a variáveis ambientais, sociais e normativas de alta subjetividade, sujeitas a juízos de valor e alterações de contexto culturais e de mercado. Os resultados alcançados nos índices VAS comprovam a abordagem qualitativa de que a percepção de um valor econômico adicional e a sustentabilidade caminham lado a lado na Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) das empresas, sem necessariamente existir um conflituooso entre elas, mas sim uma complementariedade. Demonstra também para a abordagem quantitativa ou estado atual da arte, a necessidade de uma maior internalização da responsabilidade social (RS) nos processos de planejamento estratégico das empresas, conforme preconizado por Selig, De Ávila Lerípio e Viegas (2012) e, Figueiredo, Moynier e Rocha, (2013).

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO Brasileira do Alumínio. **Reciclagem**: preço da sucata. Disponível em: <<http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/preco-da-sucata/>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

\_\_\_\_\_. **Relatório de sustentabilidade 2012**. Disponível em: <[http://www.abal.org.br/downloads/Rel\\_Sust\\_ABAL\\_web.pdf](http://www.abal.org.br/downloads/Rel_Sust_ABAL_web.pdf)>. Acesso em: 06 set. 2015.

ASSOCIAÇÃO Brasileira da Indústria do Pet. **9º CENSO da Reciclagem de PET – Brasil**: o ano 2012. Disponível em: <[file:///C:/Users/admin/Downloads/Nono\\_Censo\\_da\\_Reciclagem\\_do\\_PET\\_no\\_Brasil.pdf](file:///C:/Users/admin/Downloads/Nono_Censo_da_Reciclagem_do_PET_no_Brasil.pdf)>. Acesso em: 19 out. 2015.

AMARAL, S. P. **Estabelecimento de indicadores e modelo de relatório de sustentabilidade ambiental, social e econômica: uma proposta para a indústria de petróleo brasileira**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2003.

BASF. **SEE Balance**. Disponível em: <<https://www.basf.com/us/en/company/sustainability/management-and-instruments/quantifying-sustainability/seebalance.html>>. Acesso em: 05 set. 2015.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política nacional de resíduos sólidos**. 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 19 out. 2015

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Acordos Setoriais. **Logística reversa**. Disponível em: <<http://sinir.gov.br/web/guest/logistica-reversa>>. Acesso em 19 out. 2015.

CORNELISSEN, A. et. al. Assessment of the contribution of sustainability indicators to sustainable development: a novel approach using fuzzy set theory. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 86, n. 2, p. 173-185, 2001.

ECOINVENT. Database. Emissions. **Aluminium and waste aluminium**. Disponível em: <<http://www.ecoinvent.org/database/database.html>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

FELICÍSSIMO, Pedro Paulo Silveira. **Dimensões estratégicas para proposição de um índice de valor adicional sustentável de avaliação de projetos de reciclagem de alumínio**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense. 2016.

FIGGE, F.; Hahn, T. Sustainable value added—measuring corporate contributions to sustainability beyond eco-efficiency. **Ecological Economics**, v. 48, n. 2, p. 173-187, 2004.

\_\_\_\_\_. The cost of sustainability capital and the creation of sustainable value by companies. **Journal of industrial ecology**, v. 9, n. 4, p. 47-58, 2005.



FIGUEIREDO, E.; MOYNIER, R. M. L. A.; ROCHA, M. H. P. da. Gerenciamento de projetos: a ISO 26000 como norteadora da proposta de inserir a responsabilidade social como área de conhecimento. **IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. 20, 21 e 22 de Junho de 2013.

FRISCHKNECHT, R. LCI modelling approaches applied on recycling of materials in view of environmental sustainability, risk perception and eco-efficiency. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 15, n. 7, p. 666-671, 2010.

GRI G4. Global Reporting Initiative. **Sustainability reporting guidelines**. Disponível em: <<https://www.globalreporting.org/standards/g4/Pages/default.aspx>>. Acesso em: 19 out. 2015.

GUTBERLET, J. Informal and cooperative recycling as a poverty eradication strategy. **Geography Compass**, v. 6, n. 1, p. 19-34, 2012.

INTERNATIONAL Organization for Standardization. **ISO 14040:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework**. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>>. Acesso em: 19. out. 2015.

KICHERER, A.; AKTIENGESELLSCHAFT, B. Seebalance für Biodiesel. **Klimafaktor Biokraftstoff**, p. 51, 2007.

KORONEOS, C. J.; NANAKI, E. A. Integrated solid waste management and energy production-a life cycle assessment approach: the case study of the city of Thessaloniki. **Journal of Cleaner Production**, v. 27, p. 141-150, 2012.

KRATENA, K. ‘Ecological value added’ in an integrated ecosystem–economy model—an indicator for sustainability. **Ecological Economics**, v. 48, n. 2, p. 189-200, 2004.

LAURENT, A. et. al. Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: Lessons learned and perspectives. **Waste management**, v. 34, n. 3, p. 573-588, 2014.

\_\_\_\_\_. Review of LCA studies of solid waste management systems – Part II: Methodological guidance for a better practice. **Waste management**, v. 34, n. 3, p. 589-606, 2014.

LME. London Metal Exchange. Official Prices. **Aluminium**. Disponível em: <<https://www.lme.com/>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

NOVELIS. **Sustainability Report 2014**. Disponível em: <[http://www.novelis.com/Documents/Sustainability/2014\\_Novelis\\_Sustainability\\_Report\\_EN.pdf](http://www.novelis.com/Documents/Sustainability/2014_Novelis_Sustainability_Report_EN.pdf)>. Acesso em: 05 set. 2015.

PHILLIS, Y. A.; ANDRIANTIATSAHOLINIAINA, L. A. Sustainability: an ill-defined concept and its assessment using fuzzy logic. **Ecological Economics**, v. 37, n. 3, p. 435-456, 2001.

PITTA JUNIOR, O. S. R. et. al. Reciclagem do óleo de cozinha Usado: uma contribuição para aumentar a produtividade do processo. **International Workshop. Advances in Cleaner Production. Key elements for a sustainable world: energy, water and climate change.** São Paulo, Brazil, 2009.

SALING, P. et. al. Eco-efficiency analysis by BASF: the method. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 7, n. 4, p. 203-218, 2002.

SCHAFFEL, S. B. **Em busca da eco-sócio eficiência no caso da agricultura familiar voltada para a produção de biodiesel no Brasil.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010.

SELIG, P. M.; DE ÁVILA LERÍPIO, A.; VIEGAS, C. V. Avaliação ambiental estratégica: um conceito, múltiplas definições. **VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão.** 8 e 9 de Junho de 2012.

SHONNARD, D. R.; KICHERER, A.; SALING, P. Industrial applications using BASF eco-efficiency analysis: perspectives on green engineering principles. **Environmental science & technology**, v. 37, n. 23, p. 5340-5348, 2003.

VOGTLÄNDER, J. G.; BREZET, H. C.; HENDRIKS, C. F. Allocation in recycling systems. **The international journal of life cycle assessment**, v. 6, n. 6, p. 344-355, 2001.