

IDENTIFICAÇÃO E COMPARAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO PARA MEDIÇÃO DA SIMBIOSE INDUSTRIAL

Gabriel Couto Mantese (EESC-USP)

gabriel_mantese@outlook.com

Daniel Capaldo Amaral (EESC-USP)

amaral@sc.usp.br



A simbiose industrial é o intercâmbio de subprodutos, energia e água entre indústrias, centradas em uma abordagem coletiva, e com vistas a atingir vantagens competitivas. Ela é um elemento central para o conceito de parque eco-industrial e necessita de contínuo monitoramento dos profissionais envolvidos. Recentemente, surgiram propostas de indicadores, mas qual o indicador melhor representa e mensura o processo em parques eco-industriais? O objetivo deste trabalho é identificar e descrever os indicadores de desempenho existentes na literatura, em seguida, proceder a uma avaliação e comparação conceitual. De um total de cinco indicadores, o ISI (Indicador de Simbiose Industrial) se destacou pela quantidade de características positivas, maior que os demais, e por facilitar a indicação de tendência. O indicador de eco-eficiência pelos aspectos financeiros. Os demais apresentam sérios problemas, desde a superficialidade até a dificuldade de aplicação. Uma combinação de ambos seria a melhor alternativa, mas recomenda-se novas pesquisas com avaliações mais robustas, baseadas em casos ou simulações.

Palavras-chave: Simbiose industrial, parque eco-industrial, indicador de desempenho, avaliação de indicadores

1. Introdução

O conceito de Parque Eco-Industrial (EIP – *Eco-Industrial Park*) foi criado pelo instituto *Indigo Development* no final de 1992 e apresentado em 1993 ao US-EPA (*United State Environmental Protection Agency*) (INDIGO DEVELOPMENT, 2006; LOWE, 2001).

O aumento de interesse nesse tipo de comunidade industrial é crescente, o que pode ser evidenciado por Veiga e Magrini (2009), que demonstram como o conceito de EIP tem se espalhado por diversos países como um novo modelo de arranjo industrial. Além disso, Lowe (2001), ainda no início de 2001, identificou pelo menos 100 projetos eco-industriais haviam sido iniciados pelo mundo e, desde então, publica-se regularmente sobre o resultado dessas experiências ou sobre a investigação de métodos e ferramentas para apoiar a sua criação e desenvolvimento.

O assunto EIP traz à tona o termo Simbiose Industrial (SI), pois, conforme observado por Chertow (1998), através de dados obtidos em 13 projetos durante 2 anos, a simbiose industrial é um elemento fundamental para se caracterizar um EIP. Agarwal e Strachan (2006) concordam que um EIP é o agrupamento de redes de simbiose industrial. O processo é, portanto, essencial para a formação de um EIP, sendo necessária sua medição, o monitoramento e avaliação.

Entretanto, segundo Agarwal e Strachan (2006), o desenvolvimento da simbiose industrial é limitado devido à falta de modelos de avaliação compreensivos. Um dos desafios é melhorar a avaliação das redes de simbiose, o primeiro passo é garantir a sua manutenção e promoção.

Há trabalhos que utilizam métodos já conhecidos ou alterados para a avaliação de redes de simbiose industrial em aglomerados de empresas, por exemplo, Sokka *et al.* (2008), Bain *et al.* (2010), Wang *et al.* (2013; 2014) e Geng *et al.* (2014). A maioria deles utiliza análises baseadas na técnica da Análise do Ciclo de Vida (ACV) e na Análise de Fluxo de Materiais para descrever a rede, o que não necessariamente caracteriza a simbiose na rede.

Só mais recentemente é que começaram a surgir autores interessados em criar indicadores que meçam especificamente a simbiose. Geng *et al.* (2009) identificaram a falta de um indicador

de simbiose industrial, entre um conjunto de indicadores sugeridos pelo governo chinês para o desenvolvimento de EIPs, classificando-a como um impedimento para a melhoria dos parques eco-industriais.

Autores como Hardy e Graedel (2002), Tiejun (2010), Zhou *et al.* (2012), Felicio (2013), Gao *et al.* (2013) e Park e Behera (2014) utilizam um indicador de desempenho, ou conjunto de indicadores para medir a simbiose industrial em parques industriais. Entretanto, a partir de uma busca em bases de dados da *Web of Science*, descrita a seguir, não foi possível encontrar nenhum artigo compilando sistematicamente estes indicadores e comparando-os entre si. Park e Behera (2014) reforçam este argumento, pois os autores constataram que não existe um método para avaliar o desempenho de redes de simbiose industrial que seja universalmente aceito.

Este trabalho tem três objetivos. O primeiro é listar e apresentar os indicadores de desempenho, ou conjunto de indicadores, que tem por finalidade medir a simbiose industrial. O segundo objetivo é comparar os indicadores e avaliá-los qualitativamente. Por fim, como terceiro objetivo, espera-se selecionar o melhor indicador, ou conjunto de indicadores, para a simbiose industrial em EIPs.

2. Parques eco-industriais e a simbiose industrial

Um EIP é uma comunidade industrial, onde seus membros perseguem a melhoria do desempenho ambiental, social e econômico através da cooperação, obtendo assim um benefício coletivo maior do que a soma dos benefícios individuais que seriam obtidos sem cooperar (INDIGO DEVELOPMENT, 2006).

Já a simbiose industrial é uma analogia ao termo já conhecido da biologia, mas inserido na realidade empresarial. Segundo Chertow *et al.* (2008), são três o tipos de transações simbióticas que podem ocorrer: (i) compartilhamento de infra-estrutura e utilidades; (ii) fornecimento de serviços comuns; (iii) trocas de sub-produtos, onde uma empresa utiliza o descarte/desperdício de outra empresa como matéria-prima.

O processo de simbiose industrial, através da melhoria de questões ambientais, consegue alcançar também vantagens sociais e econômicas dentro de um conglomerado industrial de

empresas que cooperam entre si de maneira sinérgica.

Neste contexto, a definição de instrumentos que colaborem para o gerenciamento dos profissionais responsáveis pelo EIP, conhecidos como agenciadores, torna-se fundamental já que seu papel é estimular ou realizar ações para a ampliação da simbiose industrial.

3. Avaliando indicadores de simbiose industrial

A medição do desempenho, segundo Neely *et al.* (1995), é o processo de quantificação da eficácia e/ou eficiência de uma ação. Um indicador de desempenho, ou conjunto de indicadores, é capaz de desempenhar esse papel. Já para Ramos e Caeiro (2010), os indicadores de desempenho são a abordagem mais usada para a avaliação do desempenho sustentável.

Um indicador de desempenho, ou conjunto de indicadores para medir a simbiose industrial e a sua evolução num determinado período pode ser um instrumento necessário para os agenciadores de um EIP.

Neely *et al.* (1997) é um dos grupos de pesquisa que mais desenvolveu e sistematizou a literatura de indicadores. Os autores apresentam uma forma de descrição de indicadores de desempenho e critérios gerais que servem para indicadores em geral, nas várias áreas da Engenharia de Produção (*Operations Management*). Franceschini *et al.* (2008) atualizaram estes critérios gerais e foram também consultados.

Além dos critérios gerais, foi feita uma revisão e identificados um conjunto de trabalhos específicos para a avaliação de indicadores ambientais, ou de sustentabilidade. São os trabalhos de Bockstaller e Girardin (2003), de Cloquell-Ballester *et al.* (2006) e Kurtz *et al.* (2001), também revisados.

O mais completo é Bockstaller e Girardin (2003), que propuseram uma classificação e um procedimento, baseado em uma árvore de decisão, que indica como se deve proceder para a validação de indicadores de desempenho ambientais. Esta estrutura foi utilizada depois por Cloquell-Ballester *et al.* (2006) para criar uma metodologia específica, baseada em especialistas.

Na proposta de Bockstaller e Girardin (2003) a validação pode ser dividida em duas etapas, a

validação conceitual (*conceptual validation*) e a validação empírica (*empirical validation*). A primeira é baseada nos dados, informações e descrição do indicador, bem como na percepção de especialistas ou dos autores. Na segunda etapa trata-se da avaliação com procedimentos visuais ou estatísticos e envolvendo dados simulados ou reais. Este artigo trata da identificação e avaliação dos indicadores, utilizando as recomendações de validação conceitual proposta por estes autores. O método é apresentado na próxima seção.

4. Método de pesquisa

O método de pesquisa envolveu duas etapas: identificação e avaliação conceitual. A identificação foi feita por meio de uma revisão bibliográfica.

Inicialmente, os trabalhos de Felicio (2013), Hardy e Graedel (2002) e de Tiejun (2010) já haviam sido identificados através dos estudos prévios acerca de simbiose industrial e de parques eco-industriais. A partir desses trabalhos que propõem indicadores para a simbiose industrial, foram identificadas palavras-chave para a pesquisa de outros trabalhos.

A pesquisa foi realizada em março de 2015 na base de dados *Web of Science*, apenas na principal coleção, com a seguinte string de busca relacionada ao tópico: ("*industrial symbiosis*") AND (*indicator* OR index OR indice**).

A busca rendeu um total de 18 artigos. Ao final dos filtros foram selecionado mais 3 artigos para se juntarem aos 3 iniciais. Foram os trabalhos de Zhou *et al.* (2012), Gao *et al.* (2013) e Park e Behera (2014).

A descrição dos indicadores foi feita por intermédio da adaptação da Folha de Registro da Medida de Desempenho (*The Performance Measure Record Sheet*) de Neely *et al.* (1997).

Cada um dos indicadores foi avaliado com base nos critérios apresentados pela Tabela 1.

Tabela 1 – Critérios nos quais a avaliação foi baseada

Referência	Crerios
Neely <i>et al.</i> (1997)	Derivado da estratgia; Simplicidade de entendimento; Acurcia; Relevncia; Definiao clara; Impacto visual; Consistncia; Rrpido feedback; Proposito explcito; Frmula e fontes de dados explcitos; Formato simples e consistente de reportar; Informar tendncias; Preciso; Objetividade.
Franceschini <i>et al.</i> (2006)	Representao apropriada da representao meta; No fornecer mais do que a informao requerida; No ser contra produtivo; Considerao dos gastos para coletar a informao necessria; Fcil de entender e usar.
Bockstaller e Girardin (2003)	Bem fundamentado; Fornece informao confiavel; Util.
Cloquell-Ballester <i>et al.</i> (2006)	Coerncia conceitual; Coerncia operacional; Utilidade do indicador.
Kurtz <i>et al.</i> (2001)	Relevncia conceitual; Confiabilidade da implementao; Variabilidade da resposta; Interpretao e utilidade.

Fonte: estrutura adaptada de Neely *et al.* (1997) e contedo adaptado de Felicio (2013)

5. Descrio dos indicadores identificados

5.1 Indicador de simbiose industrial (ISI)

O Indicador de Simbiose Industrial (ISI) foi proposto por Felicio (2013) e descrito na Tabela 2, que traz os detalhes desse indicador.

Tabela 2 – Indicador de simbiose industrial

Nome do Indicador	Indicador de Simbiose Industrial - ISI																						
Propósito	"Apontar a evolução do desempenho das relações simbióticas entre as empresas de um EIP" (FELICIO, 2013)																						
Relacionado a qual objetivo de negócio?	Incentivo na ampliação dos relacionamentos simbióticos																						
Valor mínimo e máximo	Varia de zero a infinito																						
Fórmula	$ISI = \frac{QIC}{1 + QIS} = \frac{\sum_{w=1}^n (QRC_w \times GRC_w)}{1 + \sum_{w=1}^n (QRS_w \times GRS_w)}$ <p>Onde, QIC: Quantidade de Impacto Circulante QIS: Quantidade de Impacto de Saída n: Número de tipos de resíduos envolvidos no cálculo w: Tipo de resíduo QRC: Quantidade de resíduo circulante GRC: Grau do resíduo circulante QRS: Quantidade de resíduo de saída GRS: Grau do resíduo de saída</p> <p>Para o cálculo do GRC e do GRS é utilizada a seguinte fórmula: GR = avaliação do critério x peso do critério</p> <p>O peso dos critérios e sua avaliação devem ser fornecidos pelo usuário do indicador. A Tabela 2.1 mostra os critérios utilizados para cada resíduo, bem como cada uma das suas possíveis avaliações.</p> <p style="text-align: center;">Tabela 2.1 – Critérios de avaliação do grau do resíduo</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Critérios</th> <th style="text-align: left;">Avaliação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Legislação</td> <td>1.Boas Práticas</td> </tr> <tr> <td>3.Requisito Geral</td> </tr> <tr> <td>5.Requisito Legal Específico</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Classe de resíduos</td> <td>1.Não perigoso-Inertes</td> </tr> <tr> <td>3.Não perigoso-Não inertes</td> </tr> <tr> <td>5.Perigosos</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Uso de resíduos</td> <td>1.Existe tratamento do resíduo na empresa doadora e receptora</td> </tr> <tr> <td>3.Existe tratamento na empresa receptora do resíduo</td> </tr> <tr> <td>5.Não é necessário tratamento em nenhuma das empresas</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Destinação dos resíduos</td> <td>1.Outro EIP com pré-tratamento</td> </tr> <tr> <td>3.Outro EIP sem pré-tratamento</td> </tr> <tr> <td>5.Aterro Industrial (Classe I e II)</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Problemas/ riscos</td> <td>1.Inexistente</td> </tr> <tr> <td>3.Eventuais/isolados</td> </tr> <tr> <td>5.Frequêntes</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">Fonte: Felício (2013)</p> <p>Para os resíduos circulantes o critério destinação dos resíduos não é utilizado. Já para os resíduos de saída o critério uso dos resíduos não é utilizado.</p>	Critérios	Avaliação	Legislação	1.Boas Práticas	3.Requisito Geral	5.Requisito Legal Específico	Classe de resíduos	1.Não perigoso-Inertes	3.Não perigoso-Não inertes	5.Perigosos	Uso de resíduos	1.Existe tratamento do resíduo na empresa doadora e receptora	3.Existe tratamento na empresa receptora do resíduo	5.Não é necessário tratamento em nenhuma das empresas	Destinação dos resíduos	1.Outro EIP com pré-tratamento	3.Outro EIP sem pré-tratamento	5.Aterro Industrial (Classe I e II)	Problemas/ riscos	1.Inexistente	3.Eventuais/isolados	5.Frequêntes
Critérios	Avaliação																						
Legislação	1.Boas Práticas																						
	3.Requisito Geral																						
	5.Requisito Legal Específico																						
Classe de resíduos	1.Não perigoso-Inertes																						
	3.Não perigoso-Não inertes																						
	5.Perigosos																						
Uso de resíduos	1.Existe tratamento do resíduo na empresa doadora e receptora																						
	3.Existe tratamento na empresa receptora do resíduo																						
	5.Não é necessário tratamento em nenhuma das empresas																						
Destinação dos resíduos	1.Outro EIP com pré-tratamento																						
	3.Outro EIP sem pré-tratamento																						
	5.Aterro Industrial (Classe I e II)																						
Problemas/ riscos	1.Inexistente																						
	3.Eventuais/isolados																						
	5.Frequêntes																						
Fonte de dados	Fluxo de resíduos e subprodutos de cada empresa. Legislação sobre os resíduos Classe dos resíduos Problemas/riscos existentes com relação aos resíduos.																						

Fonte: estrutura adaptada de Neely *et al.* (1997) e conteúdo adaptado de Felício (2013)

5.2 Eco-eficiência

Park e Behera (2014) propuseram um indicador de eco-eficiência para avaliar o desempenho de redes simbióticas em um EIP. Esse indicador é composto por quatro indicadores, sendo

um indicador econômico e três indicadores ambientais. A Tabela 3 mostra um resumo do indicador.

Tabela 3 – Eco-eficiência

Nome do Indicador	Eco-eficiência
Sub-indicadores	a. Benefício econômico líquido b. Consumo de matéria-prima c. Consumo de energia d. Emissão de CO ₂
Propósito	Avaliar a eco-eficiência de transações simbióticas
Relacionado a qual objetivo de negócio?	Incentivo na ampliação dos relacionamentos simbióticos e aumento na eco-eficiência. a. Diminuir custos b. Consumir subprodutos/desperdícios de outras empresas do EIP c. Diminuir consumo energético d. Diminuir emissão de gases do efeito estufa na atmosfera
Valor mínimo e máximo	Assume qualquer valor real
Fórmula	$\text{Eco - eficiência} = \frac{EI}{EN}$ <p>Onde, EI: Benefício econômico líquido EN: Representação da influência ambiental, representado pela fórmula:</p> $EN = \sum_{i=1}^3 \alpha S_i$ <p>Onde, Si: Impacto devido a cada indicador ambiental α_i: Peso de cada indicador ambiental (soma dos pesos deve ser igual a 1)</p>
Fonte de dados	a. Quantidade monetária salva devido aos links de simbiose industrial b. Quantidade de matéria prima consumida por cada empresa c. Quantidade de energia consumida por cada empresa d. Quantidade da emissão de CO ₂ de cada empresa

Fonte: estrutura adaptada de Neely *et al.* (1997) e conteúdo adaptado de Park e Behera (2014)

5.3 Eco-conectância e Razão de reciclagem

São dois indicadores e foram propostos por Tiejun (2010) para serem utilizados em conjunto. Os indicadores podem ser conferidos na Tabela 4.

O trabalho de Gao *et al.* (2013) propõe os mesmos indicadores, alterando apenas parte da nomenclatura. O indicador de Eco-Conectância é chamado de Grau de Correlação Ecológica entre as Empresas. Já o indicador de Razão de Reciclagem é chamado de Razão de Reciclagem de Subprodutos no EIP.

Tabela 4 – Eco-conectância e Razão de reciclagem

Nome do Indicador	a. Eco-conectância b. Razão de reciclagem
Propósito	a. Define o grau de associação entre as empresas do EIP b. Define o grau de reciclagem de subprodutos e de desperdícios no EIP
Relacionado a qual objetivo de negócio?	a. Cooperação entre empresas b. Redução do desperdício
Valor mínimo e máximo	a. Varia de 0 a 1 b. Varia de 0 a 1
Fórmula	<p>a. $C_e = \frac{L_e}{S(S-1)/2}$</p> <p>Onde, Le: Quantidade de links observados de fluxo de subprodutos e desperdícios S: Quantidade de empresas presentes no parque</p> <p>b. $C_R = C_e r_L$</p> <p>Onde, C_e: Eco-conectância r_L: Média de reciclagem de subprodutos e desperdício entre qualquer duas empresas do EIP</p>
Fonte de dados	Fluxo de resíduos e subprodutos de cada empresa

Fonte: estrutura adaptada de Neely *et al.* (1997) e conteúdo adaptado de Tiejun (2010)

5.4 Índice de simbiose industrial e Densidade dos links

Esses indicadores são apresentados por Zhou *et al.* (2012). A Tabela 5 mostra os indicadores.

Tabela 5 – Índice de simbiose industrial e Densidade dos links

Nome do Indicador	a. Índice de simbiose industrial b. Densidade dos links
Propósito	a. Verificar a intensidade da utilização de recursos no sistema de simbiose industrial b. Verificar a densidade de associação entre as empresas do EIP
Relacionado a qual objetivo de negócio?	a. Aumentar a troca de subprodutos/desperdícios entre as empresas do EIP b. Cooperação entre as empresas do parque
Valor mínimo e máximo	a. Varia de 0 a 1 b. Varia de 0 a $(n - 1)/2$, onde n é a quantidade de empresas
Fórmula	<p>a. $\text{Índice de simbiose industrial} = \frac{\text{Links de simbiose}}{\text{Links totais}}$</p> <p>b. $\text{Densidade dos links} = \frac{\text{Links totais}}{\text{Quantidade de empresas}}$</p> <p>Onde, Links totais: Links de simbiose somados aos links de fluxo de produtos finais entre as empresas do EIP</p>
Fonte de dados	Local de origem e destino dos subprodutos/desperdícios e de produtos de cada empresa do parque

Fonte: estrutura adaptada de Neely *et al.* (1997) e conteúdo adaptado de Zhou (2012)

5.5 Conectância e Utilização simbiótica

Hardy e Graedel (2002), com base na teoria de *Food Webs*, propuseram a utilização de dois indicadores de maneira simultânea. Ambos são descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Conectância e Utilização simbiótica

Nome do Indicador	a. Conectância b. Utilização simbiótica
Propósito	a. Definir o grau de associação entre as empresas do EIP b. Medir a magnitude e a periculosidade das relações simbióticas
Relacionado a qual objetivo de negócio?	a. Cooperação entre as empresas b. Incentivo de troca de subprodutos. Maior incentivo aos subprodutos perigosos
Valor mínimo e máximo	a. Varia de 0 a 1 b. Varia de zero a infinito
Fórmula	<p>a. $C = \frac{2L}{S(S-1)}$</p> <p>Onde, L: Quantidade de links S: Quantidade de empresas no EIP</p> <p>b. $U = \sum_{i=1}^n M_i H_i$</p> <p>Onde, M: Fluxo de massa H: Periculosidade potencial de cada fluxo de material n: Quantidade de links</p>
Fonte de dados	Fluxo de resíduos e subprodutos de cada empresa. Nível de periculosidade de cada resíduo.

Fonte: estrutura adaptada de Neely *et al.* (1997) e conteúdo adaptado de Hardy e Graedel (2002)

6. Avaliação e comparação dos indicadores

Utilizando os critérios apresentados na Seção 4 e a fórmula e características dos indicadores descritos na Seção 5, foram identificados os principais aspectos que um indicador de simbiose industrial deveria contemplar: (i) Representação correta da simbiose industrial; (ii) Classificação dos resíduos; (iii) Quantificação dos resíduos utilizados e dos resíduos descartados; (iv) Dificuldade de acesso e coleta de dados; (v) Indicação de tendência; (vi) Existência de valor de referência (para comparação); (vii) Abrangência do valor (valores mínimo e máximo). Os resultados foram resumidos na Tabela 7.

Tabela 7 – Avaliação comparativa dos indicadores

Indicador(es)	Aspectos positivos e forças	Aspectos negativos e fraquezas
Indicador de Simbiose Industrial – ISI (FELICIO, 2013)	1- Classifica os resíduos com base em diversos critérios 2- Considera as quantidades tanto dos resíduos utilizados quanto dos descartados 3- Não tem valor teto, significando que a simbiose industrial pode sempre ser incrementada 4- Dados de quantidade de resíduos não são difíceis de serem obtidos 5- Indica tendência	1- Na fórmula, foi necessário adicionar a soma de 1 no denominador. Isso causa efeitos diferentes dependendo da ordem de grandeza das quantidades de resíduos trocados 2- Necessidade de estar sempre atento às mudanças de classificação dos critérios a cada período para cada resíduo. Pode ser trabalhoso 3- Valores de EIPs diferentes não podem ser comparados, pois os pesos dos critérios serão diferentes entre os parques
Eco-eficiência (PARK; BEHERA, 2014)	1- Considera aspectos financeiros 2- Considera consumo energético 3- Considera quantidades de resíduos utilizados 4- Dados de quantidade de resíduos não são difíceis de serem obtidos	1- Os dados financeiros são difíceis de serem obtidos 2- Não classifica os diferentes tipos de resíduos 3- Valores de EIPs diferentes não podem ser comparados, pois os pesos dos sub-indicadores ambientais serão diferentes entre os parques 4- Não leva em consideração a quantidade de resíduo descartada
Eco-conectância e Razão de reciclagem (TIEJUN, 2010; GAO <i>et al.</i>, 2013)	1- Considera tanto os resíduos utilizados quanto os descartados 2- Dados de quantidade de resíduos não são difíceis de serem obtidos	1- Não classifica os diferentes tipos de resíduos 2- Fórmula do indicador de Razão de reciclagem é inconsistente, pois uma empresa pode enviar 50% dos resíduos gerados para outra empresa e os 50% restantes para uma terceira empresa. Isso resulta em um r_L de 50%. Mas em outro cenário a mesma empresa pode estar mandando 100% para outra empresa, o que resultaria num r_L de 100% 4- Não considera valor absoluto dos resíduos, apenas a porcentagem
Índice de simbiose industrial e Densidade dos links (ZHOU <i>et al.</i>, 2012)	Dados bastante fáceis de serem obtidos	Apenas verifica se as empresas tem algum tipo de ligação, mas não leva em consideração quantidades ou classificação dos resíduos. Esse conjunto de indicadores não representa a simbiose industrial conforme definida por Chertow <i>et al.</i> (2008).
Conectância e Utilização simbiótica (HARDY; GRAEDEL, 2002)	1- Resíduos recebem diferentes classificação de acordo com a sua periculosidade 2- Considera quantidades de resíduos utilizados 3- Dados de quantidade de resíduos não são difíceis de serem obtidos 4- Não tem valor teto, mostrando que a simbiose industrial pode sempre ser incrementada	1- A classificação da periculosidade dos resíduos não segue uma regra 2- Valores de EIPs diferentes não podem ser comparados, pois a classificação da periculosidade dos resíduos pode ser diferente de EIP para EIP 3- Não leva em consideração a quantidade de resíduo descartada

Fonte: Elaboração própria

7. Considerações finais e conclusões

A Tabela 7 indica o conjunto de aspectos positivos e negativos de cada indicador. A descrição indica que os dois indicadores do trabalho de Zhou *et al.*(2012) podem ser considerados superficiais frente aos demais. São reducionistas na abrangência das informações e dimensões da simbiose considerados.

Os indicadores de Felicio (2013) e Hardy e Graedel (2002) destacaram-se positivamente por considerarem a classificação dos resíduos. Hardy e Graedel (2002), porém, consideram apenas a periculosidade para a classificação. Felicio (2013) sugere cinco critérios e regras para que se possa classificar cada resíduo. Além disso, os indicadores do trabalho de Hardy e Graedel (2002) não contemplam as quantidades de resíduos descartados, considerado pelo indicador do trabalho de Felicio (2013).

Os indicadores dos trabalhos de Felicio (2013) e de Tiejun (2010) foram os únicos que contemplam a quantidade de resíduos descartados. Contudo, o segundo trabalho não utiliza valores absolutos, apenas porcentagens dos resíduos que são aproveitados. Ademais, o trabalho de Tiejun (2010) não considera a classificação dos resíduos.

O indicador proposto por Park e Behera (2014) é o único que leva em consideração o aspecto financeiro e energético. O aspecto negativo é que tais dados não são de fácil acesso ou publicação entre membros de um parque eco-industrial, o que pode dificultar a aplicação.

Portanto, considera-se que os principais indicadores seriam o ISI (Felicio, 2013) e Eco-Eficiência (PARK; BEHERA, 2014). O conjunto de características positivas do ISI se destaca, mas ele também possui aspectos negativos e fraquezas (Tabela 7), sendo a principal delas a impossibilidade de se comparar parques distintos. Ele serve como referência apenas para a evolução de um parque e não para comparação entre parques.

Aos pesquisadores e profissionais da engenharia de produção interessados em medir a simbiose industrial, sugere-se o uso combinado do ISI e do indicador de eco-eficiência. Este trabalho serve de base também para pesquisadores interessados em criar novos indicadores, pois demonstra vantagens e desvantagens que podem servir de inspiração para a proposição de novos indicadores.

O trabalho fez uma avaliação conceitual, sugere-se, como próximo passo, uma avaliação

empírica. Ela foi impossível de ser feita porque estes indicadores estão em estágio inicial de proposição e nenhum deles foi ainda validado empiricamente. O mais indicado seria aplicar o ISI em uma situação real, ou seja, em um EIP consolidado. No entanto, o acesso a esse tipo de parques ainda é difícil, não havendo muitos casos reais já consolidados a ponto de serem utilizados como teste.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, A.; STRACHAN, P. **Literature review on eco-industrial development initiatives around the world and the methods employed to evaluate their performance / effectiveness**. The Robert Gordon University. Report, 2006.
- BAIN, A.; SHENOY, M.; ASHTON, W.; CHERTOW, M. Industrial symbiosis and waste recovery in an Indian industrial area. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 12, p. 1278-1287, 2010
- BOCKSTALLER, C.; GIRARDIN, P. How to validate environmental indicators. **Agricultural systems**, v. 76, n. 2, p. 639-653, 2003.
- CHERTOW, M. R. The eco-industrial park model reconsidered. **Journal of Industrial Ecology**, v. 2, n. 3, p. 8-10, 1998.
- CHERTOW, M.; LOMBARDI, D. R. Quantifying economic and environmental benefits of co-located firms. **Environmental Science & Technology**, v. 39, n. 17, p. 6535-6541, 2005.
- CHERTOW, M.R.; ASHTON, W.; ESPINOSA, J.C. Industrial symbiosis in Puerto Rico: environmentally e related agglomeration economies. **Regional Studies**, v. 42, n. 10, p. 1299-1312, 2008.
- CLOQUELL-BALLESTER, V-A.; CLOQUELL-BALLESTER, V-A.; MONTERDE-DÍAZ, R. SANTAMARINA-SIRUANA, M-C. Indicators validation for the improvement of environmental and social impact quantitative assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 26, n. 1, p. 79-105, 2006.
- FELICIO, M. C. **Proposta de um indicador para monitorar a evolução da simbiose industrial em Parques Eco-Industriais segundo a perspectiva de sistemas dinâmicos**. São Carlos: EESC-USP, 2013. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2013.
- FRANCESCHINI, F.; GALETTO, M.; MAISANO, D. Classification of performance and quality indicators in manufacturing, **International Journal of Services and Operations Management**, v. 2 n. 3, p. 294-311, 2006.
- GAO, X. L.; LI, R. Q.; LI, R. Study on Byproducts Recycling in Eco-Industrial Parks. **Advanced Materials Research**, v. 788, p. 288-292, 2013.
- GENG, Y.; LIU, Z.; XUE, B.; DONG, H.; FUJITA, T.; CHIU, A. Emergy-based assessment on industrial symbiosis: a case of Shenyang Economic and Technological Development Zone. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, n. 23, p. 13572-13587, 2014.
- GENG, Y.; ZHANG, P.; CÔTÉ, R.; FUJITA, T. Assessment of the National Eco- Industrial Park Standard for Promoting Industrial Symbiosis in China. **Journal of Industrial Ecology**, v. 13, n. 1, p. 15-26, 2009.

HARDY, C.; GRAEDEL, T. E. Industrial ecosystems as food webs. **Journal of Industrial Ecology**, v. 6, n. 1, p. 29-38, 2002.

INDIGO DEVELOPMENT. **Eco-industrial parks (EIP)**. 2006. Disponível em: <<http://www.indigodev.com/Ecoparks.html>>. Acesso em: 26 mar. 2015.

KURTZ, J. C.; JACKSON, L. E.; FISHER, W. S. Strategies for evaluating indicators based on guidelines from the Environmental Protection Agency's Office of Research and Development. **Ecological indicators**, v. 1, n. 1, p. 49-60, 2001.

LOWE, E. A. **Eco-industrial park handbook for Asian developing countries**. A Report to Asian Development Bank, Environment Department, Indigo Development, Oakland, CA, 2001.

NEELY, A. D.; GREGORY, M.; PLATTS, K. Performance measurement systems design: a literature review and research agenda. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 15 n. 4, p. 80-116. 1995

NEELY, A. D.; RICHARDS, A. H.; MILLS, J. F.; PLATTS, K. W.; BOURNE, M. C. S. Designing performance measures: a structured approach. **International journal of operations & Production management**, v. 17, n. 11, p. 1131-1152, 1997.

PARK, H. S. BEHERA, S. K. Methodological aspects of applying eco-efficiency indicators to industrial symbiosis networks. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 478-485, 2014.

RAMOS, T. B.; CAEIRO, S. Meta-performance evaluation of sustainability indicators. **Ecological Indicators**, v. 10, n. 2, p. 157-166, 2010.

SOKKA, L.; MELANEN, M.; NISSINEN, A. How can de sustainability of industrial symbioses be measured?. **Progress in Industrial Ecology – An International Journal**, v. 5, n. 5/6, p. 518-535. 2008. p. 518.

TIEJUN, D. Two quantitative indices for the planning and evaluation of eco-industrial parks. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 7, p. 442-448, 2010.

TUDOR, T.; ADAM E.; BATES, M. Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): a literature review. **Ecological Economics**, v. 61, n. 2-3, p. 199-207, 2007.

VEIGA, L. B. E.; MAGRINI, A. Eco-industrial park development in Rio de Janeiro, Brazil: a tool for sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 7, p. 653-661, 2009.

WANG, G.; FENG, X.; CHU, K. H. A novel approach for stability analysis of industrial symbiosis systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 39, p. 9-16, 2013.

WANG, G.; FENG, X.; CHU, K. H. Symbiosis Analysis on Industrial Ecological System. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 22, n. 6, p. 690-698, 2014.

ZHOU, L.; HU, S.; LI, Y.; JIN, Y.; ZHANG, X. Modeling and Optimization of a Coal-Chemical Eco-industrial System in China. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. 1, p. 105-118, 2012.