



“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

## Transformando um distrito industrial em Parque Industrial Ecológico: uma proposta metodológica

TRAMA, C. P. <sup>a\*</sup>, MAGRINI, A. <sup>a</sup>

*a. Programa de Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pesquisa e Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro*

*\*Corresponding author, cibelle.trama@gmail.com*

### Resumo

A Ecologia Industrial (EI), através de seus princípios e instrumentos, como a Simbiose Industrial (SI) e o Parque Industrial Ecológico (PIE), possibilita a conexão de atividades produtivas e a aquisição de benefícios ambientais, sociais e econômicos. No âmbito da EI e da operação de Distritos Industriais (DIs), este artigo tem como objetivo apresentar uma metodologia para a transformação de um DI em PIE. Primeiramente apresenta-se uma síntese dos conceitos de EI, SI e PIE. Descreve-se em seguida a metodologia proposta para a transformação de DI em PIE, estruturada na avaliação do potencial de empreendimentos de um DI para compor um PIE, assim como na proposição de cenários adequados à conversão do distrito em PIE. A título de validação, a metodologia proposta é aplicada ao Distrito Industrial José Vieira de Mendonça, situado no Município de Vespasiano, em Minas Gerais (MG). Verifica-se que a proposta metodológica para a conversão de DIs em PIEs aqui apresentada, ao mesmo tempo que se propõe gradual e fomentadora de uma cultura de EI no âmbito de DIs, permite a incorporação integrada e colaborativa de práticas de sustentabilidade em sua operação, podendo resultar em ganhos tanto para o próprio distrito como para as localidades onde o mesmo se situa.

*Palavras-chave: Ecologia Industrial, Parque Industrial Ecológico, Simbiose Industrial, Distrito Industrial, Brasil*

### 1. Introdução

A Ecologia Industrial (EI) considera o aspecto ecológico dos sistemas industriais (Leigh e Li, 2015), que podem ser considerados como ecossistemas, pois apresentam fluxos de materiais, de energia e de informação, utilizando-se recursos e serviços prestados pela biosfera (ERKMAN, 1997). Neste sentido, um conjunto de indústrias, situadas em uma mesma região, que substituem processos isolados por sistemas integrados, é denominado “ecossistema industrial” (FROSH e GALLOPOULOS, 1989). Através da aplicação de balanços de materiais e de energia, estuda-se como um ecossistema industrial se “fecha”, otimizando o consumo de matéria e energia, além de minimizar a disposição de resíduos, uma vez que os resíduos gerados em um processo produtivo podem ser utilizados como insumos em outro processo. Assim, sob a ótica da sustentabilidade, Erkman (2001) afirma que a EI propõe a reestruturação dos ecossistemas industriais, compatível com os ecossistemas naturais. Para tanto, no nível de atuação entre indústrias, são empregados dois instrumentos principais: a Simbiose Industrial (SI) e o Parque Industrial Ecológico (PIE) (CHERTOW, 2000).

A SI engaja indústrias tradicionalmente separadas em uma abordagem coletiva a fim de promover vantagens competitivas envolvendo o intercâmbio físico de matéria, energia, água e subprodutos

“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

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

(CHERTOW, 2000). As relações simbióticas são impulsionadas por iniciativas comunitárias que fornecem múltiplos mecanismos para conectar parceiros e desenvolver relações mutuamente benéficas (LEIGH e LI, 2015). Hoje, a SI tem sido considerada como uma das soluções eficazes para reduzir o impacto das emissões de resíduos e do consumo de insumos primários em direção a modelos de produção sustentável (YAZAN *et al.*, 2016).

O PIE consiste em uma comunidade de indústrias e serviços localizados em uma propriedade comum, onde os seus membros buscam melhorar o desempenho ambiental, econômico e social através da colaboração na gestão ambiental e de recursos naturais. Ao trabalhar em conjunto, a comunidade de indústrias busca benefícios coletivos significativamente maiores do que a soma dos benefícios individuais de cada indústria (INDIGO DEVELOPMENT, 2005).

Segundo Kuznetsova *et al.* (2016), um PIE é composto por várias instâncias de SI, que permitem o intercâmbio de energia/ matéria entre as indústrias e, desta forma, os desempenhos econômicos e ambientais dessas indústrias podem ser melhorados. Assim, diferentes medidas podem ser integradas nos sistemas industriais para o uso racional dos recursos energéticos e materiais e a redução do impacto ambiental (KUZNETSOVA *et al.*, 2016). Entre tais medidas, encontram-se redes de troca de materiais e energia, *design* verde da infraestrutura do parque e das instalações, produção mais limpa, prevenção da poluição, eficiência energética e parceria entre as indústrias (INDIGO DEVELOPMENT, 2005; KUZNETSOVA *et al.*, 2016).

Atualmente, muitos países promovem o desenvolvimento eco-industrial através da promulgação de novas regulamentações, iniciando projetos-piloto, prestando apoio financeiro e suporte a novas pesquisas e atividades de capacitação (GENG *et al.*, 2016). Há iniciativas de PIE e SI em países da América, Europa e Ásia, impulsionadas após o sucesso da implantação da SI na cidade dinamarquesa de Kalundborg, na década de 1970 (VEIGA, 2007).

No Brasil, não há PIEs, apenas iniciativas de SI em alguns estados do país, como Minas Gerais (MG), Alagoas (AL) e Rio Grande do Sul (RS), promovidas pelas federações industriais dos respectivos estados. Destaca-se, também, que devido à configuração industrial brasileira, onde ainda predominam distritos industriais (DIs) como arranjos produtivos que utilizam diretamente os recursos ambientais e ocasionam uma cadeia de impactos aos meios natural, social, cultural e econômico (Almeida *et al.*, 2014), verificam-se alguns estudos para fomentar a cultura da EI no país e reduzir estes impactos. Entre estes estudos estão: a proposta de SI para o Polo de Camaçari (Tanimoto, 2004), a proposta de revisão do Zoneamento Industrial da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, que identificou nove DIs com potencial significativo para serem convertidos em PIEs (Magrini e Masson, 2005); a metodologia proposta por Veiga (2007) para a conversão de áreas não ocupadas em PIEs; e a proposta metodológica de Trama (2016) para a conversão de DIs, em funcionamento, em PIEs.

Neste contexto, este artigo tem como objetivo apresentar a proposta metodológica<sup>1</sup> para a conversão de um DI em PIE, assim como a validação dessa metodologia através do estudo de caso realizado no DI do município mineiro de Vespasiano. Para tanto a estrutura deste trabalho é composta por cinco itens. Após o presente item de introdução, o segundo descreve a proposta metodológica, o terceiro apresenta o estudo de caso realizado em Vespasiano (MG), o quarto ressalta as considerações finais, e finalmente o último reporta as referências bibliográficas utilizadas.

## **2. Proposta metodológica: a conversão de um distrito industrial em Parque Industrial Ecológico**

A metodologia é constituída de duas etapas. A "Etapa 1", tem como objetivo avaliar o DI quanto ao seu potencial para ser convertido em PIE através do cálculo de um índice denominado *grau de potencialidade "s"*. A "Etapa 2" consiste na proposição de cenários para a transformação do DI em PIE através da implantação gradual de sinergias entre as indústrias que o compõem. As duas etapas são descritas a seguir.

---

<sup>1</sup> O presente trabalho tem como referência a proposta metodológica de Trama (2016) para a conversão de distritos industriais, em funcionamento, em Parques Industriais Ecológicos.

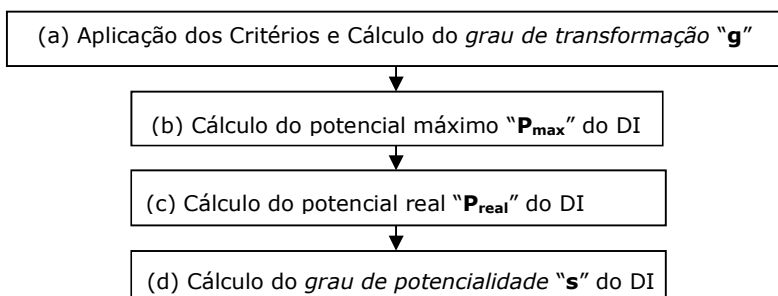
### 2.1 Etapa 1: calculando o potencial do distrito industrial para ser transformado em PIE

O primeiro passo desta Etapa consiste na identificação dos critérios que podem influenciar a possível transformação do DI em PIE. Para tanto foram consideradas três categorias de critérios: Relacionamento, Infraestrutura e Sustentabilidade Com base na literatura e em reuniões com especialistas, um conjunto de critérios foi selecionado e para cada um estabeleceu-se um *grau de importância*, “*h*”, sendo  $1 \leq h \leq 10$ , de acordo com sua maior ou menor influência na transformação. Através de normalização obteve-se o respectivo *peso relativo* “*r*”. O Quadro 1 apresenta os critérios selecionados agrupados segundo as tres categorias e os respectivos graus de importância e pesos relativos.

**Quadro 1.** Critérios selecionados para o cálculo do potencial de transformação do DI em PIE

Dimensões	Critérios	Grau de importância ( $h_t$ )	Peso relativo ( $r_t$ )
Relacionamento	A: atores envolvidos	$h_1 = 10$	$r_1 = 0,1205$
	B: fontes de financiamento	$h_2 = 8$	$r_2 = 0,0963$
	C: relação de troca e/ou venda	$h_3 = 10$	$r_3 = 0,1205$
Infraestrutura	D: infraestrutura viária e serviços de transporte	$h_4 = 5$	$r_4 = 0,0604$
	E: serviços de uso comum	$h_5 = 9$	$r_5 = 0,1085$
Sustentabilidade	F: Sistema de Gestão Ambiental	$h_6 = 7$	$r_6 = 0,0844$
	G: certificação ambiental	$h_7 = 8$	$r_7 = 0,0963$

Uma vez estabelecido o conjunto dos critérios, suas importâncias e pesos relativos, procede-se à aplicação dos critérios ao DI e ao cálculo dos índices conforme apresentado na Figura 1.



**Figura 1.** Atividades e cálculo dos índices da Etapa 1

Na atividade (a), o conjunto de critérios é aplicado a cada empreendimento do DI, atribuindo-se, para cada critério, um índice denominado *grau de transformação* “*g*” que pode assumir três valores: “1”, no caso da indústria não atender aquele critério; “2”, para a indústria que atender parcialmente aquele critério; e “3”, no caso da indústria que atender de modo integral aquele critério. Para a atribuição de “*g*” devem ser levantados dados e informações acerca das indústrias investigadas através do setor privado (contato e aplicação de questionários junto às indústrias e/ou federação das indústrias) e do setor público (contato com a Prefeitura Municipal e consulta a documentos dos processos de licenciamento ambiental).

Em seguida, efetuam-se as atividades (b) e (c), visando o cálculo do potencial de transformação do conjunto de empreendimentos instalados no DI. Na atividade (b), obtém-se o potencial máximo do DI, atribuindo-se  $g_{max}$  igual a “3” a todos os critérios para todas as indústrias. Considerando os dez critérios analisados, os pesos relativos e “*n*” como o número de indústrias, tem-se que, em termos matemáticos, o *potencial máximo* “ $P_{max}$ ” é dado pela Eq. (1):

$$P_{max} = \left[ \sum_{t=1}^{10} (g_{tmax} \times r_t) \right] \times n \quad (1)$$

que, por sua vez, implica na Eq. (2):

$$P_{max} = 3 n \quad (2).$$

Como raramente todas as indústrias atendem a todos os critérios de modo integral, realiza-se a atividade (c), atribuindo-se o real indicador “**g**”, obtido na atividade (a), a cada critério e calculando-se primeiramente o potencial real de cada indústria (**i**), ou seja, “**P<sub>real i</sub>**”, dado pela Eq. (3):

$$P_{real\ i} = \left[ \sum_{t=1}^{10} (g_{treal} \times r_t) \right] \quad (3)$$

e obtendo-se o potencial real “**P<sub>real</sub>**” do DI conforme a Eq. (4):

$$P_{real} = \left[ \sum_{i=1}^n P_{real\ i} \right] \quad (4)$$

Para finalizar esta etapa executa-se a atividade (d), obtendo-se o *grau de potencialidade* “**s**”, que representa o nível de propensão do DI para a conversão num PIE. O indicador “**s**” é obtido através da Eq. (5), dada por:

$$s = [P_{real}/P_{max}] \times 100 \quad (5)$$

sendo classificado em uma escala percentual, com base no Quadro 2.

**Quadro 2.** Grau de potencialidade “s” e potencial para conversão do DI em PIE

Grau de potencialidade (s)	Potencial para conversão de DI em PIE
$s < 30\%$	Inexistente
$30\% \leq s < 50\%$	Pequeno
$50\% \leq s < 70\%$	Regular
$70\% \leq s < 90\%$	Bom
$s \geq 90\%$	Ótimo

O indicador “**s**” possibilita a comparação dos DIs, identificando aqueles mais aptos a sua transformação em PIE e facilitando a realização da “Etapa 2”. Assim, se o valor de “**s**” indicar um potencial *pequeno*, *regular*, *bom* ou *ótimo*, o DI é submetido à realização desta etapa. Se o valor de “**s**” indicar um potencial *inexistente* significa que o DI não apresenta a priori aqueles fatores indutores da mudança, mas, para uma avaliação conclusiva, é necessário verificar as relações de SI por meio de um “teste de sinergias”, no âmbito dos empreendimentos que compõem o distrito, principalmente se este for composto por segmentos industriais de diferentes tipologias produtivas. Caso existam sinergias possíveis, propõe-se a introdução dos conceitos, princípios e práticas da EI no DI, através da realização de seminários, cursos e incentivos à consolidação de parcerias, para em seguida passar novamente pela “Etapa 1” e verificar se o DI atingiu um maior *grau de potencialidade* “**s**”. Se “**s**” continuar com potencial inexistente, comprova-se a não possibilidade de conversão.

### 2.2: Etapa 2: elaborando os cenários e as respectivas matrizes de sinergia

Nesta etapa é proposta a elaboração de quatro cenários – “Teórico”, “Real”, “Expansão da SI para o município” e “Inclusão de novas indústrias no DI” – que contém elementos para criar e fortalecer a adoção dos princípios da EI no DI, viabilizando a conversão gradual desse distrito em PIE. O Quadro 3 apresenta as principais características de cada cenário proposto.

A título de síntese da proposta metodológica aqui apresentada, a Figura 2 reporta o passo a passo das atividades que compõem as Etapas 1 e 2.

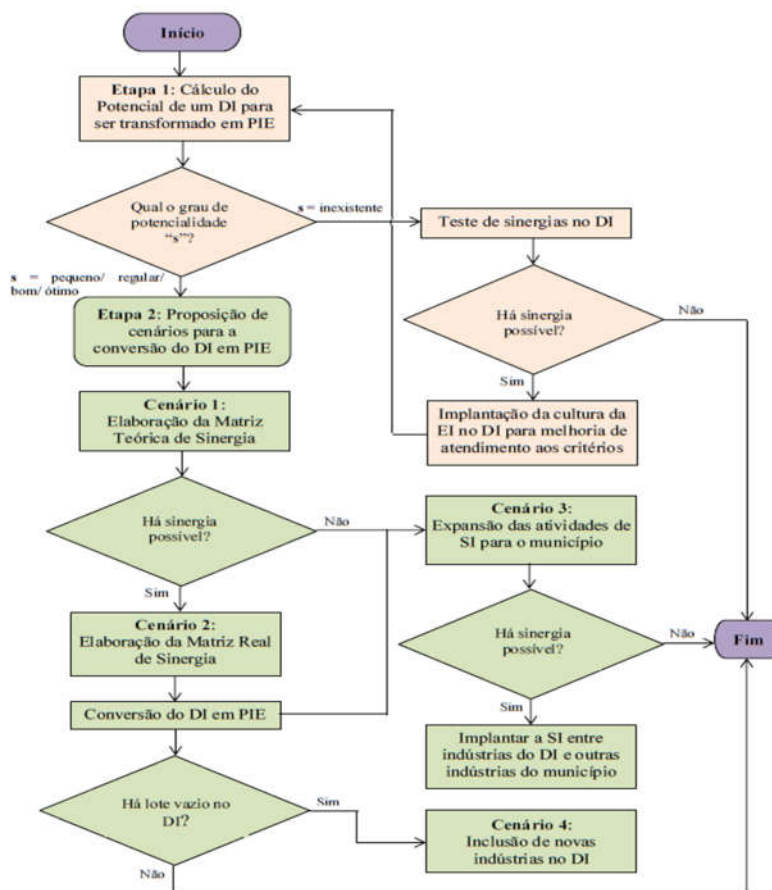
## 3. Estudo de caso: o distrito industrial do Município de Vespasiano, em Minas Gerais

Com o intuito de validar a proposta metodológica apresentada, realizou-se um estudo de caso aplicando a metodologia no DI José Vieira de Mendonça, localizado no Município de Vespasiano, que apresenta um potencial econômico elevado e situa-se na Região Metropolitana de Belo Horizonte, em Minas Gerais. A seguir são apresentados o DI de Vespasiano, a aplicação da metodologia e os principais resultados obtidos.

**Quadro 3.** Cenários e matrizes de sinergia propostos para a transformação do DI em PIE

Cenário	Descrição
1: Teórico	<p><b>Área de estudo:</b> distrito industrial</p> <p><b>Objetivo:</b> verificar a possibilidade de atividades de SI no DI</p> <p><b>Atividades:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Identificação dos processos industriais (necessidade de matéria e energia, assim como a quantificação e características dos insumos, produtos e resíduos)</li> <li>Composição da Matriz Teórica de Sinergia (matriz que apresenta os produtores e potenciais receptores dos resíduos gerados pelas indústrias do DI)</li> </ol>
2: Real	<p><b>Área de estudo:</b> indústrias do DI com os maiores valores de <math>P_{real i}</math> e que apresentam sinergias entre si conforme os resultados da Matriz Teórica de Sinergia</p> <p><b>Objetivo:</b> realizar a consolidação efetiva do DI em PIE, iniciando com as indústrias de maior potencialidade. Posteriormente, outras indústrias passam a participar de forma efetiva do PIE.</p> <p><b>Atividades:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Composição da Matriz Real de Sinergia (matriz que apresenta os produtores e potenciais receptores dos resíduos gerados pelas indústrias do DI com maior <math>P_{real i}</math>)</li> <li>Convenção e gestão do PIE (adoção de medidas para a efetiva conversão do DI em PIE, como cursos, seminários, treinamento de pessoal, metas de desempenho ambiental, identificação contínua e exploração das sinergias)</li> </ol>
3: Expansão da SI para o município	<p><b>Área de estudo:</b> município</p> <p><b>Objetivo:</b> fomentar a SI quando não há sinergias possíveis na matriz do Cenário 1 e aumentar a rede de SI no município</p> <p><b>Atividades:</b> idem ao Cenário 1, incluindo indústrias do município situadas em áreas externas ao DI. Caso existam sinergias possíveis entre indústrias do DI e outra(s) do município, situadas fora do DI, essas sinergias devem ser implantadas.</p>
4: Inclusão de novas indústrias no DI	<p><b>Área de estudo:</b> distrito industrial</p> <p><b>Objetivo:</b> proposto após a conversão do DI em PIE, busca ampliar o mix de indústrias no DI para fomentar as atividades de SI e potencializar a consolidação do PIE</p> <p><b>Atividades*:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Inclusão das novas indústrias na matriz do Cenário 1</li> <li>Instalação das novas indústrias no DI, sendo que estas devem atender os critérios da Etapa 1</li> </ol>

Nota: \* As atividades deste cenário são efetuadas após o dimensionamento dos lotes vazios do DI.

**Figura 2.** Fluxograma da metodologia para a transformação de um DI em PIE

### 3.1 O Distrito Industrial José Vieira de Mendonça

O DI José Vieira de Mendonça foi implantado na década de 1970, com o objetivo de impulsionar o desenvolvimento industrial de Vespasiano. Localiza-se próximo a condomínios residenciais e o seu acesso se dá através da rodovia MG-010. Esse DI é composto por oito empreendimentos de diversos segmentos industriais, a saber: Belgo-Mineira Ltda, Companhia Semeato de Aços S.A. e Tecnometal Ltda., do setor metalúrgico; Bucyrus Brasil Ltda, Delp Ltda e Sandvik Mining and Construction do Brasil S.A., do setor mecânico; Instituto Hermes Pardini, do setor de análises clínicas; e Stepan Química Ltda, do setor químico.

### 3.2 A aplicação da metodologia proposta para conversão de distrito industrial em PIE

Para realizar a “Etapa 1” foram aplicados questionários aos empreendimentos do DI e realizadas consultas à Prefeitura Municipal e aos documentos dos processos de licenciamento ambiental das indústrias, disponíveis no órgão ambiental estadual. Com os dados e informações obtidos efetuou-se a atividade (a) para avaliar o atendimento dos critérios por parte de cada indústria, atribuindo-se os respectivos indicadores “g”. Em seguida, foi realizado o cálculo dos índices relativos às atividades (b), (c) e (d) desta etapa.

Na “Etapa 2”, foram propostos os cenários “1”, “2” e “3”, por não existirem a priori informações para a elaboração do cenário “4”. Utilizaram-se também para esta etapa dados e informações disponibilizados pelas indústrias, pela Prefeitura de Vespasiano e pelo órgão ambiental estadual. No Cenário 1, identificaram-se todos os processos industriais e elaborou-se a Matriz Teórica de Sinergia do DI. No Cenário 2, tomando-se como referência as sinergias potenciais identificadas no Cenário 1, consideraram-se como indústrias de maior potencial real aquelas que apresentaram  $P_{real\ i}$  maior ou igual a “2”, conforme os resultados da atividade (c) da Etapa 1. No Cenário 3 foram incorporadas às sinergias potenciais do DI (Matriz Teórica de Sinergia do DI do Cenário 1) aquelas indústrias do Município de Vespasiano que poderiam fomentar a rede de SI através do recebimento de resíduos que não possuem receptores internamente ao DI.

### 3.3 Os resultados obtidos

No que se refere à Etapa 1, o Quadro 4 apresenta os resultados para o indicador “g<sub>real</sub>”, atribuído na atividade (a), assim como os potenciais máximo e real de cada indústria do DI.

**Quadro 4.** Grau de transformação real (“g<sub>real</sub>”), potencial máximo (“P<sub>max i</sub>”) e potencial real (“P<sub>real i</sub>”) dos empreendimentos do DI de Vespasiano

Empreendimentos do DI José Vieira de Mendonça	Critérios para a conversão do DI em PIE/ g <sub>real</sub>										Potencial máximo	Potencial real
	A g <sub>1</sub>	B g <sub>2</sub>	C g <sub>3</sub>	D g <sub>4</sub>	E g <sub>5</sub>	F g <sub>6</sub>	G g <sub>7</sub>	H g <sub>8</sub>	I g <sub>9</sub>	J g <sub>10</sub>	P <sub>max i</sub>	P <sub>real i</sub>
Belgo Mineira	2	1	1	3	1	3	3	3	3	3	3	2,2289
Bucyrus	2	1	1	3	1	3	1	3	3	1	3	1,8437
Delp	2	1	1	3	1	2	1	3	2	1	3	1,6630
Hermes Pardini	2	1	3	3	2	3	1	3	3	1	3	2,1932
Sandvik	2	1	3	3	1	3	1	3	3	3	3	2,2773
Semeato	2	1	1	3	1	2	1	3	2	2	3	1,7593
Stepan	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2,7710
Tecnometal	2	2	1	3	1	2	1	3	2	1	3	1,7593

Os resultados obtidos das atividades (b), (c) e (d) para o DI foram, respectivamente: potencial máximo “P<sub>max</sub>” = 24, potencial real “P<sub>real</sub>” = 16,49 e grau de potencialidade “s” = 68,73%, que indica que o DI José Vieira de Mendonça apresenta um potencial regular para ser transformado em PIE.

Na Etapa 2, com base no estudo dos processos industriais, foram identificadas vinte tipologias de resíduos dos empreendimentos do DI, a saber: ácidos, bases, borras de tinta, catalisadores, sucata metálica, lodo da fossa séptica, lodo de estação de tratamento, óleos lubrificantes, plásticos, solventes, torta de filtro, vidro, papel/papelão, lâmpadas, madeira, resíduo oleoso, escória, sucata elétrica,

resíduos orgânicos e EPI (Equipamento de Proteção Individual). A partir desta identificação foram elaboradas as matrizes de potenciais sinergia. O Quadro 5 apresenta a Matriz Teórica de Sinergia para o DI de Vespasiano.

**Quadro 5.** Matriz Teórica de Sinergia para o DI de Vespasiano

Empreendimentos	Resíduos produzidos																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Belgo Mineira					P		P	P	P/R	P	P		P/R	P	R					P
Bucyrus			P		P	P		P/R	P	R			P	P	P				P	
Delp			P		P/R		P	R	P	R		P	P	P	P	P				
Hermes Pardini	R	R		R					P/R	R		P/R	P/R	P						
Sandvik			R		P		P	P/R	P	R			P	P	P			P	P	
Semeato					P/R			P	P				P			P	P			
Stepan	P			P	P		P		P	P		P	P	P		P				
Tecnometal			P		P	P			P	P/R			P	P	P/R	P		P	P	P

Legenda: P – Produtor de resíduos; R – Possível receptor de resíduos; P / R – Produtor e possível receptor de resíduos; 1 – Ácidos; 2 – Bases; 3 – Borrás de tinta; 4 – Catalisadores; 5 – Sucata metálica; 6 – Lodo da fossa séptica; 7 – Lodo de estação de tratamento; 8 – Óleos lubrificantes; 9 – Plásticos; 10 – Solventes; 11 – Torta de filtro; 12 – Vidro; 13 – Papel/papelão; 14 – Lâmpadas; 15 – Madeira; 16 – Resíduo oleoso; 17 – Escória; 18 – Sucata elétrica; 19 – Resíduos orgânicos; 20 – EPI (Equipamento de Proteção Individual).

A matriz do Quadro 5 aponta que, dos vinte resíduos considerados, dez são potencialmente passíveis de sinergias entre as indústrias do DI de Vespasiano. Claramente, para a efetiva realização dessas trocas, as características dos resíduos permutados devem ser analisadas, inclusive aqueles com maiores particularidades em sua composição (ácidos, catalisadores, bases e solventes), para verificar a real viabilidade de utilização dos resíduos produzidos no DI. Recomenda-se a realização de balanços de materiais e de energia, identificando se os resíduos podem ser utilizados in natura ou após pré-tratamento, além do levantamento dos custos envolvidos.

O Quadro 6 apresenta a Matriz Real de Sinergia para o DI de Vespasiano, composta pelos quatro empreendimentos com  $P_{real\ i} \geq 2$  (ver Quadro 4), que demonstraram maior preocupação e atuação em relação aos aspectos ambientais, além de melhor relacionamento e pro atividade no DI.

**Quadro 6.** Matriz Real de Sinergia para o DI de Vespasiano

Empreendimentos	Resíduos produzidos																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Belgo Mineira					P		P	P	P/R	P	P		P/R	P	R					P
Hermes Pardini	R	R		R					P/R	R		P/R	P/R	P						
Sandvik			R		P		P	P/R	P	R			P	P	P			P	P	
Stepan	P			P	P		P		P	P		P	P	P		P				

Legenda: P – Produtor de resíduos; R – Possível receptor de resíduos; P / R – Produtor e possível receptor de resíduos; 1 – Ácidos; 2 – Bases; 3 – Borrás de tinta; 4 – Catalisadores; 5 – Sucata metálica; 6 – Lodo da fossa séptica; 7 – Lodo de estação de tratamento; 8 – Óleos lubrificantes; 9 – Plásticos; 10 – Solventes; 11 – Torta de filtro; 12 – Vidro; 13 – Papel/papelão; 14 – Lâmpadas; 15 – Madeira; 16 – Resíduo oleoso; 17 – Escória; 18 – Sucata elétrica; 19 – Resíduos orgânicos; 20 – EPI (Equipamento de Proteção Individual).

De acordo com o Quadro 6, é possível permutar oito tipos de resíduos, sendo necessário verificar, também neste caso, a real viabilidade de seu uso, conforme citado anteriormente. Essa matriz representa assim aquelas sinergias que poderiam ser mais imediatamente fomentadas e implementadas e que poderiam servir como demonstração para as demais indústrias de forma a se chegar gradualmente à implantação da inteira Matriz Teórica do Cenário 1.

O Quadro 7 ilustra a matriz de sinergia proposta no Cenário 3, que, no caso de Vespasiano, inclui mais três empreendimentos, de segmentos industriais diferentes entre si, situados no município: a Empresa de Cimentos Liz S.A., que produz cimento; a SEM Equipamentos Ltda, uma indústria de equipamentos elétricos; e a Topfilme Ltda, que fabrica materiais plásticos.

**Quadro 7.** Matriz Teórica de Sinergia modificada para a inclusão de outros empreendimentos do município

Empreendimentos	Resíduos produzidos																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Belgo Mineira					P		P	P	P/R	P	P		P/R	P	R					P
Bucyrus			P		P	P		P/R	P	R			P	P	P				P	
<b>Cimentos Liz</b>					<b>P</b>		<b>R</b>	<b>P</b>			<b>R</b>		<b>P</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>R</b>		<b>P/R</b>	<b>P/R</b>
Delp			P		P/R		P	R	P	R		P	P	P	P	P	P			
Hermes Pardini	R	R		R					P/R	R		P/R	P/R	P						
Sandvik			R		P		P	P/R	P	R			P	P	P			P	P	
<b>SEM</b>					<b>P</b>			<b>P</b>	<b>P</b>			<b>P</b>	<b>P</b>					<b>P/R</b>		<b>P</b>
Semeato					P/R			P	P				P			P	P			
Stepan	P			P	P		P		P	P		P	P	P		P				
Tecnometal			P		P	P			P	P/R			P	P	P/R	P		P	P	P
<b>Topfilme</b>									<b>P</b>				<b>P</b>			<b>R</b>				

Legenda: P – Produtor de resíduos; R – Possível receptor de resíduos; P / R – Produtor e possível receptor de resíduos; 1 – Ácidos; 2 – Bases; 3 – Borrás de tinta; 4 – Catalisadores; 5 – Sucata metálica; 6 – Lodo da fossa séptica; 7 – Lodo de estação de tratamento; 8 – Óleos lubrificantes; 9 – Plásticos; 10 – Solventes; 11 – Torta de filtro; 12 – Vidro; 13 – Papel/papelão; 14 – Lâmpadas; 15 – Madeira; 16 – Resíduo oleoso; 17 – Escória; 18 – Sucata elétrica; 19 – Resíduos orgânicos; 20 – EPI (Equipamento de Proteção Individual).

Observa-se, no Quadro 7, que a cimenteira pode receber seis tipos de resíduos que não tem receptor no DI, a indústria SEM pode reutilizar a sucata elétrica e, a indústria de plásticos, os resíduos oleosos. Além disso, essas indústrias também produzem resíduos que podem ser enviados a alguns empreendimentos do DI. Com isso as dez sinergias possíveis do Cenário 1 passaram agora para dezessete com a incorporação na SI dessas indústrias do município. Destaca-se, ainda, que alguns resíduos não apresentaram “solução” no DI e no município, pois não há produtores de bases e não há receptores de lâmpadas. O lodo das fossas sépticas, por sua vez, é enviado para a Estação de Tratamento de Água e Esgoto da Copasa, localizada em Vespasiano. Estes resíduos e sua possibilidade de criar novas sinergias poderão ser levados em consideração quando da localização de novas indústrias na região e principalmente internamente ao DI, vindo a configurar um novo cenário, no caso, o Cenário 4.

De modo geral, observa-se, pelo resultado da primeira etapa, que o DI de Vespasiano apresenta um potencial regular para ser convertido em PIE, mas necessita fortalecer a cultura de EI no distrito, buscando melhorar o atendimento dos critérios.

Ao analisar as matrizes de sinergia do DI José Vieira de Mendonça, verifica-se um bom potencial de possíveis fluxos de materiais, principalmente, resíduos de plásticos, papel, papelão e óleo lubrificante, a princípio, entre as indústrias da matriz real de sinergia, visto que essas sinergias, associadas ao maior potencial de cada indústria para compor o PIE, fortalecem e consolidam a EI no DI.

Neste sentido, torna-se relevante buscar meios de fomentar o intercâmbio de resíduos no DI, como, por exemplo, avaliar o quanto as trocas simbióticas podem satisfazer as demandas por matéria e/ ou energia dos empreendimentos envolvidos. Soma-se a isso a possibilidade de buscar segmentos industriais que podem produzir materiais necessários a algum processo, mas que não existem no DI, como é o caso da Hermes Pardini, que é receptora de bases e não há produtor e consequentemente resíduos de bases no distrito. Este caso pode ser analisado para a inclusão de novas indústrias no distrito, configurando a elaboração do cenário “4”.

Após o fortalecimento da cultura da EI no DI, a implantação de todos os elementos essenciais à operação de PIEs e a realização das trocas simbióticas propostas, o DI de Vespasiano poderá ser consolidado como o PIE do município.

#### 4. Considerações finais

A EI, ao conectar as atividades produtivas através de uma gestão cooperativa, proporciona benefícios nas esferas ambiental, social e econômica. A aplicação dos instrumentos da EI, como a SI e o PIE,



contribuem, de modo significativo, para o desenvolvimento de modelos de produção sustentáveis, reduzindo os impactos negativos ocasionados à sociedade e ao meio ambiente devido à realização de processos industriais, inclusive em DIs.

Neste sentido, entende-se que a proposta metodológica para a conversão de um DI em PIE aqui apresentada ganha particular relevância. Estruturada em duas etapas permite uma aproximação e articulação gradual das indústrias do DI através de uma primeira avaliação de sua potencialidade de transformação, a partir do grau de adequação de diferentes fatores, seja de infraestrutura, que de práticas de sustentabilidade e relacionamento pré-existentes, para em seguida desenhar os cenários para a possível implantação do PIE. Permite também, lá aonde estes fatores não se demonstram ainda satisfatórios, a construção de uma cultura de EI através de mecanismos de conscientização e aprendizado envolvendo os atores do distrito. Na segunda etapa, os cenários propostos visam, desde a identificação da totalidade das possíveis sinergias de troca de resíduos no âmbito do DI, até a caracterização das mais imediatamente viáveis por envolverem os empreendimentos mais pró-ativos, além da possibilidade de ampliar a SI com a incorporação de indústrias externas ao DI e/ou de novas no seu interior.

Com o intuito de validar a proposta metodológica, realizou-se um estudo de caso no DI José Vieira de Mendonça, em Vespasiano (MG). Os resultados indicam que o DI de Vespasiano apresenta um potencial regular para ser convertido em PIE e há sinergias possíveis, identificadas nas matrizes de sinergia. Entre os oito empreendimentos do DI, quatro compõem a Matriz Real de Sinergia e portanto poderiam propiciar o início das articulações e estudos necessários para a constituição do PIE. Além disso tanto no distrito como entre o distrito e o município existem ainda sinergias possíveis de serem implementadas, mas para isso é necessário que sejam fomentados mecanismos de difusão e conscientização que no nosso entender deveriam envolver não só os atores diretamente envolvidos, ou seja as próprias indústrias pertencentes ao DI, mas também os governos locais, a federação das indústrias, as universidades e entidades representativas da sociedade local.

Por fim, entende-se que a metodologia proposta poderia contribuir para direcionar regiões, estados e países, especialmente aqueles onde ainda predomina a operação de DIs, a implantar uma cultura de EI, concretizando SIs e PIEs com o intuito de construir comunidades industriais mais sustentáveis.

## 5. Referências bibliográficas

- Almeida, R.N., Leite, J.C.A., Nunes, F.M.S., Martins, W.A., Farias, C.A.S., 2014. Identificação dos impactos ambientais resultantes da implementação do Distrito Industrial de Pombal – PB. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. 9, 4, 137-144.
- Chertow, M.R., 2000. Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. *Annual Reviews on Energy and Environment*. 25, 313-337.
- Erkman, S., 1997. Industrial Ecology: an historical view. *Journal of Cleaner Production*. 5, 4, 1-10.
- Erkman, S., 2001. Industrial Ecology: a new perspective on the future of industrial system. *Swiss medical Weekly*. 131, 531 – 538.
- Frosch, R.A, Gallopoulos, N.E., 1989. Strategies for manufacturing. *Scientific American*. 261, 3, 94–102.
- Geng, Y., Fujita, T., Park, H., Chiu, A.S.F., Huisingh, D., 2016. Recent progress on innovative eco-industrial development. *Journal of Cleaner Production*. 114, 1-10.
- Indigo Development, 2005. Eco-industrial parks (EIP). Indigo Development <http://www.indigodev.com/Ecoparks.html> acessado em Novembro/2016.
- Kuznetsova, E., Zio, E., Farel, R., 2016. A methodological framework for Eco-Industrial Park design and optimization. *Journal of Cleaner Production*. 126, 308-324.

Leigh, M., Li, X., 2015. Industrial ecology, industrial symbiosis and supply chain environmental sustainability: a case study of a large UK distributor. *Journal of Cleaner Production*. 106, 632-643.

Magrini, A., Masson, C.G.M.J., 2005. Revisão do Zoneamento Industrial da Região Metropolitana do Rio de Janeiro: relatório final. Consórcio COPPE/UFRJ/IBAM, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Tanimoto, A.H., 2004. Proposta de Simbiose Industrial para Minimizar os Resíduos Sólidos no Pólo Petroquímico de Camaçari. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo), Engenharia Ambiental/UFBA, Salvador, BA, Brasil.

Trama, C.P., 2016. Proposta de transformação de um Distrito Industrial em Parque Industrial Ecológico: um estudo de caso em Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Veiga, L. B. E., 2007. Diretrizes para a Implantação de um Parque Industrial Ecológico: uma proposta para o PIE de Paracambi. Tese (Doutorado em Planejamento Energético), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Yazan, D.M., Romano, V.A., Albino, V., 2016. The design of industrial symbiosis: an input-output approach. *Journal of Cleaner Production*. 129, 537-547.