

Valoração econômica de danos ambientais decorrentes da emissão de poluentes atmosféricos pelas indústrias de ferro-liga situadas na sub-bacia do Rio Verde Grande (MG)

Paula Santana Diniz

RESUMO: Foi realizada a valoração econômica dos serviços ambientais afetados pela poluição atmosférica das indústrias de ferro-ligas situadas na sub-bacia do Rio Verde Grande (MG), bem como calculada a indenização a ser paga pelas empresas até a instalação dos filtros, conforme determinado pelas autoridades públicas do Estado de Minas Gerais. Os serviços ambientais foram quantificados em termos de energia solar incorporada (emergia) e, posteriormente, convertidos em uma unidade monetária que utiliza o índice de equivalência emergia/dólar estabelecido para o Brasil. Verificou-se que os valores monetários obtidos permitiram a distribuição do ônus pelo dano ambiental de forma proporcional à carga de poluentes emitida pelas indústrias.

PALAVRAS-CHAVE: Valoração econômica. Poluição atmosférica. Emergia.

Introdução

Ferro-ligas são ligas de ferro combinadas a um ou mais elementos químicos, tais como o silício, o manganês, o magnésio, o cálcio, o cromo e o níquel, entre outros, utilizadas principalmente na fabricação de aço e de produtos fundidos com características específicas. O estado de Minas Gerais é o principal produtor de ferro-ligas do Brasil, sendo responsável por 50% da produção nacional (M.M.E., 2010).

Como na maioria dos processos industriais, a fabricação dessas ligas ocasiona diversos impactos ambientais, sendo que as emissões atmosféricas oriundas dos fornos de fundição constituem o aspecto ambiental mais importante de uma indústria dessa tipologia. Por esse motivo e, considerando a relevância do setor para a economia do Estado, foi realizado em 2005, pela Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM, um diagnóstico para a adequação ambiental das indústrias de ferro-ligas em Minas Gerais (FEAM, 2005). Na época do estudo, foi constatado que seis indústrias distribuídas na sub-bacia do Rio Verde Grande (MG) estavam operando sem os dispositivos de despoeiramento (filtros) para tratar os efluentes atmosféricos.

A sub-bacia do Rio Verde Grande, afluente do Rio São Francisco, localiza-se entre os paralelos 14°30' e 17°30' de latitude Sul e meridianos 42°30' e 44°30' de longitude Oeste e corresponde, conforme a Deliberação Normativa CERH-MG 06, de 4 de outubro de 2002, à Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH SF10), abrangendo vinte e sete municípios mineiros, entre os quais

Montes Claros, Bocaiuva, Capitão Eneias e Varzelândia, onde estão instaladas as empresas de ferro-ligas identificadas pela FEAM.

Segundo o diagnóstico do órgão ambiental, os empreendimentos de ferro-ligas estavam emitindo pelas chaminés de seus fornos uma concentração de material particulado correspondente a dez vezes o limite permitido pela legislação vigente, comprometendo a qualidade do ar na região. (FEAM, 2005)

Dessa forma, a Unidade Regional Colegiada Norte de Minas do Conselho de Política Ambiental (URCNM/Copam) firmou em 2006 o Acordo Setorial Ferro-Ligas, termo de compromisso, por meio do qual foi concedido às indústrias de ferro-ligas situadas na sub-bacia do Rio Verde Grande um prazo até dezembro de 2011 para a instalação dos filtros de despoeiramento. (COPAM, 2006)

Contudo, em março de 2011 foi protocolado na URCNM/Copam pelos empreendedores um pedido de prorrogação do prazo até 2014. Conforme decisão dos conselheiros do Copam e do Ministério Público de Minas Gerais (MPMG), o adiamento ficou condicionado ao pagamento de uma indenização durante todo o período extra em que as empresas continuariam a operar sem os filtros, ou seja, sem o devido tratamento dos efluentes atmosféricos. (COPAM, 2011)

Além disso, o valor a ser pago pelos empreendedores seria repassado, por meio do Fundo Estadual de Defesa de Direitos Difusos (Fundif), aos municípios integrantes das áreas afetadas. O Fundif foi criado pela Lei Estadual 14.086, de 6 de dezembro de 2001, com o objetivo de beneficiar, prioritariamente, a região onde houve o dano ambiental.

A prorrogação do Acordo Setorial Ferro-Ligas mediante o pagamento de uma indenização está respaldada pela Constituição Federal de 1988, que estabelece em seu artigo 225, § 3.º, a responsabilização civil, penal e administrativa pelo dano ambiental, e

pela Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, que impõe ao poluidor e ao predador, independentemente da existência de culpa, a obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros afetados por sua atividade. A Lei 6.938/1981 consagra, portanto, o princípio do poluidor-pagador.

Embora no direito brasileiro exista uma hierarquia de formas de reparação de danos ambientais em que há sempre uma preferência pela restauração integral dos meios físicos e bióticos lesados, com a consequente reconstituição completa do equilíbrio ecológico, nem sempre o bem ambiental possui condições de voltar ao *status quo ante*. (LEITE e AYALA, 2002)

A natureza é um ente complexo quanto à sua formação, capacidade de suporte e resiliência, sendo impossível, em virtude da inexorabilidade do segundo princípio da termodinâmica, a plena recuperação dos recursos ambientais degradados. O segundo princípio da termodinâmica, a lei natural mais forte já descoberta pelos cientistas, estabelece que a energia desorganizada de um sistema, a entropia, jamais poderá decrescer (LIMA-E-SILVA et al., 2002). Na prática, essa lei revela que, durante a transferência de energia entre dois sistemas, ocorrerá sempre a perda de parte dessa energia, que será acrescida à entropia, ou seja, à energia desorganizada e irrecuperável do sistema.

Portanto, a poluição ocasionada pelas indústrias de ferro-ligas constitui um dano ambiental irreversível, uma vez que a matéria e a energia lançadas na atmosfera são irre recuperáveis. Todavia, a impossibilidade factual da plena recuperação do meio ambiente lesado não significa que a poluição atmosférica seja, juridicamente, tolerável. Dessa forma, a compensação financeira estabelecida pelo Copam e pelo MPMG, como condicionante à prorrogação do prazo previsto no Acordo Setorial Ferro-Ligas, foi uma decisão acertada.

Segundo Serôa da Motta (1998), autor da principal obra de referência sobre valoração ambiental, o valor econômico de um

recurso ambiental (VERA) compreende a soma dos valores de uso (direto, indireto e de opção) e do valor de existência do recurso. Entretanto, a atribuição de um valor monetário a um recurso ambiental, como o ar atmosférico, ainda constitui um desafio em nossa sociedade, pois ele não faz parte de transações mercantis. As pessoas não pagam, por exemplo, uma taxa para respirar ar limpo da mesma forma que pagam para receber água tratada em suas residências. Ademais, inexistem critérios uniformes para a quantificação do valor de existência, que representa a satisfação pessoal de um indivíduo em manter um recurso, mesmo que este não represente uso atual ou futuro.

Porém, é necessário reconhecer a importância dos serviços ambientais associados aos recursos naturais. O ar possui várias formas de uso, como o uso metabólico natural pelos seres humanos, animais e vegetais, atuando também como receptor e meio de transporte dos resíduos e poluentes gerados pelas atividades antrópicas (DERÍSIO, 2000). Portanto, a poluição atmosférica inicia-se no momento em que a disponibilidade do ar é utilizada de forma abusiva e descontrolada, principalmente em áreas geográficas limitadas ou confinadas.

Em face do exposto, como quantificar monetariamente o recurso ambiental (ar) afetado pelas emissões atmosféricas das indústrias de ferro-ligas situadas na sub-bacia do Rio Verde Grande?

Embora o ar seja um bem comum a toda a sociedade e não tenha preço estabelecido em mercado, partiu-se da premissa de que é possível realizar a valoração econômica da sua degradação utilizando o conceito de emergência.

Segundo Odum (1996), a emergência é definida como a energia solar previamente requerida em forma direta ou indireta para produzir um produto ou serviço. Assim, os serviços ambientais associados às massas de ar utilizadas para o transporte e diluição dos poluentes atmosféricos emitidos pelos fornos das empresas

de ferro-ligas foram quantificados, inicialmente, em termos da energia solar incorporada (emergia). Posteriormente, os fluxos de emergia na sub-bacia do Rio Verde Grande foram convertidos em valores monetários por meio do índice de equivalência emergia/dólar, calculado por Ortega (2000) para o Brasil.

Dessa forma, foi possível quantificar o serviço ambiental prestado pela atmosfera e determinar o valor da indenização a ser pago pelas indústrias de ferro-ligas até a instalação dos filtros, em virtude da poluição atmosférica ocasionada na sub-bacia do Rio Verde Grande. Ressalte-se que este valor será convertido, por meio do Fundif, em benfeitorias para a região onde houve o dano.

Portanto, fixar a indenização até a instalação dos filtros pelas indústrias de ferro-ligas, além de reparar, por meio de uma compensação financeira, a privação imposta à coletividade do equilíbrio ecológico, do bem-estar e da qualidade de vida que o ar proporciona, pode incentivar futuramente o desenvolvimento tecnológico mais limpo na sub-bacia do Rio Verde Grande. Afinal, o ar, bem de interesse comum e elemento indispensável à vida de todos, não está à disposição dos empreendimentos para a diluição de seus poluentes. As fontes poluidoras devem, dentro da melhor tecnologia prática disponível, reduzir a quantidade de poluentes lançada na atmosfera e adequá-la aos padrões de emissão estabelecidos pela legislação ambiental.

Valoração econômica dos serviços ambientais afetados pelas indústrias de ferro-liga

Avaloração econômica ambiental, cuja finalidade é atribuir um valor monetário aos serviços proporcionados pela natureza, desponta como uma alternativa para delinear os contornos da compensação financeira, a qual, até recentemente, era arbitrada pelo próprio juiz. (STEIGLEDER, 2008)

A valoração econômica de recursos naturais não é um tema inexplorado. Cientistas e economistas vêm se dedicando ao estudo de metodologias de valoração como ferramentas de gestão ambiental. (RIBAS, 1996; CONSTANZA, 1997; SERÔA DA MOTTA, 1998; MOTA, 2010)

Segundo Serôa da Motta (1998), a tarefa de valorar economicamente um recurso ambiental consiste em determinar quanto melhor ou pior estará o bem-estar das pessoas devido a mudanças na quantidade de bens e serviços ambientais na apropriação por uso ou não. Assim, o valor econômico de um recurso ambiental (VERA) compreende a soma dos valores de uso e de não uso, os quais se subdividem da seguinte forma:

Valor de uso direto (VUD), que consiste no valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental em função do bem-estar que ele proporciona, por exemplo, na forma de extração, de visitação ou outra atividade de produção ou consumo direto.

Valor de uso indireto (VUI), definido como o valor atribuído a um recurso ambiental em virtude de suas funções ecossistêmicas, como, por exemplo, conservação de florestas de mangue e reprodução de espécies marinhas.

Valor de opção (VO), que corresponde ao valor que os indivíduos estão dispostos a pagar para manterem a opção de um dia fazer uso, de forma direta ou indireta, do recurso ambiental. Por exemplo, o benefício advindo da preservação de um aquífero ainda não explorado para o consumo de águas subterrâneas.

Valor de não uso ou valor de existência (VE), valor que está dissociado do uso e deriva de uma posição moral, cultural, ética ou altruística em relação aos direitos de existência de espécies ou de preservação de outras riquezas naturais, mesmo que estas não representem uso atual ou futuro para o indivíduo. Um exemplo claro deste valor é a grande mobilização da opinião pública para o salvamento das baleias.

É importante ressaltar que a formulação do VERA (VERA = VUD + VUI + VO + VE) foi incluída pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na Norma Brasileira Parte 6 – NBR 14653, que versa sobre métodos e procedimentos para avaliação de recursos naturais, os quais são baseados em metodologias para a aferição da disposição de consumidores a pagar por serviços ecológicos e funções ambientais.

Contudo, a opção por uma ou outra metodologia para quantificar a indenização a ser paga pelo dano ambiental irreversível é um tema que permanece em aberto, pois, como a própria NBR 14653-6 da ABNT reconhece, depende das informações disponíveis no caso concreto, da capacitação dos peritos, da disponibilidade de recursos econômicos para a coleta de dados, da existência ou não de um mercado consumidor para o bem a valorar, entre outros aspectos.

Por outro lado, é preciso reconhecer que os ecossistemas fornecem bens e serviços que garantem o bem-estar de toda a sociedade. No entanto, alguns serviços ambientais, como aqueles proporcionados pela absorção, transporte e diluição de poluentes, os quais são de extrema importância para a sustentabilidade dos processos produtivos, são ainda pouco contabilizados (ULGIATI e BROWN, 2002). Ademais, cabe salientar que os desequilíbrios ecológicos levam à degradação dos serviços ambientais, resultando em prejuízos a toda sociedade.

Assim, o material particulado proveniente dos fornos das empresas integrantes do Acordo Setorial Ferro--Ligas, em níveis superiores ao padrão de emissão estabelecido pela legislação vigente, ocasiona o uso abusivo do recurso natural ar atmosférico bem como a sua degradação, comprometendo o direito da população local de respirar um ar mais saudável. (Figura 1)

Figura 1 – Emissões atmosféricas provenientes de uma das indústrias de ferro-ligas.



Fonte: FEAM (2005).

Considerando, então, o princípio do poluidor-pagador, consagrado pela Lei no 6938/81, e tendo em vista a necessidade de quantificar, monetariamente, o recurso ambiental afetado pelas emissões atmosféricas das indústrias de ferro-ligas e calcular o valor da compensação financeira, conforme determinado pelo COPAM e pelo MPMG, foi utilizado, no presente trabalho, o conceito de Emergia. A Emergia corresponde à energia solar que foi previamente requerida, de forma direta ou indireta, para produzir um certo produto ou serviço (ODUM, 1996).

Dessa forma, o valor monetário dos serviços ambientais afetados pelas indústrias integrantes do Acordo Setorial Ferro-Ligas foi quantificado pela metodologia, denominada no meio científico como metodologia emergética ou ecoenergética. (ODUM, 1996; PILLET, 1997)

A metodologia utiliza a energia solar incorporada (emergia) aos recursos ambientais para expressar a contribuição da natureza na produção de insumos, matérias-primas, produtos e serviços.

Dessa forma, a contabilidade ambiental é realizada utilizando o Joule de energia solar (SeJ), que corresponde à unidade de medida da Emergia (ODUM, 1996), permitindo, ao contrário do que ocorre na economia convencional, atribuir um valor real aos recursos naturais pelo bem-estar que eles proporcionam, em virtude de suas funções ecossistêmicas e serviços ambientais realizados.

Neste trabalho, a valoração econômica dos danos ambientais enfatiza e analisa o serviço ambiental associado ao ar, recurso natural afetado pela emissão, sem o devido tratamento, de efluentes atmosféricos, contendo material particulado, provenientes dos fornos dos empreendimentos do setor de ferro-ligas instalados na sub-bacia do Rio Verde Grande.

A emergia do serviço ambiental e seu respectivo valor monetário foram quantificados, inicialmente, por meio das emissões do poluente material particulado, em kg/h e kg/ano, oriundas dos fornos de cada empresa. Em seguida, foram determinadas as massas de ar, em kg/ano, utilizadas para a diluição das emissões de material particulado até o padrão de qualidade do ar estabelecido pela legislação vigente (Deliberação Normativa do Copam n.º 01, de 26 de maio de 1981). Calculou-se, então, a energia cinética (serviço ecossistêmico), em Joule (J)/ano, das massas de ar durante a diluição dos poluentes, a qual foi convertida, posteriormente, em uma medida emergética equivalente (SeJ/ano), por meio do fator de conversão de energia em emergia (energia solar incorporada), denominado Transformidade Solar ou Índice de Transformidade, expresso em emergia por Joule (SeJ/J).

Os índices de transformidade são calculados por pesquisadores em todo o mundo (ODUM, 1996), sendo amplamente divulgados em periódicos científicos e endereços eletrônicos especializados (ORTEGA, 2000). Finalmente, a emergia do serviço ambiental associado às massas de ar, em termos monetários (dólar), utilizou

o índice de equivalência energia/dólar ($3,0 \times 10^{12}$ SeJ/U\$), determinado para o Brasil por Ortega (2000).

Esse índice permite comparar a energia do serviço afetado à energia do dinheiro que circula no país em determinado ano e possibilita a conversão dos valores de energia solar em dinheiro. Para a determinação dos valores em reais (R\$), foi utilizado o câmbio de 8/4/2011, data da assinatura da prorrogação do prazo do Acordo Setorial Ferro-Ligas.

A seguir, serão detalhadas as etapas da metodologia emergética para a quantificação dos serviços ecossistêmicos afetados pelas emissões de poluentes (material particulado) provenientes das indústrias de ferro-liga situadas na sub-bacia do Rio Verde Grande.

Estimativa das emissões de material particulado dos fornos

A taxa de emissão ou carga de material particulado, em kg/h, foi calculada por meio da Equação (1) para os fornos de cada empresa, que de agora em diante serão denominadas empresas L, M, N, O, P e Q:

$$W = C \times V \quad (1)$$

Onde:

W = taxa de emissão ou carga de material particulado, em kg/h

C = concentração de material particulado emitida pela chaminé, em kg/Nm³

V = vazão de lançamento de efluentes pela chaminé, em Nm³/h

Foram atribuídos às variáveis C e V da Equação (1) os valores de concentração de material particulado e vazão, respectivamente, que constam no estudo realizado pelo FEAM em 2005. (Quadro 1)

Além disso, a estimativa da taxa de emissão anual de material particulado considerou o período efetivo de produção de cada forno, correspondente a 7.980 horas em 12 meses, exceto os fornos F1, F2 e F3 da empresa L, para os quais foi considerado um período de produção de 780 horas por ano.

Quadro 1 – Dados das empresas integrantes do Acordo Setorial Ferro-Ligas

Empresa	Município	Número de fornos sem filtros	Vazão dos efluentes em cada forno (V)	Concentração de material particulado na saída das chaminés (C)
L	Montes Claros	4 (F1, F2, F3 e F4)	F1 – 225.464 Nm ³ /h F2 – 512.420 Nm ³ /h F3 – 392.854 Nm ³ /h F4 – 392.854 Nm ³ /h	F1 – 1400 mg/Nm ³ F2 – 1800 mg/Nm ³ F3 – 1600 mg/Nm ³ F4 – 1650 mg/Nm ³
M	Montes Claros	1 (F1)	F1 – 31.695,3 Nm ³ /h	F1 – 2.428,98 mg/Nm ³
N	Bocaiuva	1 (F1)	F1 – 280.000 Nm ³ /h	F1 – 2.000 mg/Nm ³
O	Varzelândia	6 (F1, F2, F3, F4, F5 e F6)	F1 – 60.450 Nm ³ /h F2 – 114.000 Nm ³ /h F3 – 114.000 Nm ³ /h F4 – 281.800 Nm ³ /h F5 – 281.800 Nm ³ /h F6 – 281.800 Nm ³ /h	F1 – 1.800 mg/Nm ³ F2 – 1.800 mg/Nm ³ F3 – 1.800 mg/Nm ³ F4 – 1.800 mg/Nm ³ F5 – 1.800 mg/Nm ³ F6 – 1.800 mg/Nm ³
P	Capitão Eneias	2 (F1 e F2)	F1 – 280.000 Nm ³ /h F2 – 280.000 Nm ³ /h	F1 – 1.800 mg/Nm ³ F2 – 1.800 mg/Nm ³
Q	Capitão Eneias	3 (F1, F2 e F3)	F1 – 150.000 Nm ³ /h F2 – 150.000 Nm ³ /h F3 – 150.000 Nm ³ /h	F1 – 1.700 mg/Nm ³ F2 – 1.700 mg/Nm ³ F3 – 1.700 mg/Nm ³

Fonte: FEAM (2005)

Determinação das massas de ar para a diluição dos poluentes

A inexistência dos filtros na saída da chaminé dos fornos ocasionou a degradação do ar devido à emissão de poluentes, como o material particulado, acima dos limites estabelecidos pela legislação em vigor. Consequentemente, uma massa de ar foi comprometida para a realização do trabalho de diluição do poluente até o padrão de qualidade do ar definido na Deliberação Normativa Copam de 26 de maio de 1981 (DN Copam n.º 01/1981). Dessa forma, o cálculo das massas de ar para a diluição das emissões atmosféricas de cada forno foi estimado por meio da Equação (2):

$$m = d \frac{W}{c} \quad (2)$$

Onde:

m = massa de ar para a diluição, em kg/ano

d = densidade do ar = 1,23 kg/m³ (ULGIATI e BROWN, 2002)

W = carga de material particulado emitida anualmente, em kg/ano

c = concentração máxima permitida de material particulado na atmosfera =

80 µg/m³ = 8 x 10⁻⁸ kg/m³ (D.N.COPAM 01/1981)

Cálculo da energia cinética das massas de ar

A energia cinética das massas de ar necessárias à diluição do material particulado foi calculada em Joules por meio da Equação (3):

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3)$$

Onde:

E_c = energia cinética das massas de ar, em J/ano

m = massa de ar para a diluição, em kg/ano

v = velocidade média do vento na região = 1,67 m/s (FEAM, 2005)

Determinação da energia das massas de ar

A energia das massas de ar necessárias à diluição do material particulado foi obtida, em termos de energia solar incorporada (SeJ), por meio da Equação (4):

$$E = E_c \times T \quad (4)$$

Onde:

E = energia das massas de ar, em SeJ/ano

E_c = energia cinética das massas de ar, em J/ano

T = índice de transformidade para o ar = $1,5 \times 10^3$ Se-J/J (ODUM, 1996)

Determinação do valor monetário dos serviços ambientais

A emergência do serviço ambiental associada às massas de ar foi obtida em dólares (U\$) por meio da Equação (5) e, posteriormente, convertida em reais (R\$) na Equação (6):

$$D = E \times I \quad (5)$$

$$R = D \times A \quad (6)$$

Onde:

D = serviço ambiental associado às massas de ar, em dólares (U\$)/ano

R = serviço ambiental associado às massas de ar, em reais (R\$)/ano

E = emergência das massas de ar, em SeJ/ano

I = índice de equivalência = $3,0 \times 10^{12}$ SeJ/U\$ (ORTEGA, 2000)

A = cotação do dólar em 8/4/2011 = R\$ 1,62/U\$ (Banco Central do Brasil) www.bcb.gov.br

Resultados e discussão

A taxa de emissão ou carga de material particulado, em kg/h e kg/ano, calculada para os fornos de cada empreendimento é feita a seguir (Tabela 1).

Tabela 1 – Taxa de emissão de material particulado dos fornos das empresas

Empresa	Fornos	Taxa de Emissão (kg/h)	Taxa de Emissão (kg/ano)
L	F1	315,65	2,46 x 10 ⁵
	F2	922,36	7,19 x 10 ⁵
	F3	628,57	4,90 x 10 ⁵
	F4	648,21	5,17 x 10 ⁶
Subtotal		2514,79	6,63 x 10 ⁶
M	F1	76,99	6,14 x 10 ⁵
N	F1	560,00	4,47 x 10 ⁶
	F1	108,81	8,68 x 10 ⁵
O	F2	205,20	1,64 x 10 ⁶
	F3	205,20	1,64 x 10 ⁶
	F4	507,24	4,05 x 10 ⁶
	F5	507,24	4,05 x 10 ⁶
	F6	507,24	4,05 x 10 ⁶
Subtotal		2.040,93	1,63 x 10 ⁷
P	F1	504,00	4,02 x 10 ⁶
	F2	504,00	4,02 x 10 ⁶
Subtotal		1.008,00	8,04 x 10 ⁶
Q	F1	255,00	2,03 x 10 ⁶
	F2	255,00	2,03 x 10 ⁶
	F3	255,00	2,03 x 10 ⁶
Subtotal		765,00	6,09 x 10 ⁶
Total		6.965,71	4,21 x 10 ⁷

Os valores das massas de ar, em kg, utilizadas anualmente para a diluição do material particulado emitido pelos fornos de cada empresa vêm na sequência (Tabela 2).

Tabela 2 – Massas de ar utilizadas anualmente para a diluição do material particulado emitido pelos fornos das empresas

Empresa	Fornos	Massa de ar (kg/ano)
L	F1	$3,79 \times 10^{12}$
	F2	$1,11 \times 10^{13}$
	F3	$7,54 \times 10^{12}$
	F4	$7,95 \times 10^{13}$
Subtotal		$1,02 \times 10^{14}$
M	F1	$9,45 \times 10^{12}$
N	F1	$6,87 \times 10^{13}$
O	F1	$1,34 \times 10^{13}$
	F2	$2,52 \times 10^{13}$
	F3	$2,52 \times 10^{13}$
	F4	$6,22 \times 10^{13}$
	F5	$6,22 \times 10^{13}$
	F6	$6,22 \times 10^{13}$
Subtotal		$2,50 \times 10^{14}$
P	F1	$6,18 \times 10^{13}$
	F2	$6,18 \times 10^{13}$
Subtotal		$1,24 \times 10^{14}$
Q	F1	$3,13 \times 10^{13}$
	F2	$3,13 \times 10^{13}$
	F3	$3,13 \times 10^{13}$
Subtotal		$9,39 \times 10^{13}$
Total		$6,48 \times 10^{14}$

Na Tabela 3, é apresentada a energia cinética calculada para as massas de ar utilizadas anualmente na diluição do material particulado emitido pelos fornos das indústrias de ferro-liga.

Tabela 3 – Energia cinética das massas de ar utilizadas anualmente para a diluição do material particulado emitido pelos fornos das indústrias de ferro-liga

Empresa	Fornos	Energia cinética (J/ano)
L	F1	$5,28 \times 10^{12}$
	F2	$1,54 \times 10^{13}$
	F3	$1,05 \times 10^{13}$
	F4	$1,11 \times 10^{14}$
Subtotal		$1,42 \times 10^{14}$
M	F1	$1,32 \times 10^{13}$
N	F1	$9,58 \times 10^{13}$
	F1	$1,86 \times 10^{13}$
O	F2	$3,51 \times 10^{13}$
	F3	$3,51 \times 10^{13}$
	F4	$8,68 \times 10^{13}$
	F5	$8,68 \times 10^{13}$
	F6	$8,68 \times 10^{13}$
Subtotal		$3,49 \times 10^{14}$
P	F1	$8,62 \times 10^{13}$
	F2	$8,62 \times 10^{13}$
Subtotal		$1,72 \times 10^{14}$
Q	F1	$4,36 \times 10^{13}$
	F2	$4,36 \times 10^{13}$
	F3	$4,36 \times 10^{13}$
Subtotal		$1,31 \times 10^{14}$
Total		$9,04 \times 10^{14}$

Os valores energéticos, emergéticos e monetários dos serviços ecossistêmicos realizados pelo ar, em virtude da poluição atmosférica ocasionada pelas empresas integrantes do Acordo Setorial Ferro-Ligas, podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantificação energética, emergética e monetária dos serviços ecossistêmicos realizados pelo ar para a diluição dos poluentes emitidos pelas indústrias de ferro-liga

Empresa	Energia Cinética (J/ano)	Energia (SeJ/ano)	Valoração Emergética (U\$/ano)	Valoração Emergética (R\$/ano)
L	$1,42 \times 10^{14}$	$2,13 \times 10^{17}$	71.057,87	115.113,74
M	$1,32 \times 10^{15}$	$1,98 \times 10^{16}$	6.585,82	10.669,03
N	$9,58 \times 10^{13}$	$1,44 \times 10^{17}$	47.904,80	77.605,77
O	$3,49 \times 10^{14}$	$5,24 \times 10^{17}$	174.589,88	282.835,61
P	$1,72 \times 10^{16}$	$2,59 \times 10^{17}$	86.228,63	139.690,38
Q	$1,31 \times 10^{14}$	$1,96 \times 10^{17}$	65.441,37	106.015,02
Total	$9,04 \times 10^{14}$	$1,36 \times 10^{18}$	451.808,37	731.929,56

Conforme a Tabela 4, o meio ambiente depende anualmente $1,36 \times 10^{18}$ Joules de energia solar (SeJ) para a diluição natural dos poluentes lançados na atmosfera pelas indústrias L, M, N, O, P e Q instaladas na sub-bacia do Rio Verde Grande.

Assim, os serviços ambientais associados ao recurso natural, ar atmosférico, devido ao lançamento de material particulado em desacordo com a legislação por esses empreendimentos, correspondem monetariamente aos seguintes valores:

Empresa L: R\$ 115.113,74 por ano;

Empresa M: R\$ 10.669,03 por ano;

Empresa N: R\$ 77.605,77 por ano;

Empresa O: R\$ 282.835,61 por ano;

Empresa P: R\$ 139.690,38 por ano;

Empresa Q: R\$ 106.015,02 por ano.

Obtidos por meio da metodologia emergética, esses valores representam a indenização a ser paga pelas indústrias integrantes do Acordo Setorial Ferro-Ligas durante todo o período extra em que continuarem a operar sem os filtros.

Ressalte-se que os cálculos consideraram somente o serviço ambiental analisado. No caso em questão, consistiu na diluição natural das emissões atmosféricas até o padrão de qualidade do ar.

Assim, os custos monetários relativos à poluição atmosférica associados aos danos à saúde humana não foram quantificados.

Comparando os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2 com os valores mostrados na Tabela 4, observa-se que, quanto maior a carga de material particulado emitida por uma empresa, maior será a massa de ar utilizada na diluição dos poluentes e, conseqüentemente, maior a indenização a ser paga. Portanto, os valores monetários obtidos são diretamente proporcionais aos serviços ambientais quantificados em termos de energia solar incorporada (emergia).

Com base nos resultados da Tabela 4, e considerando que o prazo previsto no Acordo Setorial Ferro-Ligas para a instalação dos dispositivos de despoejamento expirou em 2011, o qual foi prorrogado pelo COPAM, a pedido das empresas, por mais três anos, a indenização, calculada por meio da metodologia emergética, totaliza R\$ 2.195.788,65, que deverá ser paga pelos empreendimentos, durante os anos de 2012 a 2014, na seguinte proporção:

Empresa L: R\$ 345.341,22;

Empresa M: R\$ 32.007,09;

Empresa N: R\$ 232.817,31;

Empresa O: R\$ 848.506,83;

Empresa P: R\$ 419.071,14;

Empresa Q: R\$ 318.045,06.

Conforme decisão do Copam, os valores supracitados começaram a ser depositados no Fundif em seis parcelas semestrais, a partir de janeiro de 2012, e repassados aos municípios afetados pela poluição para o financiamento da estruturação de quarenta e seis Conselhos Municipais de Meio Ambiente (Codemas) na sub-bacia do Rio Verde Grande. (COPAM, 2011)

Conclusão

Tendo em vista o artigo 225 da Constituição Federal de 1988, não resta dúvida de que a opção prioritária da ordem constitucional brasileira é a recuperação total do meio ambiente lesado. Entretanto, quando a restauração natural ou a compensação ecológica for tecnicamente inviável, torna-se necessário determinar um valor de indenização pelo dano ambiental irreversível (Lei 6938/1981, artigo 4.º, VII).

Todavia, a valoração monetária dos recursos e danos ambientais envolve conhecimentos multidisciplinares e requer a participação de equipes de profissionais especializados, como ressalta a Norma ABNT/NBR 14653 – Parte 6, que versa sobre métodos e procedimentos para avaliação de recursos naturais.

A dificuldade de conceituar ou de desenvolver métodos para estimar o valor econômico do meio ambiente surge do fato incontestável de que a maioria dos bens e serviços ambientais não é transacionada pelo mercado. Nesse contexto, a metodologia

emergética ou ecoenergética, que se propõe a quantificar os serviços ambientais em termos de energia solar incorporada (emergia), desponta como uma alternativa para valorar os recursos naturais e suas funções ecossistêmicas. (ODUM, 1996; PILLET, 1997)

Neste trabalho, a metodologia quantificou monetariamente o recurso ambiental afetado pelas emissões de material particulado acima dos níveis permitidos pela legislação, bem como calculou o valor da compensação financeira a ser pago pelas indústrias integrantes do Acordo Setorial Ferro-Ligas, localizadas na sub-bacia do Rio Verde Grande, até a instalação dos filtros de despoeiramento, conforme determinado pelo Copam e pelo MPMG.

A indenização calculada por meio da metodologia emergética no período de 2012 a 2014 (período extra em que as empresas continuariam a operar sem os filtros) correspondeu a R\$2.195.788,65 (dois milhões, cento e noventa e cinco mil setecentos e oitenta e oito reais e sessenta e cinco centavos). Esse valor deverá ser pago pelos seis empreendedores integrantes do acordo, de modo que, quanto maior a carga de material particulado emitida pela empresa, maior será a massa de ar utilizada na diluição dos poluentes e, conseqüentemente, da parcela a ser paga. Portanto, os valores monetários obtidos permitiram a distribuição do ônus pelo dano ambiental de forma proporcional entre as indústrias, uma vez que a sanção pecuniária aplicada é diretamente proporcional aos serviços ambientais realizados pela atmosfera para a diluição da carga de poluentes de cada empreendimento.

Dessa forma, a aplicação da metodologia emergética na valoração dos serviços ecossistêmicos apresenta vantagens em relação aos métodos econômicos, pois, ao contrário da economia convencional, contabiliza, em termos de energia solar incorporada (emergia), a contribuição da natureza no controle da poluição.

Ressalte-se que os valores obtidos serão revertidos em benefícios para os municípios integrantes da sub-bacia do Rio Verde

Grande, e dizem respeito, exclusivamente, ao serviço ambiental analisado. No caso em questão, consistiu na diluição natural das emissões atmosféricas até o padrão de qualidade do ar. Assim, os custos monetários relativos à poluição atmosférica associados aos danos à saúde humana não foram quantificados.

