MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL
PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA
SECRETARIA DE PERÍCIA, PESQUISA E ANÁLISE
CENTRO NACIONAL DE PERÍCIA

PARECER TÉCNICO Nº 1495/2019 – SPPEA

REFERÊNCIA	Autos nº 1.00.000.003849/2019-06
UNIDADE SOLICITANTE	PR – Amazonas
AUTORIDADE REQUERENTE	Procuradora da República Ana Carolina Haliuc Bragança
EMENTA	Força Tarefa Amazônia – Valoração de danos socioambientais – Mineração de ouro no bioma amazônico – Elaboração de fórmula para estimação do dano.
TEMÁTICA	Meio Ambiente e Patrimônio Cultural
GUIA SISTEMA PERICIAL	001576/2019
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	**Feição considerada** : (x) **pontual** ( ) **linear** ( ) **poligonal** Lat/Long dec.: -3,044653° Lat. -60,1071907 ° Long.

I. INTRODUÇÃO

1. Atende-se à demanda da Procuradora da República no Amazonas Dra. Ana Carolina Haliuc Bragança, efetuada por meio da Guia SPPEA/PGR n° 001576/2019 do Sistema Pericial, de 11/6/2019, que solicita elaboração de fórmula de valoração de danos socioambientais decorrentes da mineração de ouro no bioma amazônico, conforme Instrução de Serviço n° 6/2019 - SPPEA.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

II. ANÁLISE

2. Trata-se de demanda no interesse da Instrução de Serviço nº 6 da Secretaria de Perícia, Pesquisa e Análise – SPPEA, que instituiu Grupo de Trabalho para fins de elaboração de fórmula de valoração de danos socioambientais decorrentes da mineração de ouro no bioma amazônico. Tal fórmula tem por propósito o auxílio aos membros do MPF, em especial aos integrantes da Força Tarefa Amazônia, no arbitramento de valores para os casos em que haja a apreensão de ouro ilegal, contudo, sem a informação de sua procedência, ou seja, sem a informação do local em que houve de fato a extração mineral e sem as informações complementares que daí proviriam (*e.g.* extensão da área de garimpo, existência de comunidades humanas afetadas, localização em reserva ambiental ou indígena, etc.)

3. Portanto, embora a valoração econômica seja aplicada a casos concretos nos quais sejam identificadas características particulares passíveis de mensuração, a necessidade de valoração aqui apresentada parte do ponto oposto: quantificar o dano ambiental decorrente de atividades de mineração ilegal de ouro na Amazônia mesmo que não seja conhecida a área efetivamente degradada.

4. Ademais, conforme ressalta a revista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais, na edição especial de 2011 sobre o Meio Ambiente, são encontradas algumas premissas jurídicas que podem nortear a escolha da metodologia de valoração econômica mais adequada para efetuar o presente trabalho. A Lei nº 6.938, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, assim dispõe:

> Art 4º - A Política Nacional do Meio Ambiente visará:
>
> (...)
>
> VI - à preservação e restauração dos recursos ambientais com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida;
>
> VII - à imposição, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.

5. Percebe-se, portanto, a prioridade legal conferida à reparação do dano, mas enfatiza-se que também existe a opção indenizatória. Conforme a revista MPMG Jurídico[1], "a indenização é forma indireta de reparar a lesão ao meio ambiente e deve nortear a reparação do dano ambiental somente se não for possível a reparação *in situ* ou a compensação (total ou parcialmente)". Dessa forma, assinala-se que a metodologia a ser desenvolvida para uso não visa à restauração/recuperação do dano ambiental, vez que não está baseada na identificação da área degradada, mas sim da quantidade de ouro extraído de forma ilegal.

[1] MPMG (2011). *Valoração do dano ambiental: algumas premissas*, in Revista do Ministério Público do Estado de Minas Gerais, Edição Especial.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

6. Nesse contexto, realizou-se um levantamento bibliográfico de modo a verificar a existência de estudos já realizados sobre a temática e as eventuais lacunas na literatura. Assim, descreve-se inicialmente a metodologia adotada de valoração de danos ambientais e, em seguida, a literatura revisada para cada categoria de valor econômico. Devido às particularidades da mineração de ouro para o meio ambiente, deteve-se com maior foco nos impactos decorrentes do uso do mercúrio. Em seguida, apresenta-se um resumo dos valores encontrados e desenvolve a fórmula objeto da demanda. Por fim, exemplifica-se sua aplicação com um caso concreto de apreensão de ouro.

II.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

7. As metodologias para valoração econômica de danos ambientais são embasadas na teoria microeconômica das variações de bem-estar social decorrentes de alterações dos fluxos de serviços e recursos ambientais. Tais metodologias, contudo, são comumente criticadas devido ao equívoco de se associar o valor das estimações ao preço do meio ambiente ou do bem cultural lesado. Desse modo, é mister explicitar que o que se procura aqui não é estimar o preço do meio ambiente, ou seja, não se deve interpretar os valores estimados como um preço ao qual equivaleria a preservação ou não do recurso ambiental. Além da quantificação decorrente dessas técnicas apresentarem variância considerável devido ao uso de metodologias indiretas (aproximações) para valoração, somam-se a ausência de dados necessários e o uso de hipóteses restritivas, as quais impossibilitam almejar a estimação de um valor final incontestável.

8. Entretanto, o uso de metodologias que transpareçam seus fundamentos e dados utilizados permitem uma defesa robusta de que o valor obtido é correlacionado ao dano. A existência de coerência lógica nos modelos utilizados e a fundamentação empírica das estimativas permitem testar, refinar e melhorar os valores obtidos. Ou seja, alicerçados no método científico, ao invés do mero arbitramento, é possível obter montante proporcional à perda de bem-estar social devido à perda de serviços e recursos ambientais. Assim, a valoração econômica vem somar a dimensão humana do dano ambiental à análise dos prejuízos ambientais, biológicos e geográficos.

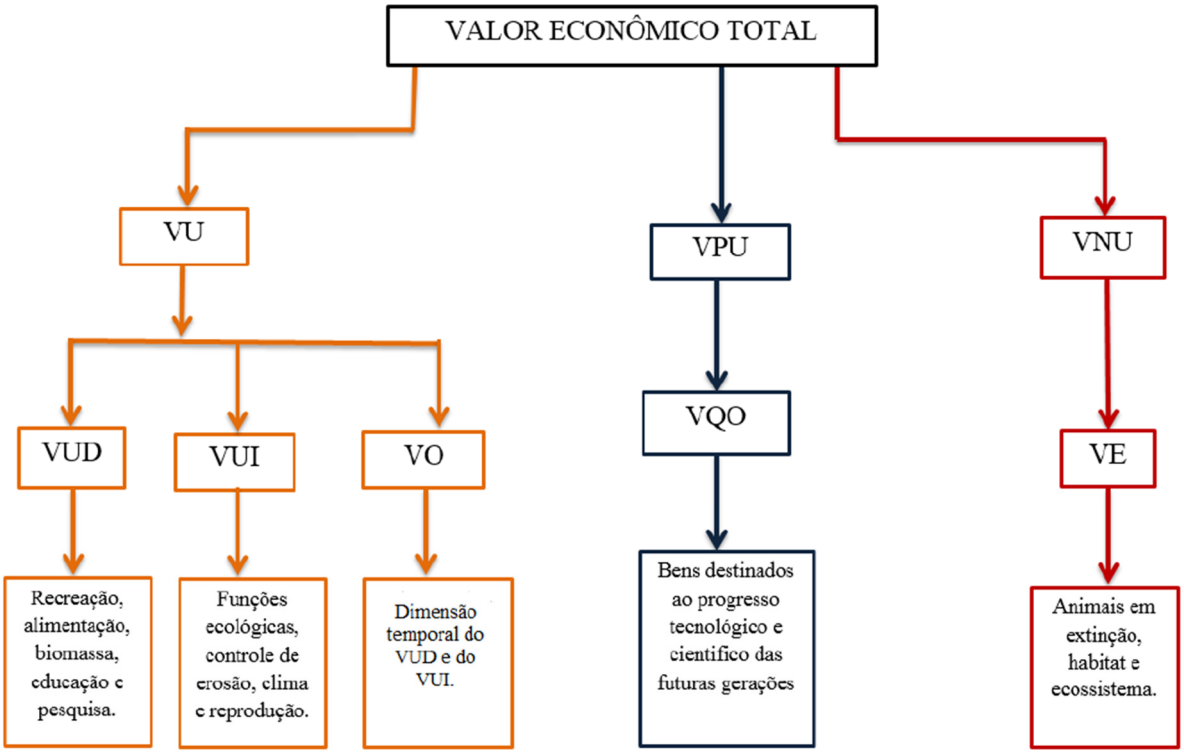
9. Essa perda de serviços e recursos ambientais procede, economicamente falando, de todos os valores em termos de consumo e produção associados a um determinado dano ambiental. Esse cálculo é feito com base na redução resultante do chamado Valor Econômico Total (VET). O VET subdivide-se em cinco categorias: valor de uso direto (VUD), valor de uso indireto (VUI), valor de opção (VO), valor de quase-opção (VQO) e valor existencial (VE). Abaixo, na Figura 1, exemplifica-se cada um destes.

10. Nesse prisma, portanto, é possível valorar o dano ambiental em termos monetários com base na variação do VET em relação às mudanças de disponibilidade dos

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

serviços ambientais após o dano, condicionando essas mudanças às características desse serviço, ao nível de renda e às preferências dos indivíduos.

Figura 1 – Categorias dos valores ambientais



Fonte: Castro (2015)[2].

11. Em decorrência da natureza do objetivo do Grupo de Trabalho (a elaboração de fórmula de valoração de danos socioambientais com base apenas na apreensão do ouro ilegal), da restrição de prazo e da restrição orçamentária, a metodologia que mais se adequa ao caso é a **Transferência de Valores**. Ela consiste em estimar o valor econômico de um serviço ou recurso ambiental com base em estudos realizados para outros danos ou outras regiões. Assim, busca-se superar a ausência de informações com base na literatura já existente.

12. A Transferência de Valores pode ser realizada através do ajuste unitário, de uma função de transferência ou de uma função meta-analítica. O ajuste unitário envolve ajustes indiretos e simples para as unidades de valores obtidas de outros estudos e transferidas para refletir as diferenças das características do serviço ou do recurso impactado. Já a função de transferência utiliza o ajuste paramétrico de funções de produção ou demanda estimadas por outros estudos que se utilizam de técnicas como valoração contingente, preços hedônicos, custos de viagem, etc[3]. E, por fim, a função meta-analítica estima uma função parametrizada

[2] Castro, Joana D'arc Bardella (2015). *Usos e abusos da Valoração Econômica do Meio Ambiente: Ensaios sobre Aplicações do Método Função Demanda no Brasil*. Tese de Doutorado em Economia, Universidade de Brasília – UnB.

[3] Para uma descrição mais detalhada dessas técnicas, ver Seroa da Motta, Ronaldo (1997). *Manual para Valoração de Recursos Ambientais*, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Ou ainda: Seroa da Motta, Ronaldo (2008). *Economia Ambiental*. Editora FGV.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

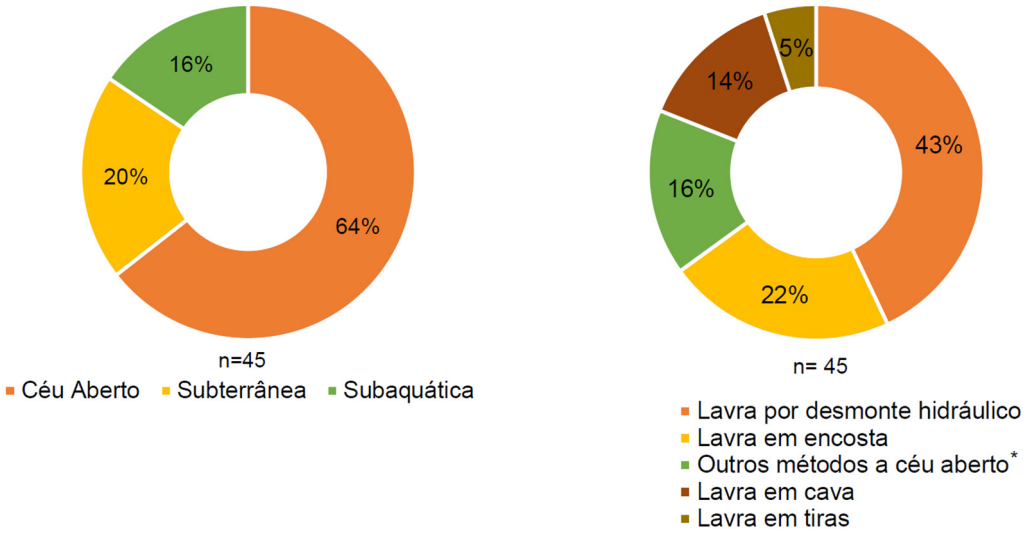
com base no conjunto de dados fornecidos por um rol diverso de estudos para um mesmo recurso ou serviço ambiental.

13. Em que pese a maior simplicidade metodológica da Transferência de Valores, há de se precaver no uso dessa técnica observando-se atentamente a semelhança do serviço ou recurso ambiental, do dano ambiental e das suas consequências socioambientais. Uma vez que os próprios estudos primários gozam de variabilidade nas estimativas, utilizar-se da Transferência de Valores para casos não muito próximos pode implicar em erros muito elevados dos valores obtidos.

14. Sempre que possível, portanto, ater-se-á a estudos de valoração cujo bioma é a floresta tropical da Amazônia e aos danos socioambientais provenientes da atividade de mineração de ouro em pequena escala. Nessa linha, também se faz necessário delimitar o método de lavra utilizado na exploração do minério, dado que, a depender desse método, haverá impactos diferentes sobre o meio ambiente e as populações locais.

15. É de especial relevância para essa delimitação o estudo "Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental da Mineração em Pequena Escala no Brasil" do Ministério de Minas e Energia (MME, 2018)[4]. Conforme se observa no Relatório nº 4, "Inventário da Mineração em Pequena Escala dos Minerais Metálicos", a grande maioria das minas de minerais metálicos opera com o método de lavra a céu aberto e, dentro destas, por desmonte hidráulico. Assim, uma vez que a fórmula proposta não observará a operação de mineração e, consequentemente, o método de lavra utilizado, pode-se adotar como paradigma o método de lavra a céu aberto e seus impactos ambientais decorrentes.

Figura 2 – Métodos de lavra em minas de minerais metálicos e dentro das lavras a céu aberto



Fonte: MME, 2018.

[4] Ministério de Minas e Energia (2018). Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental da Mineração em Pequena Escala no Brasil. Ver http://www.mme.gov.br/web/guest/projetos/meta/documentacoes, último acesso em 01/04/2019.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

16. As figuras 3 e 4 abaixo ilustram esse método de lavra a céu aberto com desmonte hidráulico. De acordo com o Relatório do MME, este método se utiliza de jatos de água com alta pressão, que resultam na desagregação do mineral. A polpa resultante consiste de uma mistura de água com os sólidos em suspensão, que é transportada por uma tubulação até a unidade de beneficiamento de minério.

Figura 3 - Lavra por desmonte hidráulico

Fonte: MME, 2018.

Figura 4 - Transporte de material em polpa por dragagem e sucção

Fonte: MME, 2018.

17. Em consequência, a extração de ouro por meio desse método provoca impactos

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

consideráveis no nível fisionômico, químico, biológico e humano. Desmatamento, destruição da fauna e da flora locais, alterações físico-químicas dos leitos aquáticos e poluição com insumos químicos utilizados na mineração estão entre os principais danos ocasionados.

18. Nesse último aspecto, de acordo com o Relatório Final do mesmo estudo, 95% de todas as unidades produtoras de ouro utilizam mercúrio no processo de amalgamação. Esse fato torna-se relevante diante da perda dessa substância para o meio ambiente, seja pela não combinação com o ouro, seja pela queima dessa liga para purificar o metal. Assim, parte importante da análise deve se ater à valoração do dano socioambiental do uso de mercúrio.

19. Outra particularidade que decorre da natureza do objetivo do Grupo de Trabalho (novamente, a elaboração de fórmula de valoração de danos socioambientais com base apenas na apreensão do ouro ilegal), é a ausência do conhecimento sobre a extensão da operação de mineração da qual o ouro proveio. Diante dessa dificuldade é preciso obter estimativas a respeito da média de produção por unidade de área.

20. Nesse propósito, Porto e*t al*. (2002)[5] salienta que, apesar do Brasil apresentar terrenos com grande potencial geológico para ouro, a produção por km² nesses terrenos ainda é baixa (0,9 kg/km²). Contudo, a despeito da defasagem temporal desse estudo, deve-se ressaltar que no caso das operações de mineração ilegal, essa produtividade deveria ser ainda mais baixa, dada a ênfase ao trabalho de pequenas equipes, um predomínio dos instrumentos de trabalhos mais "rústicos" (manuais e semimecanizados), tais como a bateia, a picareta, a pá etc., apoiados ou não por maquinário a combustíveis fósseis. Somam-se também à carência de técnicas para melhor recuperação do metal a inexistência de pesquisa geológica prévia que permita um melhor conhecimento da jazida e o desenvolvimento das suas atividades. Ou seja, é crível a hipótese de que a baixa produtividade persista nessas operações ilegais, podendo-se utilizar essa estimativa mesmo tratando-se de um estudo antigo.

21. Assim, tendo em vista os fatos, considerações metodológicas e delimitações do objeto de análise acima descritos, analisa-se a seguir a literatura existente para estimativas de cada categoria do Valor Econômico Total – VET.

II.1.1 VALORES DE USO DIRETO

22. O valor de uso direto é o valor relacionado aos bens e serviços ambientais com potencial de utilização direta, isto é, que podem ser explorados e consumidos hoje. Produtos madeireiros, não madeireiros (alimentos, produtos vegetais para uso medicinal, materiais para artefatos diversos, dentre outros) e recreativos (em especial turismo) fazem parte dessa categoria. Por apresentar correspondentes que são negociados no mercado comum, com preços

[5] Porto, Claudio Gerheim, Palermo, Nely e Pires, Fernando R. Mendes (2002). Panorama da exploração e produção do ouro no Brasil. In: *Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente*. Cap.1. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p.1-22.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

verificáveis, espera-se que esta categoria do VET incorra em menor variância nas estimações.

23. Como exemplo, o estudo de Mendonça *et al*. (2004) elabora estimativas das perdas econômicas causadas por incêndios florestais na Amazônia considerando as externalidades negativas sobre agricultura, a emissão de CO2, problemas respiratórios e a perda de floresta[6]. Esta última é estimada com base na redução do estoque de madeira comercializável decorrente dessas queimadas na região de Paragominas/PA: para o ano de 2000, utilizou-se como referência o valor de US$ 5 ao ano por hectare de árvores mortas. Esse valor é inferior ao que Seroa da Motta (2002)[7] estima ao considerar a produção de madeira que pode ser extraída com técnicas de manejo de baixo impacto ambiental. Ao ajustar os preços médios da madeira extraída da região amazônica pela Pesquisa Extrativa Vegetal do IBGE para o período 1994-2000, o autor obteve um valor de US$ 28,5 ao ano por hectare com o extrativismo madeireiro na região para o ano 2000.

24. Assim, estudos que comparam os custos e lucros da exploração madeireira de Impacto Reduzido (que se utilizam da aplicação de técnicas de colheita aprimoradas para minimizar os danos ao ecossistema florestal) encontram um valor econômico superior à exploração convencional. Barreto *et. al.* (1998)[8] examinam a extração de madeira gerida por meio de Exploração de Impacto Reduzido e encontram um aumento de produtividade, para um ciclo de corte de 20 anos, cujo resultado enseja um valor de U$ 53,61/ha ao ano.

25. O valor de uso direto para produtos não madeireiros, por sua vez, proporciona às pessoas que habitam a floresta um meio de renda, dado que alguns desses produtos, como palmito e borracha natural, têm sido comercializados com sucesso. Com base em uma metanálise de diversos estudos, Torras (2000)[9] estima um valor para o ano de 1993 de US$ 131 por hectare ao ano para produção de alimentos (frutas, castanhas, óleo de babaçu, dentre outros) e US$ 74 para outros materiais naturais, como o látex e corantes. Já Shone & Caviglia-Harris (2006)[10] quantificaram o valor de colheita por hectare de floresta para produtos não-madeireiros (mel, peixe, mamão, cupuaçu, açaí, maracujá, abacaxi, frutas cítricas e outras frutas tropicais) por meio de diversas técnicas econométricas utilizando um painel de dados de domicílios coletados entre 1996 e 2000. Como base nessa amostra, estimam que o consumo e a venda dessas colheitas na floresta geram em média, para preços de 2000, um valor de R$ 63,31 por hectare a.a.

---

[6] Mendonça, Mário & Vera-Diaz, Maria & Nepstad, Daniel & Seroa da Motta, Ronaldo & Alencar, Ane & Carlos Gomes, João & Ortiz, Ramon (2004). *The economic cost of the use of fire in the Amazon*. Ecological Economics. nº 49. p. 89-105.

[7] Seroa da Motta, Ronaldo (2002). *Estimativa do Custo Econômico do Desmatamento na Amazônia*. Texto para Discussão n° 910, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA.

[8] Barreto, P., Amaral, P., Vidal, E. & Uhl, Christopher (1998). *Costs and benefits of forest management for timber production in eastern Amazonia*. Forest Ecology and Management vol. 108, p. 9-26.

[9] Torras, Mariano (2000). *The total economic value of Amazonian deforestation, 1978-1993*. Ecological Economics nº 33, vol (2), p. 283-297.

[10] Shone, Bryan M., Caviglia-Harris, Jill L. (2006). *Quantifying and comparing the value of non-timber forest products in the Amazon*. Ecological Economics, Vol 58, nº 2, p.p 249-267.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

26. Já Verweij *et al*. (2009)[11], em relatório para a WWF, apresentam uma revisão da literatura com valores entre US$ 50 e US$ 100 por hectare a.a., enquanto Seroa da Mota (2000) estima que o potencial de perda extrativa não-madeireira por hectare de floresta decorrente das queimadas de US$ 0,20/ha a.a., valor muito abaixo da média dos demais estudos. Essa variação das estimativas deve-se a diferenças na caracterização dos itens que constituem a cesta de produtos não madeireiros, seus valores apenas para venda ou para venda e consumo e a forma de exploração/produção analisada.

27. Outra importante fonte de valor de uso da Floresta Amazônica decorre do seu uso recreativo. A supressão da vegetação e da fauna reduzem o potencial de exploração e consumo, em especial o turismo para a região. Seroa da Mota (2002) utiliza como *proxy* para essa atividade a receita líquida total dos municípios mais dinâmicos na atividade de ecoturismo do estado de Mato Grosso do Sul, dividida pela área territorial do estado. Isso devido à inexistência de informações sistematizadas da atividade de ecoturismo na Amazônia. Considerando o potencial observado em 2000, estimou-se o valor US$ 9,00 por hectare a.a. como a receita líquida a ser sacrificada em ecoturismo no caso do desmatamento.

28. Esse valor difere um pouco daquele encontrado por Verweij *et al*. (2009), que utiliza estudos realizados para o ecoturismo na Amazônia Equatoriana. Estima-se um valor de US$ 3 a US$ 7 por hectare a.a. com essa atividade. Já Torras (2000), ao se utilizar de estudos para outras florestas tropicais, em regiões como Costa Rica, Camarões e na ilha de Galapagos, no Equador, encontra um valor bem superior, US$ 37 por hectare a.a., possivelmente por se tratar de locais bem desenvolvidos em termos da indústria do turismo.

29. Deve-se ressaltar que os estudos acima resenhados encontram os valores de uso direto padronizados para toda a extensão da região. A despeito da heterogeneidade da fauna e flora da floresta, da densidade populacional e atividades econômicas diversas, assumir como hipótese simplificadora uma uniformização por hectare torna-se necessária pela limitação dos dados e pela natureza da fórmula de valoração de danos requerida.

II.1.2 VALORES DE USO INDIRETO

30. O valor de uso indireto decorre do benefício presente derivado das funções ecossistêmicas. Nesta linha, Costanza *et al*. (1997)[12] é uma das principais referências de valoração dos serviços ecossistêmicos. Os autores definem serviços ecossistêmicos como os benefícios que as populações humanas obtêm, direta ou indiretamente, das funções ecossistêmicas. Estão incluídos, portanto, benefícios econômicos e não econômicos. Uma

[11] Verweij, P., M. Schouten, P. Van Beukering, J. Triana, K. Van der Leeuw and S. Hess (2009). *Keeping the Amazon forests standing: a matter of values*. Report for WWF Netherlands.

[12] Robert Costanza, Ralph d'Arge, Rudolf de Groot, Stephen Farber, Monica Grasso, Bruce Hannon, Karin Limburg, Shahid Naeem, Robert V. O'Neill, Jose Paruelo, Robert G. Raskin, Paul Sutton & Marjan van den Belt (1997). *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. Nature, Vol. 387, p. 253.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

consideração importante que consta nessa referência é a de que:

> Embora reconheçamos que existem muitos problemas conceituais e empíricos inerentes à produção de tal estimativa, pensamos que este exercício é essencial para: (1) tornar mais visível o leque de valores potenciais dos serviços dos ecossistemas; (2) estabelecer pelo menos uma primeira aproximação da magnitude relativa dos serviços ecossistêmicos globais; (3) estabelecer uma estrutura para sua análise posterior; (4) apontar as áreas que mais necessitam de pesquisa adicional; e (5) estimular pesquisas e debates adicionais. (Tradução própria)

31. Dessa forma, são relacionados dezessete grupos de serviços ecossistêmicos para todos os biomas do planeta. Para as florestas tropicais, entre as quais se inclui a floresta amazônica, são considerados os serviços de regulação climática, regulação de distúrbios, regulação da água, oferta de água, controle de erosão, formação do solo, ciclagem de nutrientes, tratamentos de resíduos, produção de alimentos, matérias-primas, recreação, recursos genéticos e valoração cultural. Contudo, estes últimos 5 serviços, devido a sobreposição com o valor de uso direto, valor de quase opção e valor existencial analisados em outras seções, foram retirados da análise que segue.

32. Dada a diversidade de componentes do total de serviços ecossistêmicos, Costanza *et al.* (1997) se utilizaram de várias metodologias de valoração econômica, conforme o caso, para encontrarem um valor monetário por unidade de área para cada bioma. Foram usados tanto métodos de observação de preços de mercado como métodos de valoração contingente. O valor total encontrado, expressos em dólares americanos em 1994, foi de US$ 1.505/ha ao ano.

33. Uma estimação mais recente dos valores monetários globais dos serviços ecossistêmicos dos biomas encontra-se em Groot *et al*. (2012)[13]. A metodologia básica desse artigo é a transferência de valores, o que vem ao encontro do presente estudo. Tais resultados, inclusive, foram utilizados como referência para a cartilha de Valoração do Dano Ambiental produzida pelo Ministério Público do Estado de Mato Grosso nos cálculos do índice de impacto ecossistêmico em casos de desflorestamentos irregulares, inexistência de reserva legal e madeira nativa serrada[14].

34. A valoração empregada por Groot *et al*. resulta em valores anuais por hectare de ecossistema. Nesse trabalho, foram considerados 22 serviços ecossistêmicos, dos quais dezessete se aplicam ao bioma de florestas tropicais. Eles incluem bens e serviços diretamente providos pelo bioma, serviços de regulação, serviços culturais e de habitat. Também para não

---

[13] Rudolf de Groot, Luke Brander, Sander van der Ploeg, Robert Costanza, Florence Bernard, Leon Braat, Mike Christie, Neville Crossman, Andrea Ghermandi, Lars Hein, Salman Hussain, Pushpam Kumar, Alistair McVittie, Rosimeiry Portela, Luis C. Rodriguez, Patrick ten Brink, Pieter van Beukering (2012). *Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units.* Ecosystem Services, Vol. 1, nº 1, p. 50-61.

[14] Ministério Público do Estado de Mato Grosso (2017). *Valoração do Dano Ambiental – Casos Aplicados ao Estado de Mato Grosso*. Último acesso em 1/8/2019: https://pjedaou.mpmt.mp.br/wp-content/uploads/2017/10/VALORACAO_DANO_AMBIENTAL_MT_PJEDAOU-1.pdf,

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

haver sobreposição com outras categorias de valores, utilizou-se apenas as estimativas dos serviços de regulação, que incluem regulação da qualidade do ar, da água, regulação climática, polinização, prevenção de erosão, ciclagem de nutrientes dentre outros. O valor total encontrado, expressos em dólares americanos em 2007, foi de US$ 2.529/ha ao ano.

35. Entretanto, pesa sobre estudos desse gênero a crítica de que "[os] cálculos têm uma utilidade ilustrativa em mostrar que os ecossistemas naturais são muito valiosos, mas os números gerados estão desconectados da perspectiva de serem traduzidos em pagamentos reais" (Fearnside, 2008, p.58)[15]. Essa inaplicabilidade apontada se refere à utilização desses valores para monetizar os serviços ecossistêmicos fornecidos por todos os biomas terrestres. Em outras palavras, é impraticável cobrar do conjunto da humanidade o valor de todos os serviços ambientais fornecidos em todo o planeta.

36. Isso porque, para a finalidade de criar recompensas financeiras a certas comunidades pela simples prestação dos serviços ambientais, esses valores podem se mostrar desarrazoados, uma vez que não consideram os custos incorridos por toda a sociedade na manutenção dos biomas. Ou seja, mensuram apenas os serviços ambientais prestados sem considerar o custo de oportunidade da preservação. Se toda a sociedade se beneficia dos serviços ambientais sem por eles pagar, também toda a sociedade arca com o custo de oportunidade da preservação ambiental e não é compensada financeiramente por esse custo.

37. No entanto, para o objetivo da presente análise, as referências de valores encontradas por Costanza *et. al.* (1997) e Groot *et. al.* (2012) podem ser consideradas apropriadas. Na situação de exploração ilegal com geração de dano ambiental há um ganho privado em detrimento da geração de serviços ambientais para toda a sociedade. Assim, ao fazer a opção pela extinção dos serviços ambientais que servem a coletividade para auferir ganhos privados, o causador do dano ambiental deve recompensar toda a coletividade na proporção equivalente ao dano causado.

II.1.3 VALORES DE OPÇÃO E QUASE-OPÇÃO

38. O valor de opção deriva da opção que se faz para o uso futuro dos recursos ou serviços ambientais, ou seja, deriva da disposição a pagar pela conservação visando sua exploração e consumo futuros. Esse valor, portanto, decorre dos valores diretos e indiretos diferidos no tempo. Necessita, para tanto, de uma taxa de desconto intertemporal para seu cálculo, a qual está relacionada com a forma que a sociedade valoriza o presente em relação ao futuro. Essa questão envolve, desse modo, considerações éticas e aspectos inerentes aos riscos da degradação dos recursos e serviços impactados (uma vez que os danos ao meio ambiente podem seguir trajetórias não-lineares e pequenas alterações podem ter impactos imprevistos).

[15] Fearnside, Philip M. (2008) *Valoração Econômica e os Serviços Ambientais da Amazônia*. In: Valoração e instrumentos econômicos aplicados ao meio ambiente: alternativas para proteger a Amazônia. A. Rivas, C.E. Freitas & R.R. Mourão (eds.), Instituto I-Piatam, Manaus-AM.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

Essa discussão será abordada na seção de desenvolvimento da fórmula de valoração.

39. Já o Valor de Quase-Opção, por sua vez, representa o potencial uso dos recursos e serviços ambientais que podem advir do avanço técnico-científico futuro. Esse cálculo, controverso pelo seu grau de incerteza, é mais utilizado com base no potencial de bioprospecção para fins farmacêuticos devido à alta probabilidade de se encontrar usos dessa natureza em biomas representativos como é o da Amazônia. Com o desmatamento e a extinção de espécies nativas, é natural que diminua a probabilidade de descobertas.

40. Assim, embora os valores possam ser bastante altos, há uma grande variância dos valores de opção encontrados na literatura. May *et al*. (2013)[16] revisa alguns desses estudos, mostrando uma variação entre US$ 21 por hectare a quase US$ 10.000 por hectare analisando dados da mesma floresta no leste do Equador. Conforme ressaltam os autores, essa variação decorre "de suposições distintas sobre o número de espécies endêmicas que podem ser encontradas em um determinado trecho de floresta e as estratégias usadas para coleta e triagem" (tradução própria, p. 16).

41. Com efeito, valores menores são mais condizentes com o de outros estudos revisados: Andersen (1997)[17] calcula o valor de quase-opção da biodiversidade para a Amazônia brasileira com base no potencial de uso médico das plantas tropicais. Ele se utiliza da probabilidade de algumas das espécies nativas produzirem medicamentos comercializáveis e a estimativa de extinção de 60 mil espécies nos próximos 50 anos. Desse modo, o autor encontra um valor de US$ 30 a.a. por hectare. Torras (2000), por sua vez, ao se utilizar da transferência de valores com base numa metanálise de estudos de outras florestas tropicais, estima em US$ 18 a.a. por hectare o valor de opção para a Amazônia.

42. Nessa mesma linha de metanálises, Costanza *et al.* (1997) estimam para biomas de florestas tropicais o benefício científico da biodiversidade decorre do fornecimento de material genético a ser usado para fins médicos ou para engenharia genética de, por exemplo, culturas mais resistentes a pragas. Assim, encontram um valor médio de US$ 41/ha a.a. Nessa mesma linha, Groot *et. al.* (2012) estimam, para preços de 2007, um valor médio um pouco menor de US$ 23/ha a.a.

II.1.4 VALORES DE EXISTÊNCIA

43. Valor de existência é a única categoria que não está relacionada a nenhum uso dos recursos ou serviços ambientais. Como discorre Seroa da Motta (1997), o valor de existência decorre:

---

[16] May, Peter H. & Soares-Filho, Britaldo Silveira & Strand, Jon (2013). *How much is the Amazon worth? The state of knowledge concerning the value of preserving amazon rainforests*, Policy Research Working Paper Series, n° 6668, The World Bank.

[17] Andersen, L. E. (1997). *A Cost-Benefit Analysis of Deforestation in the Brazilian Amazon*. Texto para Discussão n° 455, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

> ...de uma posição moral, cultural, ética ou altruística em relação aos direitos de existência de espécies não-humanas ou preservação de outras riquezas naturais, mesmo que estas não representem uso atual ou futuro para o indivíduo. Uma expressão simples deste valor é a grande atração da opinião pública para salvamento de baleias ou sua preservação em regiões remotas do planeta, onde a maioria das pessoas nunca visitarão ou terão qualquer benefício de uso. Há também uma controvérsia na literatura a respeito do valor de existência representar o desejo do indivíduo de manter certos recursos ambientais para que seus herdeiros, isto é, gerações futuras, usufruam de usos diretos e indiretos ("*bequest value*"). É uma questão conceitual considerar até que ponto um valor assim definido está mais associado ao valor de opção ou de existência. O que importa para o desafio da valoração é admitir que indivíduos podem assinalar valores independentemente do uso que eles fazem hoje ou pretendem fazer amanhã. (p. 12)

44. Nesse sentido, a ciência econômica desenvolveu metodologias de preferências declaradas, as quais estimam com base em mercados hipotéticos construídos especificamente para o recurso ambiental em análise a disposição a pagar frente a variação de disponibilidade do recurso ambiental. Destas, a mais comum é a valoração contingente, que se utiliza de pesquisas com questionários estruturados e investiga junto a uma amostra da população sua disposição a pagar por investimentos para proteção ambiental do recurso em questão.

45. Seroa da Motta (2002), se utiliza de valorações contingentes realizadas para outras florestas e países, ajustando-as pela renda, para obter estimativas do valor de existência da Floresta Amazônica. Contudo, não apenas para a população brasileira, mas também para o resto da população global, uma vez que o ecossistema em questão pode ser considerado um bem público mundial, dado que envolve o abastecimento de uma porção considerável de água doce e oxigênio do mundo, além da riqueza biológica que possui. Calcula-se, dessa forma, um valor crescente a depender da categoria de renda do país. Para a média mundial, o valor de existência estimado foi de US$ 31,2 por hectare a.a.

46. Mendonça & Tilton (2000)[18], por sua vez, elaboraram um estudo de valoração contingente especificamente para o caso da mineração na Amazônia, obtendo uma estimativa de cerca de R$ 5,9 por pessoa. Assim, assumindo que apenas o chefe de família tenha essa propensão a pagar e tomando-se por base o número de domicílios particulares em 1997 e a área da floresta Amazônica[19], obtém-se o valor de R$ 0,62/ha ao ano. Cabe frisar, porém, que essa estimativa levou em conta apenas as respostas de uma amostra não representativa do Brasil, mostrando-se abaixo dos valores encontrados por Seroa da Motta (2002) para países de renda média (US$ 3,9).

47. Verweij *et al*. (2009) reportam valores entre US$ 10 e US$ 26 a.a. por hectare.

[18] Augusto F. Mendonça & John E. Tilton (2000). *A contingent valuation study of the environmental costs of mining in the Brazilian Amazon*. Minerals & Energy - Raw Materials Report, vol (15), nº4, p21-32

[19] 43.967.037 famílias residentes em domicílios particulares. Fonte: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio – 1997, IBGE. 419.694.300 hectares. Fonte: Mapa de Biomas do Brasil (2004), IBGE.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

Não obstante, Torras (2000), utilizando-se da transferência de valores de outras florestas, encontra um valor muito superior aos demais, US$ 194 a.a. por hectare. Como o próprio autor verifica, o enorme desvio-padrão para o valor de existência compromete a confiabilidade do seu resultado.

48. Navrud & Strand (2017)[20] utilizam-se do método Delphi ao invés do método de preferência revelada para estimar o valor de existência da Amazônia. Ao invés da amostra populacional comum e da pesquisa via questionário estruturado, o método Delphi é um método participativo, interativo e anônimo usado para coletar e avaliar o conhecimento e as preferências de especialistas sobre o tema. No estudo em questão, uma amostra de economistas ambientais europeus, familiarizados com os métodos de pesquisa de preferências declaradas, foi solicitada a prever o resultado de uma pesquisa de valoração contingente em seu próprio país e entre os países europeus para evitar uma perda florestal futura na Amazônia. O resultado encontrou uma disposição média a pagar pelas famílias europeias para preservar a atual Floresta Amazônica de 28 euros anualmente como um imposto de renda adicional.

49. Por fim, em estudo mais recente, Siikamäki *et. al*. (2019)[21] analisam a disposição a pagar para proteção da floresta Amazônica como patrimônio natural para a comunidade internacional: tendo como foco as famílias canadenses e norte-americanas, a análise considera que a disposição média a pagar para evitar perdas florestais projetadas para ocorrer até 2050 é de US$ 92 a.a. por domicílio, ou ainda, US$ 225 a.a. por hectare.

II.1.5 DANOS ESPECÍFICOS DO MERCÚRIO

50. Pela proporção dos impactos de ordem química, biológica e social, o uso de mercúrio na mineração de ouro em pequena escala deve receber especial ênfase na análise de valoração de danos socioambientais. Conforme ressalta Gulley (2017)[22], a mineração artesanal e de pequena escala de ouro é responsável por quase metade da emissão antropogênica de mercúrio na natureza. Uma vez liberado em sistemas aquáticos, o mercúrio torna-se prontamente disponível para transformações químicas que podem gerar metilmercúrio (MeHg), uma espécie de composto extremamente tóxico que se acumula ao longo de cadeias tróficas.

51. Uma das consequências estabelecidas na literatura do metilmercúrio para os seres humanos é o dano cerebral, com a potencial perda de inteligência e retardo mental, bem como sobre a vulnerabilidade do feto durante a gravidez. Como exemplo, podemos citar o

[20] Navrud, Stale & Strand, Jon (2017). *Valuing Global Ecosystem Services: What Do European Experts Say? Applying the Delphi Method to Contingent Valuation of the Amazon Rainforest*. Environmental and Resource Economics. Publicado online: DOI 10.1007/s10640-017-0119-6.

[21] Siikamäki, Juha V., Krupnick, A., Strand, J. & Vincent, Jeffrey R. (2019). *International Willingness to Pay for the Protection of the Amazon Rainforest*. Policy Research Working Paper n° 8775 – World Bank Group.

[22] Gulley, Andrew L. (2017). *Valuing environmental impacts of mercury emissions from gold mining: Dollar per troy ounce estimates for twelve open-pit, small-scale, and artisanal mining sites*. Resources Policy, vol (52) p. 266–272.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

estudo de Vasconcellos *et al.* (2018)[23] que estimam o dano ao desenvolvimento neural fetal em populações ribeirinhas amazônicas causado pela exposição pré-natal ao metilmercúrio. Nesse estudo, verificou-se a incidência de carga de Retardo Mental Leve (RML), com perda de 2 pontos de QI, em 34,31% dos nascidos estudados. Em termos regionais, os autores indicam conjuntamente com outros estudos efeitos maiores devido à concentração superior de mercúrio, como em São Luiz do Tapajós, no município de Itaituba/PA, onde até 80% das crianças nascidas apresentam essa perda de QI.

52. Em decorrência desse quadro, os estudos de valoração econômica que abordam a emissão de mercúrio da mineração concentram-se nas estimativas dos impactos da perda de QI fetal induzida por metilmercúrio. Paradigmático, nesse caso, é o estudo de Gulley (2017), o qual apresenta uma metanálise de estudos com tais estimativas cuja resultante é a perda monetária, em termos globais, da produtividade ao longo da vida devido à emissão de um quilo de mercúrio no meio ambiente. A média ponderada estima um impacto de US$ 7.300, podendo esse valor aumentar até o limite superior de US$ 22.300 a depender das hipóteses adotadas.

53. De especial utilidade para os fins de elaboração da fórmula de valoração, Gulley (2017) estima o impacto por onça de ouro extraída em 12 operações de mineração em todo mundo. Destas, duas são na região amazônica do Brasil: São Chico e Creporizinho, ambas no estado do Pará. Em Creporizinho a produção estimada de 19.290 onças de ouro por ano (aproximadamente 550 kg) resulta em uma emissão de 900 kg de mercúrio ao ano. Já em São Chico, a produção estimada de 390 onças a.a. (cerca 11 kg) resulta em uma emissão de 24 kg a.a. de mercúrio. Com base na média de impacto estimada previamente, chega-se à valoração de dano médio de U$ 300 por onça de ouro (U$ 10.582 por kg de ouro) em Creporizinho e U$ 500 por onça de ouro (U$ 17.637 por kg de ouro) em São Chico, ambos para o ano de 2013.

54. Verifica-se, portanto, um alto valor de dano em decorrência da emissão de mercúrio ao meio ambiente e, consequentemente, à saúde humana.

II.2 FÓRMULA DE VALORAÇÃO

55. O primeiro passo para a construção da fórmula é reunir os dados disponíveis sobre cada fator a ser considerado na valoração em uma mesma unidade de grandeza. A Tabela 1 a seguir contém todos os valores levantados pela revisão bibliográfica, por categoria de valor e ajustados para a unidade de um hectare, atualizados pelo Índice de Preços ao Consumidor dos Estados Unidos para o ano de 2018 (índice de média anual)[24] e, por fim, convertidos em reais

[23] Vasconcellos Ana Claudia Santiago de, Barrocas Paulo Rubens Guimarães, Ruiz Claudia Maribel Vega, Mourão Dennys de Souza, Hacon Sandra de Souza (2018). *Burden of Mild Mental Retardation attributed to prenatal methylmercury exposure in Amazon: local and regional estimates.* Ciência Saúde Coletiva, vol (23), nº 11, p.3535-3545.

[24] Obtido em *Bureau of Labor Statistics*: https://www.bls.gov/cpi/, último acesso em 1/8/2019.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

pelo câmbio da "paridade de poder de compra"[25] também para o ano de 2018. Ademais, os valores referem-se aos serviços anuais providos pela Floresta Amazônica.

56. Cabe salientar, ainda, que os valores existenciais revisados foram ajustados considerando-se o ecossistema amazônico como um bem público mundial. Ou seja, optou-se por um ajuste unitário indireto da renda entre a população avaliada e a renda da população mundial. Isso porque os estudos analisados foram elaborados por meio de valorações contingentes para países diversos (Canadá, EUA, países da União Europeia). Assim, o ajuste elaborado é baseado na seguinte fórmula:

$$(1)\ DP_{\text{mundial}} = DP_{\text{país avaliado}} \left(Y_{\text{mundial}}/Y_{\text{país avaliado}}\right)^{\lambda}$$

Onde "DP" é a disposição a pagar encontrada pelo estudo de valoração, "Y" é o Produto Interno Bruto *per capita* (PIB *per capita*[26]) e "λ" é a elasticidade da utilidade marginal de consumo, ou seja, é uma estimativa de como a disposição a pagar pelo recurso natural varia com as mudanças na renda. Dessa forma, ao assumirmos $\lambda = 1$, estamos supondo que ambas as populações possuem preferências equivalentes e estão dispostas a pagar na mesma proporção à renda *per capita* local.

57. Ademais, em decorrência de haver um conjunto de estudos para cada categoria de valor e por se tratar da mesma localidade geográfica (bioma amazônico), é possível utilizar-se da transferência de valores direta, estimando-se uma função parametrizada com base na média dos valores reportados nos estudos. Optou-se, contudo, por ponderar essa média pela dispersão em relação ao valor médio[27], ou seja, quanto maior a dispersão da estimativa do estudo, menor o peso que ela recebe. Assim, conforme ressalta o manual da OCDE (2018), incorre-se em estimativas mais precisas do que a transferências de valores advindos de apenas um único estudo[28].

---

[25] A paridade do poder de compra (PPC) - em inglês, *purchasing power parity* (PPP) - é um método alternativo à taxa de câmbio. Muito útil para comparações internacionais, mede quanto uma determinada moeda poderia comprar se não fosse influenciada pelas razões de mercado ou de política econômica que determinam a taxa de câmbio. Leva em conta, por exemplo, diferenças de rendimentos e de custo de vida. No caso em questão, a cesta de bens e serviços cotados é uma amostra de todos aqueles que fazem parte das despesas finais: consumo final de famílias e governo, formação de capital fixo e exportações líquidas. Obteve-se o dólar PPC do Sistema de Estatísticas Nacionais da OCDE: https://data.oecd.org/conversion/purchasing-power-parities-ppp.htm, último acesso em 10/7/2019.

[26] Obtido em *World Bank Open Data*: https://data.worldbank.org/, último acesso em 1/8/2019.

[27] Os pesos são dados pelo inverso da variância.

[28] OCDE (2018). "Chapter 6 – Value Transfer", in *Cost-Benefit Analysis and the Environment: Further Developments and Policy Use*. OECD Publishing, Paris.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

Tabela 1 – Síntese dos estudos de valoração para a Amazônia revisados

Parâmetros	*Estudo*	*Ano de referência**	*VUD*	*VUI*	*VQO*	*VE*	*Mercúrio*
Produtos Madeireiros	Mendonça *et. al.* (2004)	2000	3,59	-	-	-	-
Produtos Madeireiros	Seroa da Motta (2002)	2000	20,48	-	-	-	-
Produtos Madeireiros	Barreto *et. al.* (1998)	1997	41,34	-	-	-	-
Média ponderada pelo inverso da variância			**20,49**				
Produtos Não Madeireiros	Torras (2000)	1993	175,58	-	-	-	-
Produtos Não Madeireiros	Shone & Caviglia-Harris (2006)	2000	45,50	-	-	-	-
Produtos Não Madeireiros	Verweij *et. al.* (2009)	1998	37,96	-	-	-	-
Produtos Não Madeireiros	Serroa da Mota (2002)	2000	0,14	-	-	-	-
Média ponderada pelo inverso da variância			**43,06**				
Turismo	Seroa da Mota (2002)	2000	6,47	-	-	-	-
Turismo	Verweij *et. al.* (2009)	1997	2,47	-	-	-	-
Turismo	Torras (2000)	1993	31,69	-	-	-	-
Média ponderada pelo inverso da variância			**7,88**				
Serviços Ecossistêmicos	Costanza et al. (1997)	1994	-	1.256,80	-	-	-
Serviços Ecossistêmicos	Groot *et al.* (2012)	2007	-	1.509,52	-	-	-
Média ponderada pelo inverso da variância				**1.383,16**			
Bioprospecção	May *et al.* (2013)	1996	-	-	16,56	-	-
Bioprospecção	Andersen (1997)	1990	-	-	28,41	-	-
Bioprospecção	Torras (2000)	1993	-	-	15,42	-	-
Bioprospecção	Costanza et al. (1997)	1994	-	-	34,24	-	-
Bioprospecção	Groot *et al.* (2012)	2007	-	-	13,73	-	-
Média ponderada pelo inverso da variância					**19,33**		
Conservação/Existência	Serroa da Mota (2002)	2000	-	-	-	22,42	-
Conservação/Existência	Mendonça & Tilton (2000)	1997	-	-	-	0,31	-
Conservação/Existência	Verweij *et. al.* (2009)	1991	-	-	-	1,66	-
Conservação/Existência	Torras (2000)	1993	-	-	-	29,38	-
Conservação/Existência	Navrud & Strand (2017)	2012	-	-	-	5,30	-
Conservação/Existência	Siikamäki *et. al.* (2019)	2014	-	-	-	24,28	-
Média ponderada pelo inverso da variância						**14,01**	
Danos à saúde	Gulley (2017) - São Chico	2013	-	-	-	-	5.621,71
Danos à saúde	Gulley (2017) - Crepozinho	2013	-	-	-	-	9.369,70
Média ponderada pelo inverso da variância							**7.495,71**
Obs: Valores em reais por ano, atualizados para 2018, e por hectare							

58. Convém ressaltar que, no caso sob exame, o dano ambiental é identificado como o Valor Econômico Total. Ou seja, assume-se que a perda de bem-estar social decorrente dos fluxos de serviços e recursos ambientais é integral: exaurem-se todos os valores em termos de consumo e produção associados à floresta na extensão da mineração. Ademais, ainda há que se acrescentar o dano causado pelo uso de mercúrio e a emissão de metilmercúrio no meio ambiente. Desse modo, o dano total assume a seguinte formulação:

(2) Dano = VET + Dano por mercúrio

Ou ainda:

(3) Dano = VUD + VUI + VQO + VE + Dano por mercúrio

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

59. Uma vez que se procura estimar a relação entre a quantidade de ouro apreendida e o valor do dano ambiental, é preciso estipular a relação entre essa quantidade e a extensão da área afetada da floresta. Nesse ponto, conforme analisado no parágrafo 20, Porto e*t al*. (2002) apresenta uma estimativa de produção de ouro por km² nos terrenos com potencial geológico de 0,9 kg/km² ou, convertendo-se para hectare, 9 g/ha.

60. Desse modo, ao parametrizar o dano ambiental em função da quantidade de quilos de ouro (kg Au), os valores para cada categoria do VET na equação (1) acima devem ser multiplicados por um fator de 111 (um kg de ouro para cada 111 hectares). Ou seja, assume-se que cada quilo de ouro degrada em média uma área florestal de 111 campos de futebol aproximadamente. Segue-se, portanto, que a fórmula de dano ambiental deve apresentar a seguinte equação:

(4) Dano (kg Au) = 111 x VET x (kg Au) + Dano por mercúrio x (kg Au)

Ou ainda:

(5) Dano (kg Au) = 111 x (PM + PNM + TUR + SER.ECO + BioPRO + VE) x (quantidade de kg de ouro) + Dano por mercúrio x (quantidade de kg de ouro)

Onde PM, PNM, TUR, SER.ECO, BioPRO e VE são, respectivamente, as médias ponderadas estimadas na Tabela 1 para "Produtos madeireiros", "Produtos não madeireiros", "Turismo", "Serviços Ecossistêmicos", "Bioprospecção" e "Valor de Conservação/Existência". Além disso, exprime-se o "Dano por mercúrio" em função da quantidade de ouro, não em relação à extensão da área, e por isso essa parcela da equação não é multiplicada pelo fator de 111 hectares.

61. Nessas condições, temos que o valor do dano ambiental decorrente de mineração de ouro no bioma amazônico pode ser estimado com base na seguinte função parametrizada:

(6) Dano (kg Au) = 111 x R$ 1.488 x (kg Au) + R$ 7.496 x (kg Au)

Ou ainda:

(7) Dano (kg Au) = R$ 172.655 x (kg Au)

62. Ou seja, a Floresta Amazônica provê, anualmente, serviços e recursos ambientais que totalizam o valor de R$ 1.488 por hectare. Uma vez que, para extração de

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

1 quilo de ouro degrada-se, em média, 111 hectares, obtém-se o valor de dano ambiental de R$ 165.160/Kg Au ao ano. Somando-se a esse valor o dano causado pelo mercúrio, temos que para cada quilo de ouro, incorre-se em um dano de R$ 172.655 ao ano.

63. Como exercício meramente ilustrativo do valor obtido, podemos multiplicar o valor por hectare pelo número de hectares da floresta amazônica brasileira. Assim, obtemos que, por ano, há uma provisão de serviços e recursos naturais da ordem de 624 bilhões de reais. Ao que pese o valor elevado, quase 7,5% do PIB brasileiro, grande parte desse valor se deve a serviços e recursos ainda não comercializados.

64. Como exemplo, temos o serviço de regulação climática provido pela floresta. Tendo em vista o aquecimento global, o sequestro de carbono pelo bioma é muito valorizado. Carvalho *et. al* (2010)[29] estimam o potencial de sequestro de carbono da Amazônia brasileira em 421 milhões de toneladas ao ano. Assim, tomando-se por base os preços de US$ 50/tCO2e praticados em abril de 2019 pela França[30] na sua iniciativa de comércio de carbono, obtém-se o valor de 94 bilhões de reais ao ano apenas para esse serviço ecossistêmico.

65. Cumpre frisar que a equação (7) desenvolvida apresenta valores para apenas um ano de perda de bem-estar decorrente do dano ambiental. Por isso, é preciso definir o horizonte temporal no qual haverá cessação do fluxo de serviços proporcionados pela Floresta Amazônica. Em outras palavras, é preciso definir o tempo para que haja a recuperação dos recursos naturais danificados até atingirem sua plenitude. Dessa forma, o valor estimado para a equação (7) deve ser calculado para todo o ínterim, resultando em um fluxo monetário que corresponde ao Valor de Opção (VO), conforme definido na categorização de Castro (2015) (ver Figura 1).

66. De especial interesse para a definição do tempo de recuperação da floresta por meio de ações compensatórias equivalentes são os estudos de Parrotta & Knowles (1999)[31] e Jones & Schmitz (2009)[32]. Analisando um programa de restauração florestal após mineração de bauxita na Amazônia central, Parrotta & Knowles (1999) verificam que num intervalo de 13 anos houve recuperação da floresta, enriquecida pela colonização por espécies próximas, embora a recuperação estrutural ainda fosse incompleta. Entretanto, Jones & Schmitz (2009), ao revisarem a literatura sobre recuperação de ecossistemas danificados (mais de 80 estudos para florestas), encontram que, para recuperação de quaisquer variáveis, o tempo médio foi de, no máximo, 42 anos.

67. De modo conservador, portanto, elabora-se uma análise de sensibilidade do

---

[29] Carvalho, João Luis Nunes, Avanzi, Junior Cesar, Silva, Marx Leandro Naves, Mello, Carlos Rogério de, & Cerri, Carlos Eduardo Pellegrino. (2010). *Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Vol. 34, nº 2, p. 277-290.

[30] Obtido em *Carbon Pricing Dashboard*: https://carbonpricingdashboard.worldbank.org, último acesso em 1/8/2019.

[31] Parrotta, John & Knowles, Oliver H. (1999). *Restoration of Tropical Moist Forests on Bauxite-Mined Lands in the Brazilian Amazon*. Restoration Ecology, Vol. (7), nº 2, p. 103–116.

[32] Jones, Holly P., Schmitz, Oswald J. (2009). *Rapid recovery of damaged ecossystems*. PloS ONE, Vol. (4), n° 5: e5663.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

cálculo do fluxo de perda interina dos recursos e serviços da floresta utilizando os horizontes temporais de 13, 30 e 42 anos.

68. Nesse prisma, outro parâmetro a ser definido é a "Taxa de Desconto" a ser utilizada para trazer a valor presente o fluxo monetário ao longo do período de recuperação dos recursos naturais comprometidos pela atividade mineradora. A aplicação de uma taxa de desconto social em análises de valoração decorre do fato de que o preço social de uma unidade de consumo no futuro é menor que o preço de uma unidade de consumo hoje. Dito de outro modo, atribui-se uma utilidade maior ao consumo hoje do que no futuro.

69. Ao que pesem questões éticas ligadas à preservação de recursos ambientais para gerações futuras, a literatura diverge sobre como deve-se proceder o cálculo dessa taxa: por um lado, existe a abordagem positiva/descritiva cujo foco é a trajetória das taxas de retorno do capital observável. Ou seja, baseia-se no custo de oportunidade do capital. Por outro lado, existe a abordagem normativa/prescritiva, cujo foco centra-se na questão do preço que deve ser colocado sobre os custos e benefícios futuros. Ou seja, baseia-se na avaliação da sociedade sobre a conveniência do consumo atual ao invés do consumo futuro[33].

70. Adota-se, diante dessa divergência, a abordagem normativa, haja vista o objetivo de indenização dos danos ambientais causados, e não o uso dos recursos ambientais em projetos que almejam retorno financeiro e que, desse modo, deveria observar o custo de oportunidade do capital. Nesse contexto, portanto, utilizam-se as estimativas de Lopez (2008)[34]. Neste trabalho, são apresentadas estimativas empíricas da taxa de desconto social para nove países da América Latina que se baseiam na abordagem normativa. Ao calibrar o modelo envolvendo uma taxa de preferência de tempo puro, a taxa de crescimento renda/consumo *per capita* e a elasticidade da utilidade marginal da renda/consumo, o autor apresenta uma taxa média para o Brasil de 5,1%.

71. De fato, essa taxa é a mesma encontrada para a taxa neutra de juros reais do Brasil, também chamada de taxa estrutural de juros, utilizando-se dados entre 2008-2016. Ao calibrar uma gama de modelos diferentes, um estudo do Banco Itaú obteve a mediana para todos os modelos de 5,1%[35]. Por conseguinte, essa Taxa de Desconto Social obedece ao princípio do custo de oportunidade do capital como parâmetro mínimo de desconto intertemporal.

72. Aplicando-se essa taxa sobre o fluxo monetário pelo horizonte temporal de 13, 30 e 42 anos, obtêm-se os valores presentes da perda de serviços e recursos ambientais de,

---

[33] OCDE (2018). "Chapter 8 – Discounting", in *Cost-Benefit Analysis and the Environment: Further Developments and Policy Use*. OECD Publishing, Paris.

[34] Lopez, Humberto (2008). *The Social Discount Rate: Estimates for Nine Latin American Countries*. Policy Research Working Paper n° 4639, The World Bank.

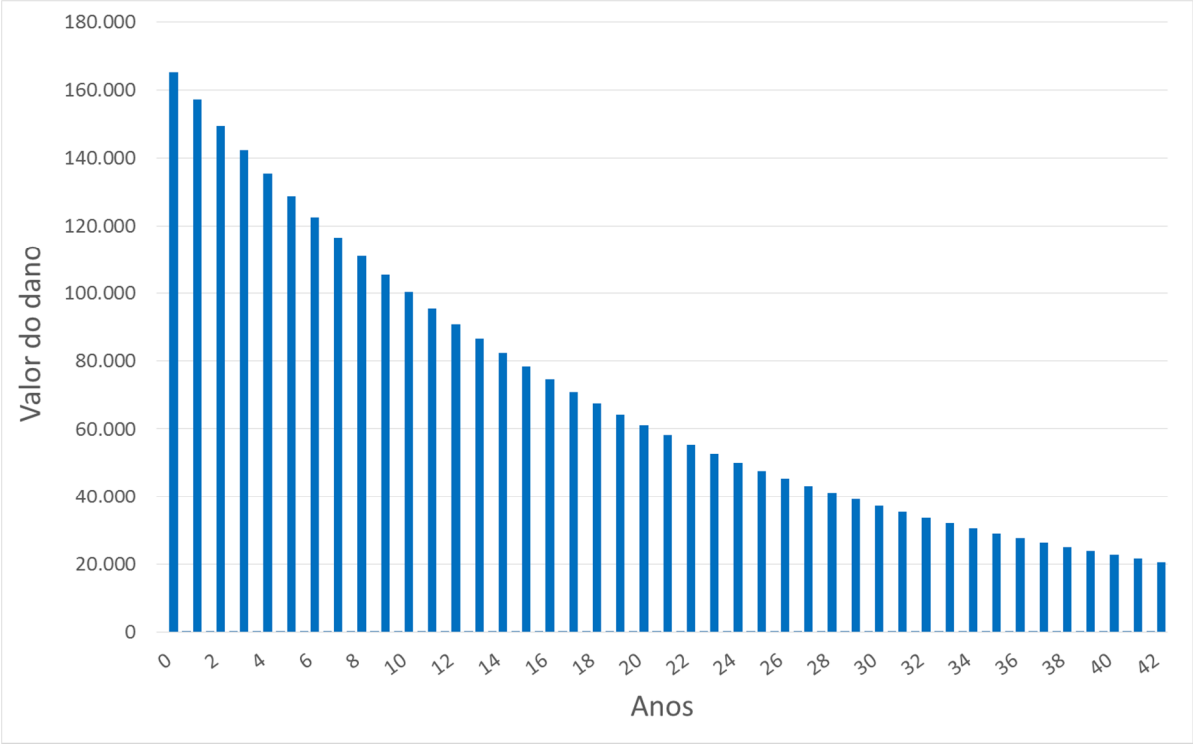
[35] Itaú Asset Management (2017). *Taxa Neutra de Juros no Brasil*. Acessado por último em 1/8/2019: https://www.itauassetmanagement.com.br/content/dam/itau-asset-management/content/pdf/white-papers/Taxa%20Neutra%20de%20Juros%20no%20Brasil%20-%20White%20Paper.pdf,

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

respectivamente, R$ 1.714.795, R$ 2.682.875 e R$ 3.010.193, quando somados ao dano pelo mercúrio. Verifica-se que o dano estimado para 42 anos é cerca de 75% maior que o dano quando se assume uma recuperação do meio ambiente em apenas 13 anos.

73. Ademais, o gráfico 1 abaixo apresenta os valores decrescentes ao longo dos 42 anos em decorrência da aplicação da taxa de desconto social. Como se pode observar, o dano no ano final é cerca de 12% do valor do dano no ano inicial, o que demonstra uma preferência social acentuada do consumo atual ao invés do consumo futuro. Vale dizer que o Brasil é o país com a maior taxa de desconto social dentre aqueles analisados por Lopez (2008).

Gráfico 1 – Fluxo monetário da perda de serviços e recursos ambientais



74. Por fim, as equações a seguir apresentam a fórmula levando-se em conta o fluxo monetário para todo o período de recuperação dos recursos naturais danificados até atingirem sua plenitude (13, 30 e 42 anos respectivamente):

(8) Dano (kg Au) = R$ 1.714.795 x (kg Au)

(9) Dano (kg Au) = R$ 2.682.875 x (kg Au)

(10) Dano (kg Au) = R$ 3.010.193 x (kg Au)

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

75. Desse modo, com base nas hipóteses elencadas é possível arbitrar uma quantificação do dano médio que se baseia numa metodologia simples, porém respaldada pela literatura científica, cuja única variável necessária para o cálculo é a quantidade de ouro apreendida. Passa-se, desse modo, à exemplificação de aplicação da metodologia desenvolvida para que se compreenda melhor sua dinâmica.

II.2 EXEMPLIFICAÇÃO DA FÓRMULA

76. Na Ação Civil Pública apresentada em face das empresas Ciala da Amazônia Refinadora de Metais Ltda., Compra de Artefatos Usados Ltda., Industrial Recuperadora de Metais Ltda. e mais quatro pessoas físicas, foram apurados, no âmbito da Operação 79 da Polícia Federal, entre junho de 2015 e fevereiro de 2018, a intermediação e aquisição de 316 quilogramas de ouro "recolhidos de diversos garimpos da Amazônia, e extraídos, portanto, sem autorização do DNPM, sem licenciamento ambiental prévio e em inobservância às normas ambientais aplicáveis à atividade de lavra garimpeira."[36]

77. Desse modo, ao se aplicar a fórmula (8) ao caso em questão, assumindo-se o menor tempo de recuperação do ecossistema, obtém-se um valor de R$ 541.875.256 de dano ao meio ambiente[37]. Esse valor mostra-se bem acima (12 vezes) daquele calculado como dano ambiental na ACP, uma vez que se utilizou como parâmetro naquele documento a cotação de ouro à época da Inicial (R$ 142,91/g de ouro), obtendo-se o valor de R$ 45.179.054,35.

78. Isso se deve ao fato de que, a despeito da cotação do ouro refletir o prejuízo patrimonial à União, nesse valor não estão internalizados os danos causados aos serviços ecológicos prestados pela floresta. Essa externalidade negativa, como é chamada no jargão econômico, não é internalizada no processo de produção e comercialização desse tipo de recurso ambiental. Forma-se a convicção, portanto, que o valor obtido se aproxima mais de um "custo real" do dano ambiental, potencializando tanto o efeito inibitório da sanção quanto a justeza da condenação, constituindo-se, assim, em um forte desincentivo à prática ilegal.

III. CONCLUSÃO

79. Em conformidade com o exposto, verificou-se na literatura acadêmica a respeito de valoração econômica ambiental na Amazônica uma gama considerável de estudos que puderam subsidiar a concepção de uma fórmula de valoração de danos socioambientais decorrente mineração de ouro. Assim, optou-se pela metodologia de transferência de valores,

[36] Ação Civil Pública de autoria da Procuradora da República Dra. Ana Carolina Haliuc Bragança, de 8/3/2019.
[37] R$ 1.714.795 x 316 Kg Au = R$ 541.875.256

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

visando otimizar a relação custo-benefício do trabalho.

80. Nessa esteira, foram identificados estudos com estimativas para todos os aspectos do Valor Econômico Total do bioma amazônico: produtos madeireiros, não madeireiros, renda advinda com turismo, estimativas para serviços ecossistêmicos, bioprospecção e valores existenciais. Por fim, com base nas médias dessas estimativas, pode-se parametrizar as fórmulas (8), (9) e (10), as quais variam em função da hipótese do tempo de recuperação da floresta amazônica (no caso, 13, 30 e 42 anos respectivamente):

(8) Dano (kg Au) = R$ 1.714.795 x (kg Au)

(9) Dano (kg Au) = R$ 2.682.875 x (kg Au)

(10) Dano (kg Au) = R$ 3.010.193 x (kg Au)

81. Os resultados mostraram-se bem acima da cotação de ouro praticada no mercado. Isso porque o custo privado da exploração de ouro é menor do que o custo social em função das chamadas externalidades negativas: enquanto o preço do ouro praticado aproxima-se do custo marginal dessa indústria, incluindo-se nele não apenas o custo de capital e trabalho empregados, mas também a remuneração exigida pelo empresário, o preço social inclui ainda os custos advindos dos serviços ecossistêmicos que são perdidos pela atividade mineradora.

82. Ademais, ao que pese nas estimativas revisadas uma variação nos valores obtidos, a explicitação dos parâmetros, dados e metodologias de cálculo fundamentam esses valores, correlacionando-os ao dano e permitindo a sua defesa robusta em juízo. Cumpre enfatizar, contudo, que algumas hipóteses assumidas podem ser aperfeiçoadas posteriormente:

82.1. A linearidade do dano assumida na fórmula (8) ignora estudos como o de Castro *et. al.* (2016)[38], em que se analisa a ocorrência de descontinuidades e pontos de inflexão (*tipping points*). A depender do aumento de temperatura e da extensão do desmatamento do bioma, há o risco de uma transição crítica de savanização em larga escala na maior parte da Amazônia meridional e oriental. Franklin Jr. & Pindyck (2018)[39], por exemplo, exploram as implicações dessa não-linearidade no cálculo do valor econômico de uma região tropical floresta.

82.2. Outro fato relevante para a presente análise é que, na Floresta Amazônica, a mineração induz a um desflorestamento muito maior do que os limites da operação de

[38] Nobre, Carlos A., Sampaio, Gilvan, Borma, Laura S., Castilla-Rubio, Juan Carlos, Silva, José S., Cardoso, Manoel (2016). Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. (113), nº 39, p. 10759-10768.

[39] Franklin Jr., Sergio L. & Pindyck, Robert S. (2018). *Tropical Forests, Tipping Points, and the Social Cost of Deforestation*. Ecological Economics, Vol. (153), p. 161-171.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

mineração propriamente dita. De acordo com o estudo de Sonter *et al.* (2017), devido a construção de pistas de pouso, abertura de estradas para logística de transporte, acampamentos, currutelas e desmonte de barrancos, os desmatamentos resultantes de atividade de mineração são 12 vezes superiores à extensão da operação[40]. Esse resultado não foi considerado na presente fórmula;

82.3. Por fim, assumiu-se como hipótese simplificadora uma uniformização por hectare, não apenas pela limitação dos dados, mas pela própria natureza da fórmula de valoração de danos requerida. Contudo, é possível que para danos cuja localidade se saiba *a priori*, sejam considerados pesos diferentes para os serviços ecossistêmicos e atividades econômicas locais, além de estabelecer vínculo com a densidade populacional e comunidades tradicionais afetadas.

83. Entretanto, forma-se a convicção de que a fórmula apresentada se aproxima mais de um "custo real" do dano ambiental, potencializando tanto o efeito inibitório da sanção quanto a justeza da condenação, constituindo-se, assim, em um forte desincentivo à prática ilegal.

É o Parecer.

Brasília, 19 de agosto de 2019.

[assinado eletronicamente]
JOSÉ JORGE GABRIEL JÚNIOR
Analista do MPU/Perícia/Economia

[assinado eletronicamente]
RODRIGO CÉSAR BESSONI E SILVA
Analista do MPU/Perícia/Economia

Assessoria Nacional de Perícia em Contabilidade e Economia

[40] Sonter, Laura J., Herrera, Diego, Barrett, Damian J., Galford, Gillian L., Moran, Chris J., Soares-Filho, Britaldo S. (2017). *Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon*. Nature Communications, Vol (1), n° 8, DOI: 10.1038/s41467-017-00557-w.

Assinado digitalmente em 19/08/2019 17:06. Para verificar a autenticidade acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL

Assinatura/Certificação do documento **PGR-00386689/2019 PARECER TÉCNICO nº 1495-2019**

Signatário(a): **RODRIGO CESAR BESSONI E SILVA**
Data e Hora: **19/08/2019 17:12:25**
Assinado com certificado digital

Signatário(a): **JOSE JORGE GABRIEL JUNIOR**
Data e Hora: **19/08/2019 17:06:23**
Assinado com certificado digital

Acesse http://www.transparencia.mpf.mp.br/validacaodocumento. Chave 00D13676.E3989582.2897FF9B.2CE32B31