

# Valoração de danos ambientais por condução de veículos pesados com Sistema de Redução Catalítica Seletiva (SCR) adulterado

L.V.L. de Barros <sup>a\*</sup>, J.P.P. Vieira <sup>a</sup>, I.S. Shiraishi <sup>a</sup><sup>a</sup> Divisão de Perícias Ambientais, Polícia Científica de Santa Catarina, SC, Brasil\*Endereço de e-mail para correspondência: [luкас.barros@policiacientifica.sc.gov.br](mailto:luкас.barros@policiacientifica.sc.gov.br). Tel.: +55-48-36658500

Recebido em 08/01/2024; Revisado em 29/05/2024; Aceito em 09/06/2024

## Resumo

A problemática das emissões atmosféricas de origem veicular é antiga e abrangente, estando diretamente relacionada ao comprometimento de recursos financeiros na saúde pública, em decorrência de problemas cardiorrespiratórios em humanos, e a danos ao ambiente, que acarretam desde fenômenos extremos mais intensos, até mudanças graduais e nocivas à vida em nossa atmosfera. O presente estudo apresenta uma metodologia inovadora para valoração de danos ambientais associados à condução de veículos a diesel com Sistema de Redução Catalítica Seletiva (SCR) adulterado. O método apresenta sugestão de cálculos para as parcelas de Valor de Uso Direto (VUD) e Valor de Uso Indireto (VUI), baseadas na "economia" decorrente do não uso de ARLA32 e na poluição marginal ocasionada pela emissão de substâncias acima do limite tolerado, especialmente os óxidos de nitrogênio. Apresenta-se, ainda, um estudo de caso demonstrando a aplicação e validade da metodologia, com resultados adequados e coerentes com a realidade de uma fonte móvel unitária, podendo ser replicada por outros peritos criminais que atuam na área de meio ambiente.

*Palavras-Chave:* Poluição Atmosférica, Diesel, Redução Catalítica Seletiva, ARLA32, Valoração de Danos Ambientais.

## Abstract

Vehicular emissions issue is longstanding and comprehensive, directly related to the compromise of health resources due to cardiorespiratory problems and damage to the natural environment. These emissions lead to more intense natural phenomena, with gradual, harmful changes in our atmosphere. The present study introduces an innovative methodology for the valuation of environmental damages associated with the operation of diesel vehicles equipped with adulterated Selective Catalytic Reduction (SCR) systems. The method proposes calculations for Direct Use Value (DUV) and Indirect Use Value (IUV) components, based on the "savings" resulting from the non-use of ARLA32 and the marginal pollution caused by the emission of substances exceeding the tolerated limit. Additionally, a case study is presented to demonstrate the application and validity of the methodology, yielding appropriate and coherent results in line with the reality of a specific mobile source. This methodology can be replicated by other forensic experts working in the field of environmental analysis.

*Keywords:* Air Pollution, Diesel, Selective Catalytic Reduction (SCR), ARLA32, Environmental Damages Valuation.

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento nas emissões atmosféricas de origem veicular está diretamente relacionado ao aumento de internações por problemas cardiorrespiratórios [1,2]. Uma importante classe de poluentes contidos nessas emissões com relevância epidemiológica é a dos óxidos de nitrogênio (NOx), principal poluente dos veículos movidos a diesel e cuja forma de mitigação mais adotada é a redução catalítica seletiva [3], um processo químico no qual o gás amônia reage com os NOx na presença de um catalisador, produzindo gás nitrogênio e vapor d'água

$(4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}; 6\text{NO}_2 + 8\text{NH}_3 \rightarrow 7\text{N}_2 + 12\text{H}_2\text{O}; \text{NO} + \text{NO}_2 + 2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ , entre outras vias).

Com a Resolução nº 18 de 1986, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou uma política de controle de poluição veicular de longo prazo, estabelecendo limites máximos para as emissões de poluentes gasosos e sonoros, através do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). O objetivo é estabelecer metas progressivas de redução de emissões em fases que se baseiam nos anos de fabricação dos veículos. No que

concerne aos NOx, em 2012 foi introduzida a fase P7, que visava reduzir em até 60% as emissões desses poluentes, tendo sido introduzida a obrigatoriedade dos Sistemas de Redução Catalítica Seletiva (SCR - *Selective Catalytic Reduction*, na sigla em inglês), que adotam o ARLA 32 (Agente Redutor Líquido de NOx Automotivo) para reduzir em até 98% a emissão dos óxidos de nitrogênio. O ARLA32 é uma solução líquida de alta pureza geralmente composta por 32,5% de ureia e 67,5% de água deionizada, estável, incolor, não tóxica, não poluente, não perigosa e não inflamável, que, ao liberar ureia, promove a conversão dos óxidos de nitrogênio em nitrogênio gasoso e água. A partir de 2022, o PROCONVE entra na fase P8, estabelecendo limites ainda mais rigorosos em relação à anterior.

Embora promova uma redução nas emissões poluentes visando a sustentabilidade ambiental e a proteção da saúde, a necessidade de emprego de outro insumo vem causando resistência nas categorias de usuários de veículos a diesel, devido ao aspecto financeiro. Neste contexto, inúmeras soluções fraudulentas foram criadas para burlar o sistema SCR obrigatoriamente instalado nos veículos a diesel a partir do PROCONVE P7, desde adulteração na qualidade do próprio ARLA32 até fraudes eletrônicas que adulteram o sistema que reduz a potência dos motores a diesel caso não estejam empregando o fluido adequado.

Tendo em vista a premente necessidade de fornecer cálculos de valoração de danos ambientais, considerando a determinação legal prevista no art. 19 da Lei 9.605/98 (Lei de Crimes Ambientais) e a falta de uma metodologia técnica reconhecida na literatura, este artigo se propõe a apresentar uma solução para cálculo financeiro dos danos ambientais associados à rodagem de caminhões com sistema de redução catalítica seletiva adulterado.

## 2. VALORAÇÃO DE DANOS AMBIENTAIS

Tradicionalmente, o Valor Econômico do Recurso Ambiental (VERA) é entendido como o resultado da soma de quatro parcelas: o valor de uso direto (VUD), o valor de uso indireto (VUI), o valor de opção (VO) e o valor de existência (VE).

O VUD refere-se ao valor dos bens e serviços utilizados diretamente pelo homem, como extração de recursos ou visitação de sítios naturais. Por sua vez, o VUI está relacionado aos benefícios obtidos pela espécie humana em função dos processos naturais que ocorrem nos ecossistemas, que geram funções e serviços ambientais que nem sempre são percebidos de forma clara, porém são essenciais para a sobrevivência da humanidade. O valor de opção (VO) refere-se a possibilidades de usos futuros, diretos ou indiretos, dos recursos naturais, buscando garantir a disponibilidade, no futuro, dos benefícios advindos de seu uso. Por fim, o

valor de existência (VE), também chamado de valor de não uso, está relacionado ao valor inerente aos recursos naturais, por sua própria existência, sendo considerado o valor intrínseco a esses recursos, independentemente das possibilidades de uso direto ou indireto pelos seres humanos [4].

Diante do exposto, na presente metodologia, propõe-se a valoração pelo cálculo do VUD e do VUI, sendo o primeiro diretamente relacionado ao não uso de ARLA32, enquanto o segundo corresponde aos custos da poluição provocada pelas emissões marginais decorrentes da adulteração do sistema catalítico.

## 3. METODOLOGIA PARA VALORAÇÃO DOS DANOS AMBIENTAIS DECORRENTES DE ADULTERAÇÕES EM SCR

A metodologia é dividida nas duas classes de valoração propostas, primeiramente apresentando-se o método para cálculo do VUD e posteriormente do VUI.

### 3.1. Cálculo do VUD

O VUD é calculado a partir do potencial de economia com a não utilização de ARLA32, levando-se em conta: o rendimento de combustível, dado fornecido pelo fabricante do veículo questionado (“a”); a proporção de consumo médio do aditivo em relação ao consumo de óleo diesel (“b”), baseado na literatura técnica disponível, a partir da qual é calculado o rendimento médio de ARLA32 (“c”); e o preço por litro de ARLA32 (“d”). O resultado é apresentado em termos de valor financeiro por quilômetro rodado (R\$.km<sup>-1</sup>), podendo ser apurado o valor total a partir da informação do odômetro, conhecendo-se a distância percorrida com o sistema adulterado. A Tabela 1 resume a metodologia de cálculo do VUD.

Tabela 1. Cálculo do VUD.

Variável	Símbolo/fórmula
Rendimento do diesel (km.L <sup>-1</sup> )	a
Proporção média de consumo ARLA32/diesel	b
Rendimento de ARLA32 (km.L <sup>-1</sup> )	c = a/b
Custo do aditivo por litro (R\$.L <sup>-1</sup> )	d
VUD unitário (R\$.km <sup>-1</sup> )	e = d/c

### 3.2 Cálculo do VUI

O VUI é calculado com base nos custos marginais relacionados aos danos à saúde humana, em virtude da

poluição causada acima dos limites do PROCONVE (cuja fase consultada deve ser condizente com o ano de fabricação do veículo). No caso do P7, por exemplo, o limite de emissão de óxidos de nitrogênio por veículos pesados a diesel é de 2 g.kWh<sup>-1</sup>, sendo considerado que esta seria a quantidade de NOx emitida pelo caminhão examinado caso estivesse trafegando regularmente com o ARLA32.

Diversos autores indicam que o uso de ARLA32 pode reduzir de 52% a 80% as emissões de NOx [5-8]. Assim, considerando o desenvolvimento adicional dos sistemas de redução catalítica, sugere-se adotar um valor intermediário para o aumento das emissões de NOx em virtude do tráfego do caminhão utilizando ARLA32 adulterado. No estudo de caso aqui apresentado, adotou-se o valor de 70%.

Para determinação do custo marginal da poluição por óxidos de nitrogênio, empregou-se o estudo “Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público” do Instituto de Pesquisas Econômicas (IPEA) em parceria com a Associação Nacional dos Transportes Públicos (ANTP) [9], que apresenta o custo marginal advindo da poluição por emissão de NOx, por quilograma emitido do poluente. Este valor unitário deve ser atualizado pela variação de algum índice inflacionário entre o mês da publicação (abril de 1999) e o mês de realização do exame pericial, sendo empregado para determinação do custo médio da emissão de NOx por hora. Para obtenção do custo unitário por quilômetro rodado, deve ser adotada uma velocidade média. A Tabela 2 resume a metodologia de cálculo do VUI com base nas premissas apresentadas.

### 3.3. Estudo de caso

De forma a exemplificar a aplicação da metodologia, apresenta-se um breve estudo de caso de exame pericial realizado em um caminhão da marca SCANIA, modelo R440 A6X2, com ano de fabricação/modelo 2017/2018, no qual foi constatada a adulteração do Sistema de Redução Catalítica Seletiva (SCR) de forma a dispensar o emprego de ARLA32, implicando emissões atmosféricas poluentes em desconformidade com o PROCONVE. Dada a data de fabricação do veículo, verificou-se a sujeição às regras do P7, cujo limite de emissão de NOx é de 2 g.kWh<sup>-1</sup>.

Para calcular o VUD, foi considerado um rendimento médio de diesel de 3,25 km.L<sup>-1</sup>, que associado a um consumo médio de ARLA32 de 4% em relação ao óleo diesel, resultou em rendimento médio de ARLA32 de 81,25 km.L<sup>-1</sup>. À época, foi feita uma cotação com postos da região e constatado que um galão de 20 L de ARLA32 custava 53 ± 0,62 reais (2,65 por litro, em média). Preferiu-se utilizar o valor da média, mas aos Peritos Criminais que fizerem uso do método, há a possibilidade

de empregar o valor do intervalo inferior caso se deseje atuar mais *in dubio pro reo* e do intervalo superior para atuação *in dubio pro natura*. Assim, o VUD unitário resultante foi de 0,033 R\$.km<sup>-1</sup>. Com base no registro do hodômetro, de 437.596,5 km, estimou-se o VUD máximo em R\$ 14.440,68, que equivaleria ao valor do dano ambiental caso toda a rodagem tivesse ocorrido em situação de fraude, algo que não é possível estabelecer com os métodos disponíveis (não há registro no veículo que indique o início da fraude).

Tabela 2. Cálculo do VUI.

Variável	Símbolo/fórmula
Limite de emissão PROCONVE (g.kWh <sup>-1</sup> )	a
Potencial redutor de emissão de NOx com ARLA32	b
Emissão de NOx sem ARLA32 (g.kWh <sup>-1</sup> )	$c = a / (1 - b)$
Potência nominal do caminhão (cv)	d
Potência em kW	$e = d \times 0,7355$
Emissão média de NOx por hora (g.h <sup>-1</sup> )	$f = c \times e$
Custo unitário da emissão de NOx atualizado pela inflação (R\$.kg <sup>-1</sup> )	g
Custo horário médio da emissão de NOx (R\$.h <sup>-1</sup> )	$h = f \times 10^{-3} \times g$
Velocidade média considerada (km.h <sup>-1</sup> )	i
VUI unitário da emissão de NOx (R\$.km <sup>-1</sup> )	j

Para calcular o VUI, as variáveis de entrada são o limite de emissão (2 g.kWh<sup>-1</sup>), o potencial redutor de emissão de NOx com ARLA32 (valor adotado de 70%), a potência nominal do caminhão (446 cavalos no caso em questão) e o custo unitário da emissão de NOx. Neste caso, como a publicação do estudo “Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público” data de março de 1999, corrigiu-se o valor original (de 1,12 R\$.kg<sup>-1</sup>) pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPC-A) incidente entre abril de 1999 e agosto de 2020, apurado em 357,1% e resultando em um custo unitário atualizado de 4 R\$.kg<sup>-1</sup>. Assim, aplicando-se a metodologia proposta na Tabela 2, para uma velocidade média de 80 km.h<sup>-1</sup>, o VUI unitário da emissão de NOx foi de 0,109 R\$.km<sup>-1</sup>. Assim como para o VUD, recomendou-se à autoridade solicitante a utilização do VUI unitário, associado à distância percorrida com ARLA32 fraudado, para determinação desta parcela da valoração. Como um teto, calculou-se o VUI máximo da emissão de NOx com base no total do hodômetro, resultando em R\$ 47.698,02.

#### 4. CONCLUSÕES

Diante dos apelos de ambientalistas e da necessidade de regular e reduzir as emissões poluentes atmosféricas no país e em todo o mundo, o papel da perícia criminal em fornecer subsídios suficientes e bem fundamentados para a materialização de crimes ambientais nesta área é evidente e demanda inovações metodológicas. Assim, este trabalho propõe um método prático para valoração de danos ambientais associados às emissões de poluentes fora do padrão, concentrando-se especialmente nos óxidos de nitrogênio, principais poluentes cujas concentrações são reduzidas com sistemas redutores catalíticos em veículos a diesel. Foi possível fornecer valores plausíveis e condizentes com a situação concreta, fato demonstrado em estudo de caso em que se aplicou a metodologia proposta em Laudo Pericial. Embora não seja possível determinar o período de ocorrência de fraude, o Princípio da Precaução Ambiental nos leva ao entendimento de que devemos sempre imaginar o pior cenário para o ambiente. Como sugestões, recomendamos especialmente às polícias ostensivas, notadamente à Polícia Rodoviária Federal e Polícias Militares Rodoviárias, que reforcem os procedimentos de fiscalização rodoviária visando inibir fraudes no SCR que implicam aumento da poluição atmosférica. Esta metodologia também pode ser aplicada no contexto da fiscalização, de forma a subsidiar a dosimetria das multas aplicadas em tais procedimentos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. Kumar; S. Kumar; S. P. Pandey. Traffic-Related Air Pollution and Associated Human Health Risk. *Macromolecular Symposia* **407**: 1425-1431 (2023).
- [2] S. S. Shetty et al. Environmental pollutants and their effects on human health. *Heliyon* **9**: 1-13 (2023).
- [3] S. M. Farhan et al. Innovative catalysts for the selective catalytic reduction of NO<sub>x</sub> with H<sub>2</sub>: A systematic review. *Fuel* **355**: 1-37 (2024).
- [4] R. S. Motta. Manual para valoração econômica de recursos ambientais. Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (1998).
- [5] B. Amon; G. Keefe. On-Road Demonstration of NO<sub>x</sub> Emission Control for Heavy-Duty Diesel Trucks using SINOx™ Urea SCR Technology-Long-term Experience and Measurement Results. *SAE Technical Paper* **2001-01-1931**: 1-11 (2001).
- [6] W. Müller et al. Selective catalytic reduction-Europe's NO<sub>x</sub> reduction technology. *SAE Technical Paper* **2003-01-2304**: 1-9 (2003).
- [7] J. D. Herner et al. Effect of Advanced Aftertreatment for PM and NO<sub>x</sub> Control on Heavy-Duty Diesel Truck Emissions. *Environmental Science & Technology* **43**, 5928–5933 (2009).
- [8] T. Melo et al. Efeito da qualidade da solução de ARLA32 na eficiência do SCR, nas emissões de NO<sub>x</sub> e no sistema de injeção de ARLA. *Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva*. 399-417 (2015).
- [9] IPEA. Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público: relatório síntese. *Revista dos Transportes Públicos* **21**. 35-92 (1999).