

Aplicação de metodologia matricial na avaliação de impactos ambientais de uma usina termoeétrica

A pronta necessidade de matrizes energéticas no Brasil foi acentuada principalmente após os episódios de racionamento energético na década de 1990. Uma marcante ausência de infraestrutura no setor das hidrelétricas apontava que uma solução mais rápida para a diversificação da matriz energética nacional seria a construção de termoeletricas. Tão logo, a partir da supracitada década o componente político nacional induziu o incremento do número de termoeletricas no Brasil. A implantação desse sistema energético traz impactos diversos para a sociedade e em especial para o meio ambiente e pode admitir fatores básicos para medir e comparar o seu impacto no meio ambiente, todos atrelados ao contexto da continuidade do espaço e tempo na análise de suas ocorrências. Neste estudo realiza-se uma avaliação de impactos ambientais de uma Usina Termoeletrica a Gás (UTG) chamada Termorio, localizada no Município de Duque de Caxias, estado do Rio de Janeiro (RJ). Para isso, utilizamos a metodologia matricial. Os impactos negativos decorrentes da operação da UTG estão relacionados as emissões atmosféricas e líquidas, e serão de baixa intensidade. Essa constatação decorre tanto da localização apropriada como da sua concepção. Impactos positivos foram detectados do ponto de vista socioeconômico e são eles: aumento da oferta e confiabilidade de energia elétrica, geração de empregos e aumento de arrecadação tributária.

Palavras-chave: Impactos ambientais; Usina termoeletrica; Metodologia matricial.

Application of matrix methodology in the evaluation of environmental impacts of a thermoelectric power plant

The immediate need for energy matrixes in Brazil was accentuated mainly after the episodes of energy rationing in the 1990s. A marked lack of infrastructure in the hydroelectric sector indicated that a faster solution for the diversification of the national energy matrix would be the construction of thermoelectric plants. So, from the decade mentioned above, the national political component induced the increase in the number of thermoelectric plants in Brazil. The implementation of this energy system brings several impacts to society and especially to the environment and can admit fundamental factors to measure and compare its effects on the environment, all tied to the context of continuity of space and time in the analysis of its occurrences. In this study, we evaluate the environmental impacts of a Gas Thermoelectric Plant (GTP) called Termorio, located in the municipality of Duque de Caxias, state of Rio de Janeiro (RJ). For this, we used the matrix methodology. The negative impacts resulting from the operation of the GTP are related to atmospheric and liquid emissions and will be of low intensity. This is due to both the appropriate location and its conception. Positive impacts were detected from the socio-economic perspective: increased electric energy supply and reliability, job generation, and tax collection increase.

Keywords: Environmental impacts; Thermoelectrical power plant; Matricial methodology.

Topic: Engenharia Ambiental

Received: 07/05/2022

Approved: 28/05/2022

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Raphael do Couto Pereira 
Troy University, Estados Unidos
<http://lattes.cnpq.br/2232319377341816>
<http://orcid.org/0000-0002-2864-0005>
rcoutopereira1@gmail.com

Lais Alencar de Aguiar 
Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/578550033245448>
<http://orcid.org/0000-0002-1551-4085>
lais.aguiar@ird.gov.br

Patrícia dos Santos Matta 
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2141772484348823>
<http://orcid.org/0000-0002-0768-9213>
patricia.matta@uerj.br

Alena Torres Netto 
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6574944043553517>
<http://orcid.org/0000-0002-1688-4037>
alenanetto@eng.uerj.br

Alfredo Akira Ohnuma Júnior 
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0181633220926313>
<http://orcid.org/0000-0002-0772-9334>
akira@eng.uerj.br

Josimar Ribeiro de Almeida 
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3215586187698472>
<http://orcid.org/0000-0001-5993-0665>
almeida@poli.ufrj.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.005.0012

Referencing this:

PEREIRA, R. C.; AGUIAR, L. A.; MATTa, P. S.; TORRES NETTO, A.; OHNUMA JÚNIOR, A. A.; ALMEIDA, J. R.. Aplicação de metodologia matricial na avaliação de impactos ambientais de uma usina termoeletrica. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.5, p.150-161, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.005.0012>

INTRODUÇÃO

Neste estudo realiza-se uma avaliação de impactos ambientais de uma Usina Termoeletrica (UTG) através de metodologia matricial. Alguns aspectos da área de implantação favorecem muito a realização das obras como, por exemplo, o fato de a UTG ser instalada em terreno plano, com facilidade de acesso e demais infraestrutura de abastecimento, de esgotamento e de comunicação o que minimiza as previsões de impactos negativos sobre os componentes dos meios físicos e biótico. Por outro lado, a maior parte da área do empreendimento é inundável, com drenagem difusa e vegetação de brejo, além de apresentar características geotécnicas desfavoráveis à implantação de construções pesadas, devido à presença em subsuperfície de espessas camadas de argila mole, principalmente no setor norte e oeste da área. Nesta fase de implantação consideram-se como impactos antrópicos negativos a pressão sobre a infraestrutura de serviços públicos e a variação da pressão sobre o sistema viário.

METODOLOGIA

A construção de um algoritmo admite dois fatores básicos suficientes para mensurar e comparar impactos ambientais decorrentes da manifestação de fenômenos (RIZHKIN, 1973; SOUZA, 1980): o primeiro referido à força ou intensidade da ocorrência do impacto (V_{pi}) e o segundo referido à importância ou relevância do impacto (R_g) no contexto espaço-temporal de suas ocorrências. Significa dizer que para que um impacto seja estimado é necessário que o fenômeno ambiental a que está associado (i) se manifeste ou possua razoável tendência para se manifestar, (ii) possua capacidade de induzir a transformação ambiental e (iii) afete uma dada área, através de um fator ou variável (IA) ambiental, durante um dado intervalo de tempo. Admitindo que o fenômeno (genérico) fen^i responda a primeira condição, resta conhecer os dois fatores que expressam seu impacto. São eles: V_{pi} que representa o valor potencial do impacto de fen^i ; ou seja, a sua intensidade potencial uma vez que ainda não há certeza de que esta ou irá ocorrer, e R_g que representa a sua relevância global no contexto espaço-temporal.

O impacto associado a fen^i será aqui denominado por impacto ambiental distribuído de fen^i notado através da seguinte expressão:

$$Iad \{fen^i\} = V_{pi} \cdot R_g \quad (1)$$

As estimativas de impacto de um fenômeno, no entanto, precisam possuir um horizonte temporal, uma vez que a disponibilidade e a consistência dos dados utilizados são limitadas. Assim sendo, denominou-se por tempo gerencial o intervalo de tempo a que as estimativas de impacto são capazes de cobrir. Portanto, todos os trabalhos realizados através deste modelo necessitam explicar o horizonte temporal de seus prognósticos. Seja $\{Ia^n\}$ o conjunto dos n indicadores que explicam fen^i . Qualquer IA pertence ao intervalo $[I_{min}; I_{max}]$ onde I_{min} e I_{max} constituem-se os limites mínimos e máximo de interesse do indicador considerado, Ia^i .

Seja Ia^k qualquer elemento de $\{Ia^n\}$. Seja ainda $\{D^k_{t_1}, D^k_{t_2}, \dots, D^k_{t_m}\}$ o conjunto de valores assumidos por Ia^k em m aferições efetuadas no intervalo $[t_1; t_m]$ o conjunto $\{D^k_{t_m}\}$, portanto, deve ser capaz de explicar,

pelo menos, uma parcela do comportamento de fen^i nesse intervalo de tempo constituindo-se, assim, um elemento básico para o diagnóstico do fator ambiental a que IA^k está vinculado.

Seja $\{D^k_{tm}\}$, sem a presença do empreendimento, generalizando esta abordagem para todo $\{Ia^n\}$, tem-se que:

$$\begin{aligned}
 IA^1 &= D^1_{t1}, D^1_{t2}, \dots, D^1_{tm}, D^1_{tm+z} \\
 IA^2 &= D^2_{t1}, D^2_{t2}, \dots, D^2_{tm}, D^2_{tm+z} \\
 &\dots\dots\dots \\
 Ia^k &= D^k_{t1}, D^k_{t2}, \dots, D^k_{tm}, D^k_{tm+z} \\
 &\dots\dots\dots (2) \\
 Ia^n &= D^n_{t1}, D^n_{t2}, \dots, D^n_{tm}, D^n_{tm+z}
 \end{aligned}$$

Essa matriz de indicadores explica o comportamento fen^i , para todo t pertencente ao intervalo $[t^1; t_{m+z}]$. Cada coluna representa o cenário do comportamento de fen^i em um dado instante do tempo, segundo a capacidade de explicação dos indicadores selecionados. A cada célula $D^i t_i$ da matriz de indicadores ambientais de fen^i corresponde, por definição, um valor estimado para a qualidade ambiental dele decorrente. Desta forma, a cada fenômeno considerado, seja ele ocorrente, virtual ou prognosticado, está associada uma matriz de indicadores. E a cada matriz de indicadores está vinculada uma matriz de qualidade ambiental, derivada das manifestações do fenômeno.

Seja Qa^k_{tm} a qualidade ambiental derivada da presença virtual do fen^i , no tempo t_m , em função do comportamento aferido de IA^k , no mesmo instante de tempo.

Seja Qa^k_{tm} a qualidade ambiental prognosticada, a partir de $\{Qa^k_{tm+z}\}$, para o tempo Qa^k_{tm+z} , sem presença do empreendimento.

Qualquer $Qa^n_t \in [0;1]$ que são os valores extremos referentes aos limites máximos e mínimos de interesse de Ia^n .

Generalizando essa abordagem para todo $\{Ia^n_{tm}\}$ tem-se que:

$$\begin{aligned}
 QA(IA^1) &= QA^1_{t1}, QA^1_{t2}, \dots, QA^1_{tm}, \dots, QA^1_{tm+z} \\
 QA(IA^2) &= QA^2_{t1}, QA^2_{t2}, \dots, QA^2_{tm}, \dots, QA^2_{tm+z} \\
 &\dots\dots\dots \\
 QA(IA^k) &= QA^K_{t1}, QA^K_{t2}, \dots, QA^K_{tm}, \dots, QA^K_{tm+z} \\
 &\dots\dots\dots (3) \\
 QA(IA^n) &= Qa^n_{t1}, Qa^n_{t2}, \dots, Qa^n_{tm}, \dots, QA \Big|_{n_{tm+z}}
 \end{aligned}$$

A matriz da qualidade ambiental exprime os resultados das variações funcionais e comportamentais dos fatores ambientais afetáveis por fen^i , no intervalo $[t^1; t_{m+z}]$. Cada coluna representa o cenário tendencial do estudo, abordando a presença virtual de fen^i . O valor potencial do impacto desse evento no cenário tendencial, prognosticado para tempo tw é dado por:

$$\begin{aligned}
 Vpi \{fen^i_{tw}\} &= [(QA^1_{tw} + \dots + Qa^n_{tw})] / n \\
 \text{Logo: (4)}
 \end{aligned}$$

$$Vpi \{fen^i_{tw}\} = \sum [(Qa^n_{tw} - 1)] / n$$

Desta forma, $V_{pi} \{fen^i_{tw}\}$ é estimado através da média dos desvios calculados entre a qualidade ambiental derivada do desempenho de cada indicador que explica fen^i_{tw} e a qualidade ambiental associada ao melhor desempenho desses mesmos indicadores, a qual, por definição, tem valor igual a 1 (um).

Por analogia, para o prognóstico do cenário de sucessão, a estimativa do valor potencial do impacto de fen^i_{tw} sofre o mesmo tratamento, realizado as duas matrizes apresentadas.

Assim sendo, seja $QAE^{n_{tm+z}}$ a qualidade ambiental prognosticada a partir de $QA^{n_{tm+z}}$, com a presença do empreendimento. Então, o valor potencial do impacto de fen^i_{tw} será dado por:

$$V_{pi} \{fen^i_{tw}\} = \sum [(QAE^{n_{tw-1}})] / n \quad (5)$$

Por conseguinte, a avaliação do impacto de fen^i_{tw} , balizada nas alternativas explicitados pelos cenários tendencial e de sucessão é dado por:

$$\begin{aligned} V_{pi} \{fen^i_{tw}\} &= \sum [(QAE^{n_{tw-1}})] / n \text{ em} \\ V_{pi} \{fen^i_{tw}\} &= \sum [(Qa^{n_{tw-1}})] / n \\ V_{pi} \{fen^i_{tw}\} &= \sum [(QAE^{n_{tw}} - Qa^{n_{tw}})] / n \end{aligned} \quad (6)$$

A relevância global é uma expressão da importância espaço-temporal do fenômeno. A duração da ocorrência de fen^i é estimada a partir dos conhecimentos desenvolvidos pelos diagnósticos descritos e analíticos do estudo. A sua valoração é obtida através da relação entre o tempo previsto para as manifestações de um fenômeno e o tempo gerencial adotado pelo estudo. Dessa maneira, $d \in (0; 1)$, dado que se $d = 0$, então não haverá manifestações previstas do evento durante o intervalo determinado pelo tempo gerencial.

A carência comporta-se de forma inversa em relação à duração, i.e., dado um fenômeno qualquer, quanto maior a sua carência menor ser a sua relevância global, desde que os demais atributos permaneçam constantes. A sua valoração é dada pela relação entre o tempo estimado para o início das manifestações de evento e o tempo gerencial adotado. Desse modo, $c \in [0; 1]$, desde que, se $c = 1$, não ocorrerá qualquer manifestação do evento no intervalo do tempo gerencial estabelecido.

Por fim, a distribuição de fen_i é explicada através da relação entre a quantidade do fator por ele diretamente afetada ou afetável e o valor do HSI (*Habitat Suitability Index*) desse mesmo fator na área do estudo.

O intervalo de variação da distribuição, estimada como os demais atributos, é $(0,1)$, dado que se $b = 0$, então não existe o fenômeno.

Considerando o intervalo de variação de cada um dos atributos utilizados, infere-se que o domínio de $R_g \{fen^i\} = (0,1)$, sem que qualquer um dos três atributos tenha representatividade diferenciada na explicação da relevância global de fen_i .

A expressão da relevância global é dada por:

$$R_g \{fen^i\} = d.b. (1 - c) \quad (7)$$

Por fim, a estimativa do impacto ambiental distribuído de fen^i_{tw} é dada por:

$$I_{ad} \{fen^i_{tw}\} = d.b. (1 - c) . \sum [(QAE^{n_{tw}} - Qa^{n_{tw}})] / n \quad (8)$$

O uso de apenas um indicador ambiental por fenômeno, na grande maioria dos casos, é suficiente

para exprimir a variação da qualidade ambiental proporcionada por suas manifestações.

Assim sendo, a expressão do impacto assume a seguinte forma:

$$I_{tw} = d.b. (1 - c) \cdot (QAE_{tw}^n - Qa_{tw}^n) \quad (9)$$

Com base nessas condições, utiliza-se um sistema de avaliação integrada. A proposição baseia-se em dois aspectos: Avaliação da capacidade ambiental da área em absorver os efeitos potenciais do empreendimento a se instalar; Avaliação dos impactos ambientais, gerados a partir da identificação e qualificação das atividades industriais.

Entre as questões mais relevantes, mais imediatamente avaliadas, estão as seguintes:

Identificação, mediação e valoração dos impactos ambientais; positivos e negativos; diretos e indiretos; locais, regionais e estratégicos; imediatos, a médio e longo prazos; temporários, permanentes e cíclicos, reversíveis e irreversíveis, das ações do projeto e suas alternativas nas etapas de construção e operação, destacando os impactos a serem pesquisados em profundidade e justificando os demais, com ênfase especial na: biota, qualidade da água, qualidade do ar, níveis de ruído, modificação do uso do solo, paisagem, população e outros.

Previsão da magnitude, considerando grau de intensidade de duração e a importância dos impactos identificados, especificando indicadores de impacto, critérios, métodos e técnicas de previsão utilizadas.

Atribuição do grau de importância, em relação ao fator ambiental afetado e aos demais, bem como a relação a relevância conferida a cada um deles pelos grupos sociais afetados.

Prognóstico da qualidade ambiental da área de influência, nos casos de adoção do projeto e suas alternativas e na hipótese de sua não implantação, determinando e justificando os horizontes de tempo considerados (WILSON, 1978).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Usina Termoeletrica (UTE) de Duque de Caxias produzirá energia elétrica a partir de gás natural, usando turbinas a gás e a vapor operando em ciclo combinado. A UTE terá uma potência total de 720 MWe no primeiro horizonte considerado – 2005 – em duas etapas de implantação: uma primeira de 190 MWe em regime de co-geração com fornecimento de vapor a PETROBRÁS/REDUC, e logo após mais dois conjuntos adicionais de 265 MWe, de modo a atingir 720 MWe em 2005. No segundo horizonte – 2010 – poderá ser instalado um quarto conjunto gerador, levando-se a potência total a cerca de 1 Gwe.

A energia elétrica produzida em 21 kV será transformada e encaminhada ao sistema interligado por duas linhas de transmissão: uma em 138 kV e a outra em 500 kV. A primeira deverá suprir, através de um transformador-elevador de até 100 MVA, a própria REDUC, bem como outras empresas situadas nas proximidades. Uma linha dupla de 500 kV interligará a UTE com a subestação de São José (Belford Roxo – Rio de Janeiro), pertencente à FURNAS, de onde a energia alimentará o sistema interligado. Adicionalmente, a planta irá enviar cerca de 330 t/h de vapor (41 bar/399oC) para a REDUC desde a primeira etapa.

A implantação da primeira etapa da UTE, com potência elétrica nominal de 190 MWe, em sistema de cogeração, utilizará um gerador acionado por uma turbina a gás e uma a vapor dispostas num único eixo. Na

segunda etapa, serão instalados dois conjuntos de geração com potência nominal de 265 MW cada, contendo cada conjunto um gerador acionado por duas turbinas a vapor e uma a gás natural, também dispostos num único eixo.

O suprimento de gás natural e águas (desmineralizada, de refrigeração, potável e de incêndio) será feito pela REDUC, que, por sua vez, irá receber da UTE até 330 t/h de vapor a 41 Bar de pressão e 399°C de temperatura.

Os principais equipamentos que irão compor cada bloco de geração até o horizonte 2005 são os seguintes: Bloco 1 (190 MW – Cogeração): um gerador; uma turbina a gás; uma turbina a vapor; um gerador de vapor (regenerador de calor); um desaerador; sistemas auxiliares (exaustão de gases, ar comprimido e outros); Bloco 2 (265 MW): um gerador; uma turbina a gás; duas turbinas a vapor; um gerador de vapor (regenerador de calor); sistemas auxiliares (exaustão de gases, ar comprimido e outros); Blocos 3 e 4 (265 MW cada): será composto por equipamentos idênticos aos que constituem o bloco 2.

Os seguintes sistemas e equipamentos complementares serão também instalados: Sistema de transformadores e de distribuição interna de energia, nas seguintes voltagens: 127V, 450V, 2,4kV, 4,16kV e 13,8kV; dois transformadores-elevadores de tensão para 500 kV; um transformador-elevador de tensão para 138 kV com potência nominal de 100 MVA; sistema de refrigeração de água; tanques para estocagem de água bruta, desmineralizada, condensado e de incêndio; estação de tratamento de efluentes. As características do gás natural a ser utilizado na UTE são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1: Composição química do gás natural a ser utilizado na UTE de Duque de Caxias.

Parâmetro	Composição (% em volume)
Metano	93.8
Etano	3.5
Propano	0.8
Butano e compostos superiores	0.8
Nitrogênio	0.7
Gás carbônico (CO ₂)	0.4
Gás sulfídrico (H ₂ S)	20 mg/Nm ³

Fonte: UTE.

A tabela 2 mostra as características da água a ser fornecida pela PETROBRÁS/REDUC e oriunda da adutora do Rio Guandu, a serem consideradas no projeto e nos estudos ambientais da usina.

Tabela 2: Características da água a ser fornecida pela REDUC.

Parâmetro	Valor
Cor	10
Turbidez (NTU)	10 a 50
Condutividade (micro ohm/cm)	50
Alcalinidade total (expressa em ppm de CaCO ₃)	10 a 20
Alcalinidade carbonatos (ppm de CaCO ₃)	0
Alcalinidade de bicarbonato (expressa em ppm de CaCO ₃)	10 a 20
Dureza total (expressa em ppm de CaCO ₃)	16 a 23
Dureza em Ca (ppm)	14 a 23
Dureza em Mg (ppm)	2 a 7
Ferro total (ppm)	1
Cloro (ppm)	8 a 10
Nitrogênio amoniacal (ppm)	1
Nitrogênio comonitritos (ppm)	2

Fonte: REDUC.

A tabela 3 lista os consumos de combustível e utilizadas previstos para a UTE, nas duas etapas de implantação.

Tabela 3: Consumos de combustível e utilizadas previstos para a UTE.

Combustível/utilidade	1ª etapa	2ª etapa	3ª etapa
Gás Natural a uma pressão de 24 bar (MMNm ³ /dia)	1,06	3,18	4,24
Água demineralizada (geração de vapor) (m ³ /h)	330	330	330
Água de resfriamento (circuito fechado) (m ³ /h)	-	500	750
Água potável (m ³ /dia)	6	6	6

Fonte: UTE.

As principais interconexões da UTE, i.e linhas entre a planta e a REDUC e para descarga de efluentes líquidos, estão listadas na tabela 4.

Tabela 4: Principais interconexões da UTE.

Item	Natureza	Descrição
1	Vapor	20' diâmetro; 41 Bar, 393°C; Fluxo: 200 t/h (média) a 330 t/h (max.) - o/REDUC
2	Água desmineralizada	8' diâmetro: Fluxo: 200 t/h a 300 t/h: - da REDUC
3	Efluente líquido para Baía de Guanabara	8' diâmetro: Fluxo: 330 t/dia: Temperatura: 40°C
4	Água bruta para resfriamento	8' diâmetro: Fluxo: 330 t - da REDUC
5	Água potável	2' diâmetro: Fluxo: 6m ³ /dia - da REDUC
6	Esgotos sanitários	6' diâmetro: Flow: 6m ³ /dia - da REDUC
7	Água de incêndio	4' diâmetro: Fluxo: até 10 t/h - da REDUC
8	Gás natural (do gasoduto Rio-SP)	20' diâmetro: Fluxo: 3.2 MMNm ³ /dia; Pressão: 24 Bar
9	Eletricidade para Canteiro/Partida	A partir da subestação de 138 kV da REDUC
10	Dados e sinais de processo	Para partilha de informações de mediação entre REDUC e UTE

Fonte: UTE.

A transmissão em 138 kV poderá utilizar a linha da CERJ existente ou a sua faixa de domínio. A transmissão em 500 kV, por outro lado, considerará duas alternativas: a primeira utilizando a faixa de domínio das linhas existentes e a segunda buscando articulação direta, em novo traçado, com a subestação São José de FURNAS em Belford Roxo, localizada a cerca de 8km em linha reta da UTE. Os estudos técnico-econômicos em andamento subsidiarão os estudos ambientais para decisão final quanto aos traçados de novas linhas.

A construção do empreendimento terá impactos mínimos, por se tratar de terreno já alterado, localizado em zona industrial consolidada. As linhas de transmissão utilizarão, sempre que possível, as faixas de domínio existentes, ou buscarão traçados que minimizem os impactos ambientais de sua instalação e operação.

A operação do empreendimento irá gerar emissões gasosas e efluentes líquidos, de acordo com os padrões ambientais aplicáveis discutidos adiante. Praticamente não ocorrerá a geração de resíduos sólidos no processo produtivo, uma vez que a principal fonte desses resíduos num empreendimento do gênero seria a unidade de produção de água desmineralizada para caldeiras. Como este tipo de água será adquirido da REDUC, não haverá a geração de resíduos como borras de tratamento e resinas gastas. Assim sendo, os resíduos sólidos serão gerados basicamente pelas atividades administrativas e de manutenção das instalações e equipamentos.

Os ruídos de compressões, turbinas e outros equipamentos industriais serão limitados ao terreno da propriedade, atingindo nos seus limites os padrões aplicáveis O Distrito Industrial de Campos Elíseos.

A seguir, são listados as emissões gasosas e os efluentes líquidos previstos:

Emissões gasosas – Ocorrerão como consequência da queima, na primeira etapa, de cerca de 1,06 MMNm³/dia de gás natural no conjunto de cogeração do bloco 1. Na segunda etapa, o acréscimo de consumo de gás natural será de 2,12 MMNm³/dia, totalizando um consumo total de 3,20 MMNm³/dia para operação dos três blocos de geração previstos (blocos 1, 2 e 3). Esses gases serão liberados na atmosfera através da chaminé principal de exaustão, após circularem nas caldeiras de geração de vapor, de modo a permitir a recuperação de parte do calor neles contido. As emissões de Nox (como NO₂), principal preocupação ambiental numa usina a gás natural, não ultrapassarão 25 ppm, conforme garantia do fabricante, estando muito abaixo do limite preconizado pelo Banco Mundial, que é de 125 mg/Nm³. Óxido de enxofre, monóxido de carbono e material particulado serão gerados em proporções mínimas, face o teor do enxofre máximo do gás natural (< 20 mg/Nm³ em H₂S) e o caráter reconhecidamente limpo da queima desse combustível em termos de combustão praticamente total (pouquíssimo CO e MP). A tabela 5 apresenta os valores das emissões atmosféricas máximas estimadas para a UTE, e apresenta os padrões aplicáveis.

Tabela 5: Emissões atmosféricas máximas da UTE e padrões aplicáveis.

Poluente	Concentração máxima (mg/Nm ³) ¹	Limite nacional (Res. CONAMA 08/90)	Banco mundial ² (mg/Nm ³)
NO _x	51.0 (25 ppm)	NR ³	125
CO	100.0	NR	NR
SOX	14.39 (5 ppm)	2.000 g/10 ⁶ Kcal ≅ 1.333	2.000
Material Particulado – MP	50.0	120 g/10 ⁶ Kcal ≅ 80 mg/Nm ³ ⁴	50

Fonte: UTE, CONAMA e Banco Mundial.

Efluentes líquidos – Oriundos da UTE de Duque de Caxias serão formados pelas descargas de água de processo (190 m³/h após as 3 etapas) e de esgotos (6 m³/dia). A água de processo, correspondente a purgas do sistema de resfriamento (principal descarga) e arrefecimento/purga de caldeiras, após tratamento adequado à natureza dessas correntes – note-se a disposição do empreendedor quanto à não utilização de compostos de zinco para tratamento da água de refrigeração –, será descartada na rede de drenagem natural da região e atingirá a Baía de Guanabara na zona estuarina do rio Iguaçu. O ponto específico de lançamento será definido pelos estudos de impacto ambiental. A rede de drenagem natural existente, formada por vários canais, é utilizada pelas indústrias situadas na área para descarte das águas industriais.

Os esgotos sanitários da planta serão encaminhados ao sistema de coleta e tratamento da REDUC.

As tabelas 6, 7 e 8, mostram a matriz da síntese dos impactos ambientais nos meios físicos, biótico e socioeconômico, respectivamente. A matriz dos algoritmos dos impactos ambientais lan com fatores decorrentes da manifestação de fenômeno contém colunas de intensidade de impacto (V_{pi}) que mensura a intensidade de impacto; a importância de impacto (R_g) que mensura a relevância do mês mo, a estimativa do impacto distribuído (IAD) com os respectivos valores de escala nominal (positivo/negativo). Em todas as colunas considera-se as possibilidades com/sem Programa de Gestão Ambiental (PGA).

¹ Admitido pelos consultores com base na garantia do fabricante, no seu banco de dados e no limite máximo recomendado pelo Banco Mundial quando existente.

² *Pollution Prevention and Abatement Handbook, The World Bank Group, 1997, Thermal Power-Guidelines for New Plants*”;

³ Não regulado

⁴ Para queima de óleo, já que gás natural não é regulado.

Tabela 6: Síntese da Avaliação dos Impactos sobre o Meio Físico.

Sistema e Ações	Evento Causador do Impacto	Estrutura/ Processo Impactado	Alterações e Fenômenos Ambientais Envolvidos	Indicadores de Impacto	Caracterização do Impacto	Monitoração, Mitigação e Compensação	Algoritmo
Implantação	Aterro e Terraplanagem	Relevo/Paisagem	Alteração da Paisagem	Modificação do Relevo	Negativo, local, direto, permanente, de ação imediata e intensidade baixa		IA1
Implantação	Extração de material terroso em jazida	Relevo	Exposição do solo, erosão, produção de sedimentos	Voçorocas, ravinas, assoreamento dos cursos d'água, geração de poeira	Negativo, direto, regional, permanente; irreversível, de ação imediata e de alta intensidade (caso a área não seja recuperada) e de baixa intensidade (caso haja recuperação da área)	Recuperação da área degradada	IA2
Implantação	Exploração de jazida, tráfego de veículos pesados, aterro e Terraplanagem	Atmosfera	Degradação dos índices de qualidade do ar	Afastamento da avifauna, deposição de poeira, problemas respiratórios na população	Negativo, direto, local, temporário; reversível, de ação imediata e média intensidade	Umidificação das vias de circulação e da área de aterro	IA3
Implantação	Dragagem do canal do Honorato	Recursos hídricos	Produção de sedimentos	Aumento da turbidez das águas	Negativo, direto, local, temporário, reversível, de ação imediata e de intensidade baixa		IA4
Implantação	Dragagem do canal do Honorato	Recursos hídricos	Produção de sedimentos finos	Assoreamento do canal de tomada d'água	Negativo, indireto, regional, temporal; reversível, de ação imediata e de intensidade média		IA5
Implantação	Descarte de efluentes líquidos do canteiro de obras	Recursos hídricos	Alteração da qualidade das águas	Aumento da turbidez das águas	Negativo, direto, local, temporário; reversível, de ação imediata e de intensidade média	Tratamento de efluente	IA6
Implantação			Aumento do nível de ruído	Alteração na qualidade ambiental	Negativo, direto, local, temporário; reversível, de ação imediata e de intensidade baixa e média		IA7
Implantação	Emissões atmosféricas (MP, CO, NOX e SOX)	Atmosfera	Alteração da qualidade do ar	Poluição do ar	Negativo, local, temporário, reversível; de ação imediata e de intensidade baixa	Implantação de sistemas de tratamento adequados	IA8
Implantação	Descarte de efluentes líquidos	Recursos hídricos	Alteração da qualidade das águas	Aumento da turbidez	Negativo, direto, local, temporário; reversível, de ação imediata e de intensidade baixa	Implantação de sistemas de tratamento adequados	IA9
Implantação	Produção de resíduos sólidos	Solo	Poluição do solo		Não foram caracterizados como significativos	Implantação de sistemas de tratamento adequados	IA10
Implantação	Operação da usina		Aumento do nível de ruído	Alteração na qualidade ambiental	Não foram caracterizados como significativos	Implantação de sistemas de tratamento adequados	IA11

Tabela 7: Síntese da Avaliação dos Impactos sobre o Meio Biótico.

Sistema e Ações	Evento Causador do Impacto	Estrutura/ Processo impactado	Alterações e Fenômenos ambientais envolvidos	Indicadores de Impacto	Caracterização do Impacto	Monitoração, Mitigação e Compensação	Algoritmo
Implantação	Aterro e Terraplanagem	Ecosistemas terrestres e aquático	Perda da biodiversidade	Destruição de habitats	Negativo, local, permanente, direto, irreversível, de ação imediata e de intensidade alta		IA12
Implantação	Canteiro de obras	Ecosistema aquático	Alteração da qualidade das águas	Aumento da turbidez	Negativo, local, temporário; reversível, de ação imediata e de intensidade baixa	Implantação de sistemas de tratamento adequados	IA13
Implantação	Tráfego de veículos	Ecosistema terrestre	Deslocamento da fauna; alteração dos processos fisiológicos das plantas	Não visualização das espécies da avifauna; deposição de poeira sobre a vegetação	Negativo, local, temporário; reversível, de ação imediata e de intensidade baixa		IA14
Implantação	Emissão de efluentes líquidos, gasosos e resíduos sólidos	Ecosistema terrestre aquáticos	Efeitos diretos e indiretos sobre a qualidade do ar e da água	Alteração na qualidade ambiental	Não foram caracterizados como significativos	Sistemas de tratamento específico	IA15
Implantação		Solo Urbano	Alteração do uso e ocupação do solo		Positivo, permanente, direto, irreversível, de intensidade baixa		IA16
Implantação		Serviços públicos	Pressão sobre infraestrutura de serviços públicos		Negativo, local, temporário; direto, reversível, de ação imediata e de intensidade baixa		IA17
Implantação			Geração de empregos		Positivo, local, temporário; reversível, de ação imediata e de intensidade média		IA18
Implantação			Desmobilização do canteiro de obras		Negativo, local, permanente, direto, irreversível, de intensidade média		IA19
Implantação			Aumento da arrecadação tributária		Positivo, regional, temporário, direto, reversível, de ação imediata e de intensidade alta		IA20
Implantação			Varição de pressão sobre sistema viário		Negativo, local, temporário; reversível, de ação imediata e de intensidade média		IA21
Operação			Aumento de ofertas e confiabilidade de energia elétrica		Positivo, regional, permanente; direto, irreversível, de intensidade alta		IA22

Operação			Geração de empregos		Positivo, local, permanente, direto, irreversível e de intensidade baixa		IA23
Operação			Aumento da arrecadação tributária		Positivo, regional, permanente, direto, irreversível, de intensidade alta		IA24
Operação			Pressão sobre infraestrutura de serviços públicos		Negativo, local, permanente; direto, irreversível, de ação imediata e de intensidade média		IA25
Operação			Varição de pressão sobre sistema viário		Negativo, regional, temporário, permanente, de ação imediata e de intensidade baixa		IA26

A tabela 8, contém a Matriz dos Algoritmos dos Impactos Ambientais IAn com fatores decorrentes da manifestação de fenômeno: Valor Potencial do Impacto ou Intensidade de Ocorrência de Impacto (Vpi) e Importância ou Relevância de Impacto (Rg). Considerando com e sem Programa de Gestão Ambiental (PGA) no contexto espaço-temporal (Recuperação, Mitigação e Compensação).

Tabela 8: Matriz dos Algoritmos dos Impactos Ambientais.

Algoritmo dos Impactos	Vpi Sem PGA	Vpi Com PGA	Rg Sem PGA	Rg Com PGA	Estimativa do Impacto Ambiental (IAD) Sem PGA	Estimativa do Impacto Ambiental (IAD) Com PGA	Impacto Ambiental (Escala Nominal)
IA1	0.2	0.1	0.4	0.2	0.08	0.02	Negativo
IA2	0.7	0.5	0.8	0.6	0.56	0.3	Negativo
IA3	0.5	0.3	0.4	0.2	0.2	0.06	Negativo
IA4	0.3	0.2	0.5	0.4	0.15	0.08	Negativo
IA5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2	Negativo
IA6	0.5	0.2	0.3	0.1	0.15	0.02	Negativo
IA7	0.3	0.1	0.3	0.1	0.09	0.01	Negativo
IA8	0.4	0.1	0.8	0.4	0.32	0.04	Negativo
IA9	0.3	0.1	0.6	0.2	0.18	0.02	Negativo
IA10	0	0	0	0	0	0	Negativo
IA11	0	0	0	0	0	0	Negativo
IA12	0.8	0.4	0.4	0.2	0.32	0.08	Negativo
IA13	0.3	0.1	0.2	0.1	0.04	0.01	Negativo
IA14	0.2	0.1	0.2	0.1	0.04	0.01	Negativo
IA15	0	0	0	0	0	0	Negativo
IA16	0.3	0.4	0.2	0.3	0.06	0.12	Positivo
IA17	0.3	0.1	0.2	0.1	0.06	0.01	Negativo
IA18	0.5	0.7	0.7	0.8	0.35	0.56	Positivo
IA19	0.2	0.1	0.2	0.1	0.04	0.01	Negativo
IA20	1	1	1	1	1	1	Positivo
IA21	0.3	0.2	0.2	0.1	0.06	0.02	Negativo
IA22	0.9	1	1	1	0.9	1	Positivo
IA23	0.3	0.4	0.3	0.3	0.09	0.12	Positivo
IA24	1	1	1	1	1	1	Positivo
IA25	0.5	0.3	0.5	0.4	0.25	0.12	Negativo
IA26	0.3	0.2	0.2	0.1	0.06	0.02	Negativo

A estimativa dos Impactos Ambientais Distribuídos (IAD) positivos ou negativos, com e sem o Programa de Gestão Ambiental (PGA) consta da tabela 9, assim como o Coeficiente de Importância Relativa (CIR), determinada por:

$$IAD \{fen_{tw}\} = d.b. (1-c). \sum [(QAE^n_{tw} - Qa^n_{tw})] / n \quad (10)$$

Tabela 9: Estimativa dos impactos ambientais distribuídos (IAD) e Coeficiente de importância relativa (CIR).

Escala Nominal	IAD Total Sem PGA	n	CIR	IAG Total Com PGA	n	CIR
Impactos Positivos	3.4	6	0.57	3.8	6	0.63
Impactos Negativos	2.9	20	0.15	1.03	20	0.05

CONCLUSÕES

A tabela 9 evidencia que o IAD Total dos Impactos Positivos é maior que o IAD dos Impactos Negativos, independente de adoção de PGA. No entanto, IAG Positivo com PGA (3.8) é maior que IAD Positivo sem PGA (3.4). A diferença de adoção PGA torna-se fundamental para minimização de impactos negativos, pois IAD Negativo com PGA (0.3) representa 35,27% do valor de IAD Negativo sem PGA (2.92). Utilizando-se o Coeficiente de Importância Relativa (CIR), observa-se uma acentuação da diferença entre IAD Positivo e IAD Negativo.

REFERÊNCIAS

RIZHKIN, C.. **Turbomáquinas Térmicas**. Madrid: Dossat S.A, 1973.

Janeiro: Campus/EFEI, 1980.

SOUZA, Z.. **Elementos de Máquinas Térmicas**. Rio de

WILSON, C. L.. **Energia: Estratégias Globais - 1985 a 2000**. Rio de Janeiro: Atlântica, 1978.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157863776941244417/>