

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JOANA ROHR ETGES

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
BRASILEIRA VIA ENERGIA NUCLEAR**

MEDIANEIRA

2021

JOANA ROHR ETGES

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
BRASILEIRA VIA ENERGIA NUCLEAR**

**INTEGRATED ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF BRAZILIAN ELECTRIC
ENERGY GENERATION VIA NUCLEAR ENERGY**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Elias Lira dos Santos Junior.

MEDIANEIRA

2021



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JOANA ROHR ETGES

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
BRASILEIRA VIA ENERGIA NUCLEAR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 01/dezembro/2021

Elias Lira Santos Junior
Dr. em Engenharia Química
Universidade Federal Tecnológica do Paraná - UTFPR

Dangela Maria Fernandes Kitamura
Dra. em Agronomia
Universidade Federal Tecnológica do Paraná - UTFPR

Poiana Paula Quitaiski
Ma. em Tecnologias Ambientais
Universidade Federal Tecnológica do Paraná - UTFPR

**MEDIANEIRA
2021**

Dedico este trabalho à minha família, pelos momentos de ausência e ao meu orientador pela paciência e dedicação.

RESUMO

A energia elétrica gerada por fonte nuclear é obtida pela fissão de átomos de urânio que geram calor para o aquecimento da água em uma caldeira, que a partir do vapor gerado aciona as turbinas da usina dando partida a um gerador elétrico. Todavia, para que isso ocorra é necessário percorrer o ciclo do combustível nuclear com vistas a geração de energia elétrica. Essas etapas consistem na extração em reservas naturais - mineração, conversão, enriquecimento, reconversão, fabricação de pastilhas e combustível e a geração da energia elétrica, ou seja, em cada uma dessas etapas tem como entrada matéria-prima a energia e como saída a geração de resíduos. Desta forma, esse trabalho objetiva avaliar os impactos ambientais nas etapas de produção/geração de energia nuclear e seus efeitos cumulativos na atividade como um todo por meio de uma avaliação ambiental integrada. Para isso, foram levantados e classificados os impactos ambientais pela expertise de especialistas e por estudos anteriormente desenvolvidos em áreas similares, para cada uma das fases da atividade e em cada meio (físico, biótico e socioeconômico). Com isso foi possível verificar que tanto o meio físico quanto o biótico foram classificados com impactos de intensidade moderada e o sócio econômico classificado como leve, pois é o único meio que possui impactos positivos significativos. Outro importante aspecto foi a sinergia entre os impactos do meio físico e biótico, caracterizados, como leve, já os impactos entre o meio físico *versus* socioeconômico e biótico & socioeconômico foram identificados como desprezíveis, apontando para uma baixa sinergia entre esses componentes ambientais. A atividade é compreendida como sendo de moderada intensidade ao olhar da avaliação ambiental integrada.

Palavras-chave: produção de energia nuclear; impactos ambientais; etapas; compartimentos.

ABSTRACT

The electrical energy generated by a nuclear source is obtained by the fission of uranium atoms that generate heat for heating water in a boiler, which from the generated steam drives the plant's turbines, starting an electric generator. However, for this process to occur, a set of steps/phases is needed to obtain the raw material, in which case uranium is called the nuclear fuel cycle. These steps consist of extraction from natural reserves - mining, conversion, enrichment, reconversion, pellet and fuel manufacturing and the generation of electricity, that is, in each of these steps, energy is input as raw material and energy generation is output. waste. Thus, this work aims to assess the environmental impacts in the production stages and their cumulative effects on the activity as a whole, integrated environmental assessment. For that, the environmental impacts were surveyed and classified by the expertise of specialists and by studies previously carried out in similar areas, for each of the phases of the activity and in each environment (physical, biotic and socioeconomic). With this it was possible to verify that both the physical and the biotic environment were classified as having moderate impacts and the socio-economic one classified as light, as it is the only environment that has significant positive impacts. Or an important aspect was the synergy between the impacts of the physical and biotic environment, characterized as mild, whereas the impacts between the physical versus socio-economic and biotic & socio-economic environment were identified as negligible, pointing to a low synergy between these environmental components.

Keywords: nuclear power energy; environmental impacts; stages.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição da matriz elétrica brasileira.....	30
Figura 2 - Mapa dos Empreendimentos de Aproveitamento Hidrelétricos.....	31
Figura 3 - Representa à evolução das usinas eólicas instaladas pelo Brasil.....	33
Figura 4 - 1º Reator nuclear	35
Figura 5 - Representação do ciclo do combustível nuclear.....	37
Figura 6 - Porcentagem dos tipos de reatores utilizados no mundo.....	38
Figura 7 - Mapa da localização de reservas de urânio.....	41
Figura 8 - Representação de impacto ambiental sinérgico.....	43
Figura 9 - Representação de impacto ambiental cumulativo.....	44
Figura 10 - Etapas mineradoras de urânio no Brasil	51
Figura 11 - Unidade de concentração de urânio	52
Figura 13 - Unidade de concentração de urânio - Mina Cachoeira e Mina do Engenho.....	52
Figura 13 - Fábrica de Combustível Nuclear – Resende/RJ	54
Figura 14 - Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAE – Angra dos Reis – RJ	55
Figura 15 – Área de implantação da unidade de exploração de Santa Quitéria.....	56
Figura 16 - Barragem de rejeitos da UDC	57
Figura 17 - Classificação dos impactos na etapa de mineração	74
Figura 18 - Classificação dos impactos na etapa de conversão.....	75
Figura 19 - Classificação os impactos na etapa de atividades múltiplas	77
Figura 20 - Classificação dos impactos na etapa de operação e geração.....	78
Figura 21 - Classificação dos impactos ambientais na unidade de Santa-Quitéria ...	79
Figura 22 - Classificação dos impactos na fase de descomissionamento em Caldas	81
Figura 23 - Impactos na mineração (meio físico, biótico e socioeconômico).....	82
Figura 24 – Impactos na etapa de conversão (meio físico, biótico e socioeconômico)	83

Figura 25 - Impactos das atividades múltiplas (meio físico, biótico e socioeconômico)	84
Figura 26 - Impactos da operação e geração (meio físico, biótico e socioeconômico)	85
Figura 27 - Impactos em Santa-Quitéria, fase de planejamento (no meio físico, biótico e socioeconômico)	86
Figura 28 - Impactos na UDC (meio físico, biótico e socioeconômico)	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição da capacidade instalada por fonte no ano de 2001 e 2010	29
Tabela 2: Capacidade instalada e taxa de crescimento de geração de energia elétrica no Brasil	29
Tabela 3 - Escala de categorização dos impactos ambientais	48
Tabela 4 - Intensidade dos impactos pelos compartimentos e etapas	57
Tabela 5 - Lista de impactos ambientais da etapa de mineração – Meio Físico.....	58
Tabela 6 - Lista de impactos ambientais da etapa de mineração – Meio Biótico	59
Tabela 7 - Lista de impactos ambientais da etapa de mineração – Meio Antrópico	60
Tabela 8 - Lista de impactos ambientais da etapa de conversão-mineração – Meio Físico	62
Tabela 9 - Lista de impactos ambientais da etapa de conversão-mineração – Meio Biótico.....	62
Tabela 10 - Lista de impactos ambientais da etapa de conversão-mineração – Meio Antrópico	63
Tabela 11 - Lista de impactos ambientais da etapa de atividades múltiplas – Meio Físico	63
Tabela 12 - Lista de impactos ambientais da etapa de conversão-mineração – Meio Biótico.....	64
Tabela 13 - Lista de impactos ambientais da etapa de atividades múltiplas – Meio antrópico.....	65
Tabela 14 - Lista de impactos ambientais na etapa de geração de energia – Meio Físico	66
Tabela 15 - Lista de impactos ambientais na etapa de geração de energia – Meio Biótico.....	67
Tabela 16 - Lista de impactos ambientais na etapa de geração de energia – Meio Antrópico	67
Tabela 17 - Lista de impactos ambientais de Santa-Quitéria – Meio Físico	69

Tabela 18 - Lista de impactos ambientais de Santa-Quitéria – Meio Biótico	70
Tabela 19 - Lista de impactos ambientais de Santa-Quitéria – Meio Antrópico.....	70
Tabela 20 - Lista de impactos ambientais da UDC – Meio Físico	72
Tabela 21 - Lista de impactos ambientais da UDC – Meio Biótico	72
Tabela 22 - Lista de impactos ambientais da UDC – Meio Antrópico.....	72
Tabela 23 - Valor e categorização dos impactos cumulativos em diferentes compartimentos	89
Tabela 24 - Valor e categorização dos impactos cumulativos em diferentes componentes do meio	89
Tabela 25 - Valor e categorização dos impactos sinérgicos.....	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Descrição das categorias para classificação dos impactos ambientais.....	46
Quadro 2: Valoração das Categorias de classificação	36

LISTA DE ABREVIATURAS

AAI – Avaliação Ambiental Integrada
ABE - Associação Brasileira de Energia Eólica
ABDAN - Associação Brasileira para Desenvolvimento Atividades Nucleares
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CMEB - Centro da Memória da Eletricidade no Brasil
CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNTP - Condições Normais de Temperatura e Pressão
CONOMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CNPE - Conselho Nacional de Política Energética
CNPQ - Conselho Nacional de Pesquisa
CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
EREC - Conselho Europeu de Energia Renovável
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
GEE - gases de efeito estufa
INB - Indústrias Nucleares do Brasil
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MNB – Matriz Nuclear Brasileira
MME – Ministério de Minas e Energia
NOS - Operador Nacional do Sistema Elétrico
PNE – Plano Nacional de Energia
PWR - *Pressurized Water Reactor*/ Reator de água pressurizada
RIMA - Relatório de Impacto Ambiental
OEI - Organização de Estados Ibero-americanos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	OBJETIVOS	27
2.1	Objetivo Geral	27
2.2	Objetivos Específicos	27
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
3.1	Energia Elétrica no Brasil	28
3.2	Fontes de Energia	30
3.2.1	Energia Hidráulica	30
3.2.2	Combustíveis fósseis.....	32
3.2.3	Energia Eólica	32
3.2.4	Biomassa.....	34
3.2.5	Gás Natural	34
3.3	Energia Nuclear	35
3.3.1	Histórico	35
3.3.2	Combustível Nuclear	36
3.3.3	Reatores.....	38
3.3.4	Situação da Produção de Energia Nuclear no Brasil.....	38
3.4	Avaliação Ambiental Integrada (AAI).....	42
4	METODOLOGIA	45
4.1	Identificação da cadeia produtiva da energia termonuclear.....	45
4.2	Identificação e classificação dos impactos ambientais.....	45
4.3	Avaliação Ambiental Integrada das etapas da Matriz Nuclear Brasileira	47
5	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	50
5.1	Resultados da identificação e apresentação da cadeia produtiva de energia elétrica via energia nuclear no Brasil (Matriz Nuclear Brasileira – MNB) 50	
5.1.1	Mineração e beneficiamento (jazida).....	50
5.1.2	Conversão	53
5.1.3	Atividades múltiplas – enriquecimento, reconversão, fabricação de pastilhas e fabricação de combustível nuclear	53
5.1.4	Geração de Energia	54
5.1.5	Unidade de Santa Quitéria	55
5.1.6	Unidade de Caldas.....	56

5.2	Resultados da identificação dos impactos ambientais oriundos da	
MNB	57	
5.2.1	Mineração.....	58
5.2.2	Conversão – Operação	62
5.2.3	Atividades Múltiplas – Operação	63
5.2.4	Unidade Geradora de energia – Operação.....	65
5.2.5	Santa-Quitéria -Planejamento	69
5.2.6	Caldas – Descomissionamento	71
5.3	Resultados da classificação dos impactos.....	73
5.3.1	Mineração.....	73
5.3.2	Conversão	75
5.3.3	Atividades múltiplas.....	76
5.3.4	Operação-geração.....	78
5.3.5	Santa-Quitéria	79
5.3.6	Descomissionamento	80
5.4	Resultados da Avaliação dos impactos ambientais oriundos da	
MNB	82	
5.4.1	Mineração.....	82
5.4.2	Conversão	83
5.4.3	Atividades Múltiplas.....	84
5.4.4	Operação – Geração	85
5.4.5	Santa Quitéria – Planejamento.....	86
5.4.6	Caldas – Descomissionamento	87
5.5	Resultados da avaliação integrada dos impactos gerados pela	
MNB	89	
5.5.1	Impactos cumulativos	89
5.5.2	Impactos sinérgicos.....	90
6	CONCLUSÃO	91
	REFERÊNCIAS.....	93

1 INTRODUÇÃO

A produção de energia através da energia nuclear possui precedentes negativos, em parte devido ao grande acidente ocorrido em Hiroshima e Nagasaki, em 1945, e pelo uso inadequado de bombas nucleares em interesses políticos e militares. Como cita Hansen et al. (2018), nas palavras do sociólogo alemão Ulrich Beck, “somos perseguidos até nos sonhos pelos temores do holocausto nuclear”.

O principal combustível utilizado nas usinas termonucleares são os átomos de urânio e plutônio, prevalecendo ainda o Urânio²³⁵. Porém, para o urânio produzir energia, ele deve ser enriquecido e, para isso, utiliza-se a tecnologia da ultracentrifugação. (FGV PROJETOS, 2013)

A produção de energia através da energia nuclear tem vantagens que valem ser ressaltadas, como: é limpa durante sua produção, ou seja, não emite nenhum gás poluente para a atmosfera; é considerada uma das energias mais baratas, pois uma pequena planta produz um enorme potencial energético; é considerada praticamente inesgotável. O Brasil possui a quinta maior reserva de urânio no mundo; e sua produção é constante, não depende da força dos ventos, ou da energia solar que só ocorre durante o dia, tendo aproveitamento de 90% da produção de energia elétrica (MME, 2007).

Ainda assim, com todas as vantagens descritas, a produção de energia elétrica nuclear, possui desvantagens e a mais preocupante delas é o resíduo produzido, pois não existe nenhum plano definitivo para este resíduo, sendo que sua radiação pode ser emitida de forma relevante por até 300 anos tendo um alto e baixo nível de radioatividade, dependendo da linha de produção. Não existe nenhum programa nuclear para dar um destino adequado e ambientalmente correto para o rejeito nuclear (ROSSI, 2019).

E há também o risco de acidente e, mesmo tendo medidas de prevenção e segurança, sendo esta uma hipótese que não pode e nem deve ser descartada. Deve-se ainda considerar o fato de que tanto desastres naturais como falhas humanas podem acontecer, como também podem ser alvo de ataques terroristas com interesses políticos, militares e territoriais (ROSSI, 2019).

No mundo, estão em operação 440 reatores nucleares voltados para a geração de energia em 31 países. Outros 33 estão em construção. Cerca de 17% da geração elétrica mundial é de origem nuclear, a mesma proporção do uso de energia hidroelétrica e de energia produzida por gás (MME, 2007).

Alguns países desenvolvidos têm seu abastecimento de energia elétrica com alto percentual de geração nuclear. Entre eles, a França tem 78%, a Bélgica, 57%, o Japão, 39%, a Coreia do Sul, 39%, a Alemanha, 30%, a Suécia, 46%, a Suíça, 40%. Somente nos Estados Unidos, os 104 reatores em funcionamento, que geram 20% da eletricidade daquele país, produz mais que todo o sistema brasileiro de geração elétrica. Além disso, funcionam mais 284 reatores de pesquisa em 56 países, sem contar um número estimado de 220 reatores de propulsão em navios e submarinos (BIODISEL, 2020).

Assim sendo, faz-se necessário avaliar os impactos gerados pela produção de energia nuclear, desde a mineração até o produto final que é entregue nas Usinas de Angra I e II. Para isso, a técnica de avaliação ambiental integrada é muito válida, dando o suporte necessário para avaliação e qualificação dos impactos.

A avaliação ambiental integrada – AAI pode ser definida como: “avaliação espacial e temporal dos efeitos integrados dos projetos previstos nos diferentes cenários” (GONÇALVES, 2009, p.102).

Segundo Sanchez (2013):

Avaliação Ambiental Integrada (AAI) é um estudo capaz de conhecer especificamente os efeitos sinérgicos e cumulativos resultantes dos impactos ambientais ocasionados pelo conjunto de empreendimentos em planejamento, implantação e operação em uma determinada área - uma bacia hidrográfica, exemplo mais comum (SANCHEZ, 2013, p. 225)

2 OBJETIVOS

Esta seção está dividida em objetivo geral e objetivo específico onde são descritas as perspectivas científicas da pesquisa.

2.1 Objetivo Geral

Aplicar uma avaliação ambiental integrada nas etapas de produção de energia elétrica via energia nuclear no Brasil, avaliando os impactos cumulativos e sinérgicos da Matriz Nuclear Brasileira – MNB.

2.2 Objetivos Específicos

Para o desenvolvimento desse trabalho foram considerados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar, apresentar e caracterizar as etapas da cadeia produtiva de energia elétrica via energia nuclear no Brasil;
- Avaliar os impactos ambientais, nos meios físico, biótico e antrópico, oriundos da MNB;
- Avaliar os efeitos cumulativos e sinérgicos dos impactos ambientais gerados pela MNB.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Energia Elétrica no Brasil

Gomes e Vieira (2009) descrevem que a energia elétrica surgiu no Brasil em 1880, simultaneamente ao início de seu uso comercial no estrangeiro, mas que teve seu uso limitado a alguns serviços públicos e à atividade fabril. Já em 1891, quando a Constituição Federal estabeleceu um novo regime jurídico-legal, tornando o Brasil uma federação composta por estados com ampla autonomia administrativa, também estendida aos municípios.

O depoimento do professor da Universidade de São Paulo (USP), estudioso do setor elétrico, José Luiz Lima confirma essa situação: "...o princípio básico do setor elétrico foi o direito de acessão, ou seja, o entendimento de que as jazidas minerais, as quedas de água, todos os recursos hídricos em geral eram acessórios à propriedade da terra", o que deu amplos poderes aos municípios para negociarem com suas respectivas empresas concessionárias (CMEB, 1998).

A partir de 1995, foi privatizada grande parte das empresas do setor de eletricidade, especialmente na distribuição. Nesse novo contexto, foi criada, conforme mencionado por Hashimura (2012), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão regulador que tem como objetivo supervisionar as atividades no mercado de energia elétrica e houve também a criação do Conselho Nacional de Política Energética - CNPE, órgão vinculado à Presidência da República que tem como objetivo propor ao presidente da República as políticas nacionais e medidas específicas relativas ao setor energético (LEITE, 2011).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, através do Plano Nacional de Energia – PNE, a geração de energia elétrica no Brasil deve mais que dobrar nos próximos 20 anos, com o consumo de energia elétrica passando de 448 TWh em 2010 para 989 TWh em 2030. Sob essa hipótese, o País deverá ter aproximadamente 224 GW de capacidade instalada em 2030 (MME, 2007)

Segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2011), a Tabela 1 mostra a porcentagem de capacidade instalada de cada tipo de fonte de energia elétrica em 2011, 2010 e 2020.

Tabela 1 - Composição da capacidade instalada por fonte no ano de 2001 e 2010

Fonte	2001	2010	2020
Hidrelétrica	88,29%	79,70%	68,1
Térmica convencional	7,28%	16,77%	-
Térmica nuclear	2,85%	2,09%	2,2%
Eólica	0,00%	0,61%	5,4%
Biomassa	0,00%	0,12%	8,2%
Outros	0,00%	0,71%	-
Importação	1,59%	0,00%	-

Fonte: ONS (2011)

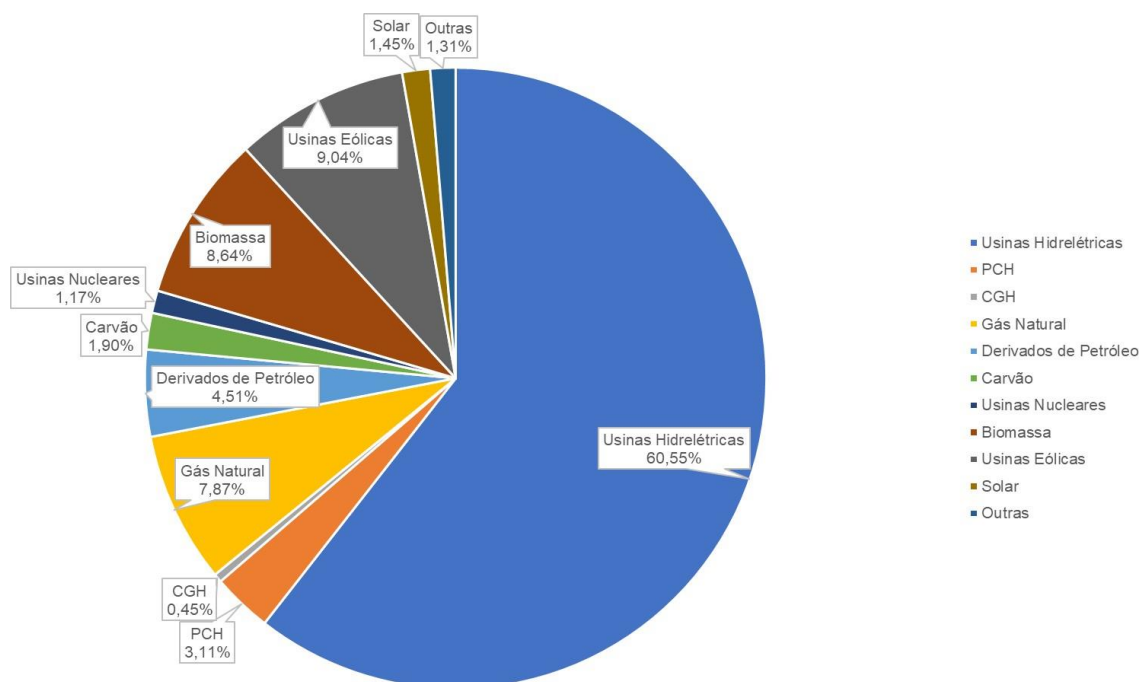
Já na Tabela 2, pode-se verificar a capacidade instalada nos anos de 2018 e 2019 e a taxa de variação para de cada tipo de fonte de energia elétrica segundo a EPE (2020).

Tabela 2: Capacidade instalada e taxa de crescimento de geração de energia elétrica no Brasil

	2018	2019	$\Delta\%$ (2019/2018)	Part. % (2019)
Total	162.840	170.118	4,5	100,0
Usinas Hidrelétricas	98.287	102.999	4,8	60,5
PCH	5.157	5.291	2,6	3,1
CGH	695	768	10,5	0,5
Gás Natural	13.359	13.385	0,2	7,9
Derivados de Petróleo	7.549	7.670	1,6	4,5
Carvão	2.858	3.228	12,9	1,9
Usinas Nucleares	1.990	1.990	0,0	1,2
Biomassa	14.569	14.703	0,9	8,6
Usinas Eólicas	14.390	15.378	6,9	9,0
Solar	1.798	2.473	37,6	1,5
Outras	2.188	2.234	2,1	1,3

Fonte: EPE (2020)

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica que responde por 64,9% da oferta interna (EPE, 2020). Neste sentido a Figura 1 apresenta a diversificação da matriz elétrica brasileira.

Figura 1 - Distribuição da matriz elétrica brasileira

Fonte: EPE (2020)

As fontes renováveis representam 83,0% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável.

No Brasil, as fontes em operação compreendem, em ordem decrescente de utilização, a saber: as hidrelétricas, termelétricas a gás natural, biomassa, petróleo e derivados, eólica e outras renováveis, carvão mineral e, por fim, a energia nuclear foco deste trabalho (ESCANHOELA, 2018).

3.2 Fontes de Energia

A origem da energia disponível ao ser humano na superfície terrestre tem sua origem nas seguintes fontes: radiação solar, marés provenientes da energia do sistema Lua-Terra-Sol e nuclear, que habilitam diferentes formas de energia, contudo, a energia nuclear é considerada como fóssil enquanto que as demais são consideradas fontes renováveis (ESCANHOELA, 2018).

3.2.1 Energia Hidráulica

A hidroeletricidade é um recurso renovável que independe de combustível para sua operacionalização, necessitando apenas da ação da gravidade e da luz natural para o seu aproveitamento, o que a transforma em uma tecnologia de geração

economicamente viável e, sobretudo, consolidada (ESCANHOELA, 2018).

Para Vainer e Araújo (1992, p. 34) a construção de usinas hidrelétricas são:

São rupturas consideráveis, que atingem sistemas físicos e bióticos, como os aspectos social, econômico e cultural das regiões de locação. Considera-se que tais rupturas surgem especialmente por projetos como o das grandes hidrelétricas, se se constituírem em enclaves, ou seja, são implantadas na região, não nascem de seu processo de desenvolvimento, não expressam as forças sociais, políticas, econômicas – endógenas (VAINER e ARAÚJO, 1992, p. 34).

De acordo com EPE (2020) a fonte hidráulica, que é composta por UHE, PCH e CGH, gerou cerca de 63,5% da energia elétrica nacional em 2019, enquanto as demais fontes energéticas geraram 36,5%. O mapa dos empreendimentos supracitados é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Mapa dos Empreendimentos de Aproveitamento Hidrelétricos



Fonte: SIGEL (2021)

3.2.2 Combustíveis fósseis

A produção nacional de petróleo cresceu 7,8% em 2019, atingindo a média de 2,79 milhões de barris diários, dos quais 96,3% são de origem marítima (EPE; 2020).

Segundo Instituto E+ Transição Energética (2019) a geração de energia elétrica é dominada por grandes usinas hidrelétricas, embora existam também mais de 2.400 termelétricas a combustíveis fósseis de pequeno e médio porte, muitas delas localizadas em sistemas isolados da região amazônica, que respondem por 16% da

capacidade instalada.

As usinas termelétricas típicas nos Sistemas Isolados são compostas por conjuntos de grupos geradores a diesel operando em paralelo. Somente no Brasil, os sistemas isolados possuem em torno de 230 usinas termelétricas com um consumo diesel de 1,08 bilhão de litros/ano (WILKE et al., 2018).

A fim de substituir a eletricidade proveniente da Venezuela foram contratados 9 geradores novos, que consomem atualmente 1 milhão de litros por dia, para o sistema isolado de Boa Vista, através de um leilão em maio de 2019. Entre essas usinas novas, previstas para entrar em operação até junho de 2021, houve 2 usinas a fontes fósseis (gás natural e óleo diesel) com uma capacidade instalada de 167 MW e 7 usinas de fontes renováveis (5 usinas a biomassa ou biocombustível e 2 usinas híbridas, entre elas uma usina solar em combinação com biocombustível), com uma capacidade instalada total de 125 MW (AGUIAR, 2013).

3.2.3 Energia Eólica

A energia eólica participou na matriz elétrica brasileira pela primeira vez em 2006 no âmbito do programa PROINFA e o primeiro leilão de energia renovável específico para eólica foi realizado em 2009 e hoje, a energia solar e eólica, representam as fontes de energia de menor custo (INSTITUTO E+ TRANSIÇÃO ENERGÉTICA; 2019).

Segundo a EPE (2020), a produção de eletricidade a partir da fonte eólica alcançou 55.986 GWh em 2019, equivalente a um aumento de 15,5% em relação ao ano anterior, quando se atingiu 48.475 GWh. Em 2019, a potência instalada para geração eólica no país expandiu 6,9%. Segundo o Banco de Informações da Geração (BIG), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o parque eólico nacional atingiu 15.378 MW o que agregou 4,8 milhões de tep à matriz.

Ainda com informações da EPE, existe uma metodologia para saber se é viável ou não aplicar a tecnologia eólica, sendo ela basicamente: saber a velocidade do vento na região escolhida, utilizar técnicas de geoprocessamento e, com isso, calcula-se as áreas que seriam apropriadas para o desenvolvimento de parques eólicos. Em seguida, utilizando premissas de fator de ocupação, calcula-se qual capacidade seria instalada naqueles locais e a energia gerada.

Dados da Associação Brasileira de Energia Eólica – ABE (2019), os ganhos de escala, tecnológicos e de competição reduziram os preços das fontes renováveis,

beneficiando amplamente a sociedade. O Brasil saiu de menos de 1GW de capacidade instalada em 2010 para 13,4 GW em agosto de 2018, com mais de 500 parques eólicos em 12 estados.

Na chamada "safra dos ventos", as eólicas já chegam a abastecer mais de 70% da demanda do Nordeste em dias de semana e, aos finais de semana, atende ainda mais, tendo atingido picos, recentemente, de atendimento de praticamente 100% da demanda Nordeste. A ABE acredita que o Brasil tem a força necessária para continuar evoluindo e ser exemplo mundial de fontes renováveis, crescendo de forma sustentável e competitiva. A Figura 3 representa as usinas eólicas no Brasil e seu crescimento durante os anos.

Figura 3 - Representa a evolução das usinas eólicas instaladas pelo Brasil



Fonte: ABEEólica (2017)

3.2.4 Biomassa

O Brasil possui um potencial termelétrico de biomassa muito significativo, denominada de bioeletricidade, onde a matéria-prima são os resíduos industriais, sobretudo, da indústria sucroalcooleira (EPE, 2020).

As usinas termelétricas à biomassa (na maioria à base de bagaço de cana) representavam 9% da capacidade total instalada. Essa atividade é considerada como limpa e renovável, gerando poucos impactos ambientais; com competitividade de custos; com amplo domínio tecnológico e disponibilizada em prazos curtos e com equipamento nacionais (INSTITUTO E+ TRANSIÇÃO ENERGÉTICA; 2019).

O Brasil apresenta um significativo teor de biomassa que é capaz de garantir o suprimento energético de 500 MW médios por ano ao operador nacional do sistema (PDEE, 2006-2015).

3.2.5 Gás Natural

Essa é uma alternativa menos poluente face aos combustíveis carvão e óleo, sendo o recurso energético primário que sofreu maior crescimento percentual nas últimas décadas.

Na geração elétrica, o carvão utilizado é o carvão vapor, predominantemente de origem nacional, cujos estados produtores são Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A demanda de carvão vapor para este uso final aumentou 10,0% em relação ao ano anterior a 2018 (INSTITUTO E+ TRANSIÇÃO ENERGÉTICA; 2019).

Ainda de acordo com o mesmo autor ao contrário de 2018, quando a participação do gás para geração de energia elétrica atingiu 32,9%, refletindo um menor despacho das termoelétricas, em 2019 esta participação avança para 37,4%, retornando ao patamar de 2017. A média diária de produção do ano foi de 122,5 milhões de m³/dia e o volume de gás natural importado foi de 26,9 milhões de m³/dia. O gás natural participa com 12,2 % na matriz energética nacional. Desta forma o autor indica que foram gerados cerca de 36,5% de energia com gás natural; 33,1% com biomassa, 12,9% com carvão e derivados 9,7% com energia nuclear, que terá uma seção a parte neste trabalho e 7,8% de petróleo e derivados.

Ele é um combustível de queima constante, propiciando uma maior eficiência no processo industrial e não gerando resíduos tóxicos o que reduz o desgaste dos equipamentos e também oferece maior segurança em relação a outros gases (PDEE, 2006-2015).

3.3 Energia Nuclear

Esta é uma seção específica para uma determinada fonte, face a aderência aos objetivos do trabalho, sobretudo, ao que concerne aos impactos ambientais advindos desse tipo de fonte de energia.

3.3.1 Histórico

Como conta a Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, na apostila educativa: A História da Energia Nuclear (2015), a Teoria Atomística iniciou antes de Cristo, no quinto século pelos filósofos gregos Leucipo e Demócrito. Trazendo descobertas das moléculas, átomos, elétron, raios de Becquerel, raios gamas, partículas beta, radiações eletromagnéticas e todas as contribuições necessárias para chegar aos conhecimentos atuais. Com a junção de todas as descobertas da química e da física e com o aparecimento de alguns problemas, em 1942, com a termalização

de nêutrons, foi utilizada na construção do primeiro reator nuclear, nos Estados Unidos. Os inventores registrados foram: Ferrai, Amaldi, Pontecorvo, Rasetti e Segre. Este reator foi construído no estádio de atletismo da Universidade, apesar das objeções de Compton e do General L. R. Greves, o reator é visualizado na Figura 4 (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR -CNEN, 2015).

Figura 4 - 1º Reator nuclear



Fonte: CNEN (2018)

3.3.2 Combustível Nuclear

Segundo o Portal de Energia Nuclear (2018), combustível nuclear nada mais é do que um elemento químico que é utilizado para a produção de energia nuclear. Esses elementos variam conforme o uso que cada reator necessita, seja por fissão ou fusão nuclear.

O combustível nuclear mais conhecido e usado atualmente é o Urânio ^{235}U , porém existem outros tipos, sendo eles: Plutônio (Pu), Trítio (T ou ^3H), Deutério (^2H), Tório (Th), siliceto de urânio (U_3Si_2), entre outros (PLANAS, 2012).

O Portal de Energia Nuclear (2018), a ponta que o consumo de combustível em um reator nuclear é muito lento e uma vez carregado, geralmente dura anos (dependendo do tipo do reator e do combustível utilizado), assim, após 18-36 meses, o combustível usado é removido do reator.

Segundo a *World Nuclear Association (2017)*, quando o combustível é removido do reator continua emitindo radiação, principalmente dos fragmentos de fissão, e calor. Ele é descarregado em um tanque de armazenamento imediatamente adjacente ao reator para permitir a diminuição dos níveis de radiação. Nas lagoas, a água protege a radiação e absorve o calor, que é removido pela circulação da água para trocadores de calor externos. O combustível usado é mantido nessas piscinas por vários meses e às vezes muitos anos. Pode ser transferido para armazenamento a seco naturalmente ventilado no local após cerca de cinco anos. Existem duas alternativas para o combustível usado:

- Reprocessamento para recuperar e reciclar a parte utilizável.

- Armazenamento a longo prazo e descarte final sem reprocessamento.
Conforme a Indústrias Nucleares do Brasil - INB, o urânio passa por um ciclo até ser transformado em combustível nuclear, para assim ser utilizado nas usinas nucleares. Esse ciclo é formado pelas seguintes etapas e processos:

Mineração e beneficiamento – depois de retirada do capeamento de solo, a rocha contendo urânio é triturada; em seguida, ela é submetida a um processo químico que separa o urânio de outros materiais a ele associados na natureza. O resultado desta primeira etapa do ciclo do combustível é o concentrado de urânio (*yellowcake*). Essa etapa é realizada atualmente na Unidade de Concentração de Urânio em Caetité/BA.

Conversão – o concentrado de urânio é dissolvido e purificado, e então convertido para o estado gasoso, o hexafluoreto de urânio (UF_6), e é somente em forma de gás que ele pode ser enriquecido, passando para a próxima etapa do ciclo do combustível nuclear. Esta etapa ainda não é realizada no Brasil.

Enriquecimento – é o aumento da concentração do urânio, o que torna possível a sua utilização como combustível. Essa concentração do isótopo U_{235} passa de 0,7%, como ele se encontra na natureza até 5% (suficiente para que ele gere energia). O Brasil utiliza a tecnologia de ultracentrifugação para enriquecer o urânio na Fábrica de Combustível Nuclear da INB em Resende/RJ.

Reconversão – o gás enriquecido é reconvertido em pó de dióxido de urânio (UO_2). Esta etapa é realizada na Fábrica de Combustível Nuclear da INB em Resende/RJ.

Fabricação de pastilhas – é com o urânio enriquecido sob a forma de pó que são fabricadas pastilhas com cerca de um centímetro de diâmetro. Esta etapa é realizada na Fábrica de Combustível Nuclear da INB em Resende/RJ.

Fabricação do combustível nuclear – as pequenas pastilhas de urânio enriquecido são colocadas dentro de varetas de uma liga de aço especial – o zircaloy. Em seguida, as varetas são organizadas em feixes, formando uma estrutura firme de até 5 metros de altura – o combustível nuclear. Esta etapa é realizada na Fábrica de Combustível Nuclear da INB em Resende/RJ.

Geração de energia – é a fissão dos átomos de urânio que estão contidos no combustível nuclear dentro do núcleo do reator que gera calor, aquecendo a água, e transformando-a no vapor que faz movimentar as turbinas, gerando assim energia. Essa etapa do ciclo do combustível nuclear é realizada nas usinas nucleares em Angra dos Reis/RJ, pela Eletrobras/Eletronuclear (INB, 2020).

A Figura 5 mostra o processo de produção do combustível à base de urânio.

Figura 5 - Representação do ciclo do combustível nuclear



Fonte: INB 2020)

3.3.3 Reatores

Existem cerca de 7 grandes tipos de reatores nucleares, porém o modelo mais utilizado no mundo é o Reator de água pressurizada – PWR, sendo o reator utilizado para geração de energia em Angra dos Reis – RJ.

Segundo Planas (2012):

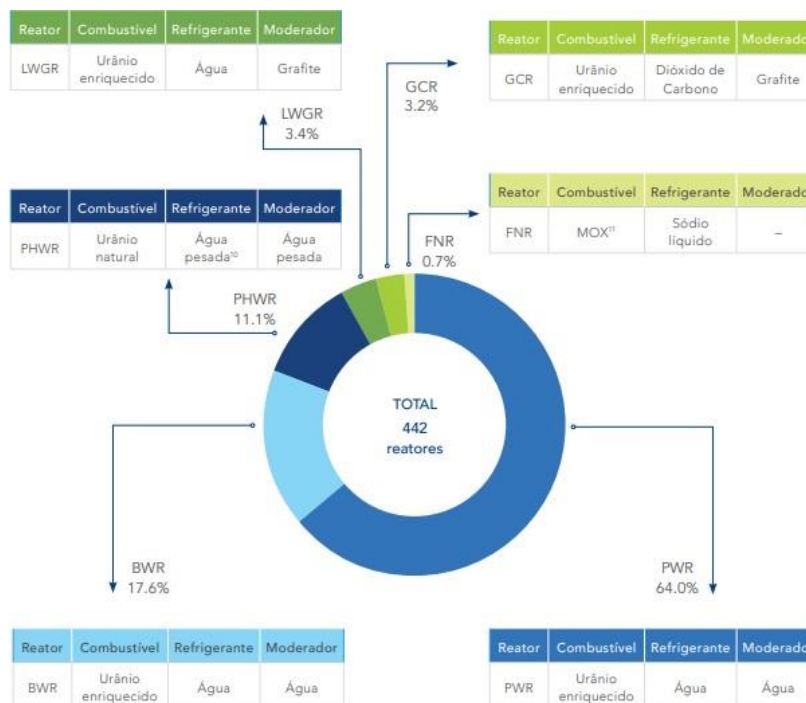
O reator de água pressurizada (PWR) é o reator nuclear mais utilizado no mundo ao lado do reator de água fervente (BWR). Este reator foi desenvolvido principalmente nos Estados Unidos, RF Alemanha, França e Japão. O combustível nuclear utilizado é o urânio enriquecido na forma de óxido. O moderador e o refrigerante usados podem ser água ou grafite. A energia térmica gerada pelo núcleo do reator é transportada pela água de resfriamento que circula sob alta pressão para um trocador de calor. O reator parte do princípio de que a água submetida a alta pressão pode evaporar sem atingir o ponto de ebulição. No trocador, o vapor é resfriado e condensado, e retorna ao reator no estado líquido. Na troca, o calor passa para um circuito de água secundário. A água do circuito secundário é convertida em vapor de alta pressão que será usado para acionar as turbinas a vapor. As turbinas fornecem energia mecânica para acionar o gerador elétrico e obter eletricidade (PLANAS, 2012, p. 02).

Como diz Gonçalves *et al.* (2019), ‘tem-se hoje 442 reatores nucleares gerando energia em 30 países e 66 novos reatores em construção, notadamente em

países como China, EUA, Rússia e membros da União Europeia’.

A Figura 6 mostra a porcentagem e os tipos de reatores utilizados no mundo.

Figura 6 - Porcentagem dos tipos de reatores utilizados no mundo



Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (2019)

3.3.4 Situação da Produção de Energia Nuclear no Brasil

Conforme descrito por PATTI (2014), o Brasil começou a debater sobre produzir energia atômica em 1945, quando passou a preservar os recursos naturais de minérios atômicos. O Brasil interessou-se em adquirir o domínio desta energia para fins científicos, médicos, industriais e militares.

O pioneiro da energia nuclear do Brasil foi Álvaro Alberto, que elaborou o primeiro projeto para dominar a energia atômica desde a lavra do mineral até a fabricação de combustível para abastecer os reatores de potência. A sua primeira proposta foi apresentada ao Conselho de Segurança Nacional por ele em 1947. E, em 1951, foi fundado e chefiado por ele o Conselho Nacional de Pesquisa - CNPq com o objetivo de coordenar o desenvolvimento nacional da energia nuclear e fortalecer o setor científico (PATTI, 2014).

A Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, junto com o governo brasileiro, em meados dos anos de 1967, depois de um relatório emitido por uma comissão internacional, decidiram sobre o tipo de reator a ser utilizado, desta forma optaram pela linha de reatores a água leve pressurizada (*PWR- Pressurized Water Reactor*), com urânio levemente enriquecido como combustível (PATTI, 2014).

Como relatado por Patti (2014):

O programa aprovado entre 1969 e 1970 foi efetivado em 1971, quando a CNEN e Furnas assinaram um contrato com a companhia norte-americana Westinghouse e a Comissão da Energia Atômica dos Estados Unidos (USAEC – United States Atomic Energy Commission) para a compra de uma central nucleoeletrica e o suprimento do combustível. A primeira usina nuclear brasileira seria alocada na praia de Itaorna, em Angra dos Reis (Rio de Janeiro). (PATTI, 2014, p. 08).

Já a década de 1990 que foi considerada a década perdida para o programa nuclear brasileiro devido à crise econômica que afetou o país entre os anos 1980 e 1990, por razões econômicas e financeiras causaram o fechamento da planta de conversão de hexafluoreto de urânio e a suspensão da construção das plantas nucleares Angra 2 e Angra 3. E a suspensão do projeto da Marinha de separação isotópica de urânio por ultracentrifugação (PATTI, 2014).

Mas, em 1998, o Congresso aprovou a reativação dos projetos para a construção de uma planta industrial para a produção de combustível nuclear e estimulou a colaboração entre os centros de pesquisa da Marinha e a indústria nuclear. Criaram também uma nova empresa a Eletronuclear, pública, subsidiária da Eletrobras, fruto da fusão do setor nuclear de Furnas e a Nuclen (PATTI, 2014, p.10).

Já em 2000, o projeto de Angra 2 foi finalizado e inaugurado, tendo uma potência de 1.350 megawatts, sendo capaz de atender ao consumo de uma cidade de 2 milhões de habitantes (ELETRONUCLEAR, 2020).

As usinas de Angra 1 e Angra 2 foram construídas e começaram a operar no litoral do Rio de Janeiro nas décadas de 1950. A fonte nuclear corresponde por cerca de 3% da geração de energia no Brasil, Angra 3 será a terceira usina de central nuclear almirante Álvaro Alberto, localizada na praia de Itaorna, em Angra dos Reis – RJ (ESCANHOELA, 2018).

Em 2004, a INB começou a construção da planta industrial de enriquecimento de urânio utilizando as centrifugas desenvolvidas pela Marinha do Brasil em Iperó (São Paulo). Essa iniciativa coincidiu com a aprovação, uns anos depois, do ambicioso plano energético Brasil 2030, que inclui a construção de várias centrais nucleares no País e a conclusão da central Angra 3. E também no âmbito Militar, a Marinha do Brasil reativou o programa de construção de submarinos nucleares e o primeiro

exemplar será inaugurado nos estaleiros brasileiros em 2023 (PATTI, 2014).

Segundo a Eletronuclear (2020), quando entrar em operação comercial, a nova unidade com potência de 1.405 megawatts será capaz de gerar mais de 12 milhões de megawatts-hora por ano, energia suficiente para abastecer as cidades de Brasília e Belo Horizonte durante o mesmo período. Com Angra 3, a energia nuclear passará a gerar o equivalente a 50% do consumo do Estado do Rio de Janeiro (TOKARNIA 2019).

Mais de 60% da usina de Angra 3 foi construída a um custo de quase R\$ 10 bilhões e para concluir a obra, faltam mais R\$ 15 bilhões em investimentos. Segundo o presidente da Associação Brasileira para Desenvolvimento Atividades Nucleares - ABDAN, Celso Cunha, a retomada das obras está prevista para o ano de 2021 (TOKARNIA 2019).

De acordo com BIODIESELBR (2006), um dos únicos países a dominar todo o processo de fabricação de combustível nuclear é o Brasil. O processo de enriquecimento isotópico do urânio por ultracentrifugação, peça estratégica dentro do chamado ciclo do combustível nuclear, é totalmente de domínio brasileiro. O combustível utilizado nos reatores de pesquisa brasileiros pode ser totalmente produzido no país, porém, ainda fazemos a comercialização da conversão e o enriquecimento ainda é feito no exterior.

As reservas de U_3O_8 chegam a 245.188 toneladas e podem ser encontradas nos estados da: Bahia, Ceará, Paraná e Minas Gerais, entre outros. Mas este valor pode ser ainda maior, pois apenas 33% do território nacional foi pesquisado. O País possui também ocorrências uraníferas associadas a outros minerais, como aqueles encontrados nos depósitos de Pitinga no Estado do Amazonas, além de áreas promissoras como a de Carajás, no Pará com isso, estima-se um potencial adicional de 300.000t (INB, 2020). Podemos observar as reservas de urânio a partir da Figura 7.

Figura 7 - Mapa da localização de reservas de urânio



Fonte: INB (2020)

Como mostra a Figura 7, a única mina de urânio ativa atualmente, no Brasil, encontra-se em Caetité/Bahia. Suas reservas são estimadas em 100 mil toneladas de urânio, sendo denominada Província Uranífera, pois tem áreas de grande concentração de urânio.

A produção brasileira de urânio começou em 1982, no Município de Caldas/ Minas Gerais. A mina abasteceu durante 13 anos a usina nuclear Angra 1 e, em 1995 a unidade encerrou sua produção (INB).

Como explica DAMACENA et al (2018):

O Brasil é um alto gerador de energia elétrica, assim como consumidor. Atualmente ocupamos o sétimo lugar na lista de países por consumo de eletricidade, e também um dos poucos países a dominar todo o processo defabricação de combustível para usinas nucleares, fazendo com que estejamos em uma situação bem favorável neste quesito. Porém essa favorabilidade não é aproveitada, devido a governantes que não exercem a função do seu cargo, nosso país possui total potencial de obtenção e enriquecimento de material nuclear, porém o processo de enriquecimento é na 8 maioria das vezes feita no exterior, e isso também ocorre com nossas reservas de petróleo pois possuímos um número enorme de barris extraídos. Entretanto boa parte do refino é feito em outros países, portanto abalança comercial fica bem desfavorável para a população brasileira, pois exportamos mais barato e importamos mais caro (DAMACENA, et al, p. 08, 2018).

Um ponto relevante que deve ser levado em conta é o fator de capacidade

das produtoras de energia elétrica, segundo Gonçalves e Ruiz (2016, p.17), “no Brasil, uma usina nuclear gera mais que o dobro de energia do que uma eólica com a mesma capacidade instalada.” Sendo ainda uma fonte de energia que raramente sofre imprevistos, como apagões, tendo potencial de fornecer energia de forma contínua e mais em conta.

3.4 Avaliação Ambiental Integrada (AAI)

A AAI surgiu em meados da década de 70, devido aos profundos questionamentos de alguns renomados geopolíticos da época, que acusavam a geografia física de estar atrasada em relação à evolução das ciências da época (MENDONÇA, 2005; FÉ, 2015).

A Avaliação Ambiental Integrada - AAI é uma metodologia utilizada para organizar e integrar fatores ambientais, com efeitos sinérgicos e cumulativos dos impactos em processos que se deseja avaliar, ou seja, é o processo interdisciplinar e social, ligando conhecimento e ação no contexto de decisão pública, para a identificação, análise e avaliação de todos os relevantes processos naturais e humanos e suas interações com atual e futuro estado da qualidade do meio ambiente e recursos nas apropriadas escalas de tempo e espaço, assim facilitando a definição e implementação de políticas e estratégias (EEA, 1999).

Esses efeitos sinérgicos e cumulativos são previstos na Resolução nº 01/1986 (Artigo 6, inciso II) do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. O termo integrado AAI refere-se à interação dos efeitos dos diferentes empreendimentos que ocorrem no mesmo local/bacia hidrográfica e à interação entre as diferentes variáveis que caracterizam os impactos ambientais, visando identificar e avaliar os efeitos sinérgicos e cumulativos resultantes dos impactos ambientais (FÉ, 2015).

Os efeitos sinérgicos dizem respeito à alteração significativa na dinâmica ambiental a partir da acumulação de impactos locais provocados por mais de um empreendimento, de acordo com Gonçalves (2009).

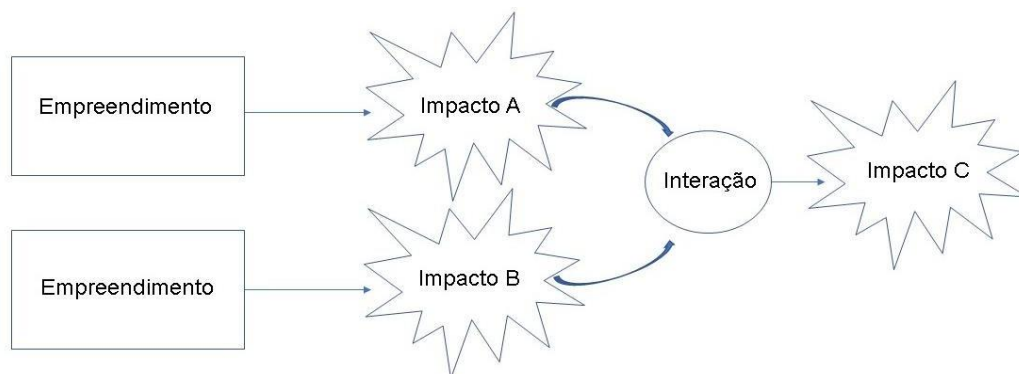
Ainda segundo o mesmo autor, essa alteração deve ser representativa de uma mudança em um mesmo aspecto econômico, social, ambiental ou institucional.

Já Milaré (2005) esclarece que a sinergia é o efeito, ou força, ou ação resultante da conjunção simultânea de dois ou mais fatores, de forma que o resultado é superior à ação dos fatores individualmente, sob as mesmas condições.

Conforme a definição de Walker e Johnstons (1999), *Impact Interactions: The*

reactions between impacts whether between the impacts of just one project or between the impacts of other projects in the areas. Na tradução livre, significa as interações de impacto entre um ou mais empreendimentos na mesma área, a Figura 8 exemplifica melhor a definição:

Figura 8 - Representação de impacto ambiental sinérgico



Fonte: Adaptado de Walker e Johnstons (1999)

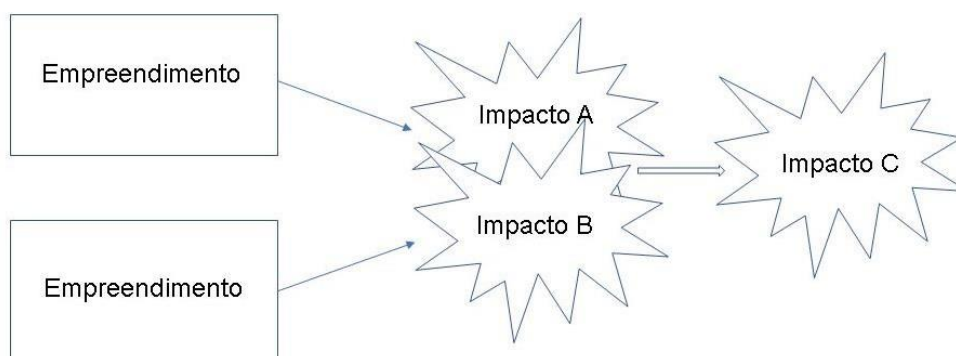
Oliveira (2008, p.83), onde o mesmo define impacto cumulativo como:

Indiscutivelmente, o conceito de impacto cumulativo trata de mudanças ocorridas no ambiente e/ou sistemas ambientais, concentrando em si um grande número de variáveis e atributos influenciadores e determinantes.

A fundamentação teórica é abordada por vários pesquisadores, onde conceitos inerentes à gestão e ecologia, tais como: sistemas ambientais, resposta dos sistemas às perturbações, modelo causal (causa-efeito), resiliência (capacidade de assimilação), complexidade organizacional, entre outros, são apresentados como base conceitual para o desenvolvimento do conceito de impactos cumulativos (OLIVEIRA 2008, p.83).

Como definido por Walker e Johnstons (1999, p 757): “Impactos Cumulativos: impactos que resultam de alterações incrementais causados por outras ações passadas, presentes ou razoavelmente previsíveis juntamente com o projeto”, o mesmo é ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Representação de impacto ambiental cumulativo



Fonte: Adaptado de Walker e Johnstons (1999)

A metodologia utilizada para aplicar AAI, segundo a Política Energética

Nacional - EPE (2006):

1. Caracterização dos aspectos ambientais principais: devem ser definidos os temas prioritários relacionados com os ecossistemas e suas interações que deverão ser abordados na avaliação integrada, a partir de uma caracterização socioambiental e levantamento de dados que serão organizados em um Sistema de Informações Geográficas - SIG36;
2. Identificação das variáveis, indicadores de sensibilidades ambiental - ISA37, indicadores de impacto ambiental - IIA38, indicação das fragilidades e potencialidades, e identificação dos modelos: estabelecer as variáveis representativas e os indicadores, que caracterizem os processos e permitam avaliar os impactos sinérgicos e cumulativos.
3. Simulação dos cenários: representam um corte temporal (cena) que determina quais condições socioambientais e que conjuntos de empreendimentos são representativos e de que forma elas se relacionam em uma análise conjuntural.
4. Avaliação dos cenários e dos aspectos ambientais de forma integrada: os resultados obtidos nas simulações devem ser analisados e verificados para avaliar se os mesmos produzem efeitos adicionais aos previstos nas fases anteriores.
5. Diretrizes: com base nas variáveis e indicadores ambientais e nos resultados dos diferentes cenários, deve-se construir uma matriz de decisão baseada em metodologia de multicritério onde será analisada a inserção dos diferentes empreendimentos no conjunto da bacia, seus impactos cumulativos e sinérgicos. (EPE, 2006, p. 43)

4 METODOLOGIA

4.1 Identificação da cadeia produtiva da energia termonuclear

Para identificar a cadeia produtiva da energia termonuclear brasileira, e o seu atual estágio de produção, desde a sua extração até o produto final, foram feitas pesquisas com levantamentos de dados secundários em sites de instituições oficiais, tais como: Indústrias Nucleares do Brasil (INB) e Eletrobras Eletronuclear (ELETRONUCLEAR, 2020).

Seguida da identificação das etapas e, por conseguinte, suas localizações desde a fase de mineração até a produção de energia elétrica, foi feita uma descrição da respectiva etapa, bem como, do local onde a mesma esteja instalada. As etapas da geração de energia elétrica via nuclear são apresentadas por meio da elaboração de um fluxograma.

4.2 Identificação e classificação dos impactos ambientais

Foi identificado e classificado os impactos ambientais oriundos de cada fase de produção de energia termonuclear no território nacional, em conformidade a qual se encontra a etapa, ou seja, instalação, operação ou desativação.

Para a identificação dos impactos foi utilizado o método da lista de checagem

“*Check list*”, que consiste, no levantamento de informações dos impactos pela experiência de especialista em cada uma das áreas ou setores, nesse caso específico por meio de dados obtidos de estudos científicos de atividades similares, bem como, das informações e dos impactos descritos em estudos existentes sobre a atividade e/ou etapa específica. A identificação foi realizada considerando o meio físico, biótico e socioeconômico.

Para o meio físico foi considerado os compartimentos solo, ar, água e outros. Para o meio biótico foi considerado os impactos sobre fauna, flora entre outros aspectos, e no meio socioeconômico os impactos sobre os aspectos econômicos, sociais e paisagísticos.

Para a classificação dos impactos foi utilizado as categorias descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Descrição das categorias para classificação dos impactos ambientais

Quanto	Descrição
TIPO	Entende-se por tipo o caráter de determinado impacto, tais como, positivo, neutro e negativo. Considera a sua classificação em negativo (adverso), neutro ou positivo (benéfico).
MODOS	Entende-se por modo a forma em que o impacto reagira no ambiente. O impacto direto é uma simples causa de efeito e reação, os impactos indiretos são decorrentes de desdobramentos consequentes dos impactos diretos.
MAGNITUDE	Entende-se por magnitude o grau de importância/grandezas de determinado impacto. Baixa intensidade: Quando a importância de determinado impacto apresenta pouca relevância. Média intensidade: Quando a importância de determinado impacto apresenta média relevância. Alta intensidade: Quando a importância de determinado impacto apresenta alta relevância.
DURAÇÃO	Este atributo de classificação/avaliação de um impacto corresponde ao tempo de duração do impacto na área em que se manifesta, variando como temporário, cíclico ou permanente. Temporário: Quando os efeitos de ação têm duração determinada. Cíclico: Quando o impacto ocorre em determinadas faixas de tempo. Permanente: Quando os efeitos de uma ação, não possibilitam o ambiente retornar a sua forma original, em uma faixa conhecida de tempo.
ALCANCE	Entende-se por alcance a abrangência de determinado impacto em questões de espaço. Pontual: Quando a ação do impacto se limita em um determinado ponto. Local: Quando a ação do impacto se delimita ao próprio sítio e às suas imediações. Regional: Quando a ação do impacto se propaga a dimensões além de suas imediações. Estratégico: Quando a ação propagasse âmbito nacional ou internacional.

EFEITO	Entende-se por efeito a forma em que o efeito do determinado impacto reagira no ambiente. Curto prazo: Quando o efeito de determinado impacto ocorre em pouco tempo após o ocorrido. Médio prazo: Quando o efeito de determinado impacto ocorre em tempo médio após o ocorrido. Longo prazo: Quando o efeito de determinado impacto ocorre longo tempo após o ocorrido.
REVERSIBILIDADE	Entende-se reversibilidade o grau reversível de determinado impacto. Reversível: O determinado impacto possui alta reversibilidade. Parcialmente reversível: Quando o determinado impacto possui reversibilidade, contudo, não em sua totalidade. Irreversível: Quando o determinado impacto não apresenta formas ou meios de ser recuperado.
MITIGABILIDADE	Entende-se por mitigabilidade o grau de mitigação do impacto. Alta: O determinado impacto possui alta mitigabilidade. Média: O determinado impacto possui média mitigabilidade. Baixa: O impacto possui baixa mitigabilidade. Imitigável: O determinado impacto não apresenta formas de ser mitigado.

Fonte: Adaptado de Sanchez (2013)

4.3 Avaliação Ambiental Integrada das etapas da Matriz Nuclear Brasileira

Após a identificação e classificação dos impactos os mesmos foram valorados a partir das pontuações descritas no Quadro 2, adaptado da metodologia proposta por Leopold.

Quadro 2 - Valoração das Categorias de Classificação

LEGENDA DA CLASSIFICAÇÃO E PONTUAÇÃO				
TIPO (T)	Negativo (N) -1	Neutro (Ne) 0	Positivo (P) +1	
MODO (M)	Indireto (I) 1		Direto (D)2	
MAGNITUDE (Ma)	Baixa intensidade (Bi) 1	Média intensidade (Mi) 2	Alta Intensidade (Ai)3	
DURAÇÃO (D)	Temporário (T) o ambiente retornará a forma original 1	Cíclico (Ci) o impacto ocorrerá em determinados períodos 2	Permanente (P) o impactonão é reversível 3	
ALCANCE (A)	Pontual (Po) 1	Local (L) 2	Regional (R) 3	Estratégico(Es) 4
EFEITO (E)	Curto Prazo (C) 1	Médio Prazo (Mp) 2	Longo Prazo (Lp)3 *	

REVERSIBILIDADE (R)	Reversível (Re) 1	Parcialmente Reversível (Pr) 2	Irreversível (Ir) 3	
MITIGABILIDADE (Mi)	Alta (A) 1	Média (M) 2	Baixa (B) 3	Imitigável (Im) 4

Fonte: Autoria própria (2020)

Para conceitualizar esses critérios foram realizadas adaptações segundo o modelo de Gargama & Chaturvedi (2011). Deste modo obtivemos a seguinte escala de categorização, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Escala de categorização dos impactos ambientais

Percentual	Gravidade
0-19	Desprezível
20-49	Leve
50-69	Moderado
70-89	Sério
90-100	Catastrófica

Fonte: Autoria própria (2020)

Os impactos foram quantificados a partir de suas classificações, propiciando a identificação da intensidade do impacto ambiental por componente e compartimento ambiental, dada pela expressão:

$$IIA = T \times (Mo + Ma + D + A + E + R + Mi) \quad \text{Eq.1.}$$

Onde: IIA – Intensidade do impacto ambiental; Mo - Modo; Ma – Magnitude; E – Efeito; R – Reversibilidade; D - Duração; A – Alcance; e Mi -Mitigabilidade.

A equação 1 é referente a metodologia utilizada pela Matriz de Leopold que foi desenvolvida pelo Serviço Geológico do Ministério do Interior dos Estados Unidos, que surge da necessidade de simular vários cenários.

Para a quantificação do efeito do impacto sobre o ambiente em seus compartimentos (físico, biótico e socioeconômico) e componentes (ar, água, solo, fauna, flora, econômico, social e paisagístico) foi considerado os valores máximos e mínimos para cada impacto, que nesse caso tem uma escala de variação de -22 a +22, dado pelos valores máximos e mínimos da equação 1.

Foi considerado os efeitos cumulativos dos impactos em cada compartimento, sendo

somados todos os valores encontrados para o mesmo (físico, biótico e antrópico) a partir do somatório dos valores dos quantificados, verificando-se o efeito de cada compartimento na etapa de produção, bem como, no processo total.

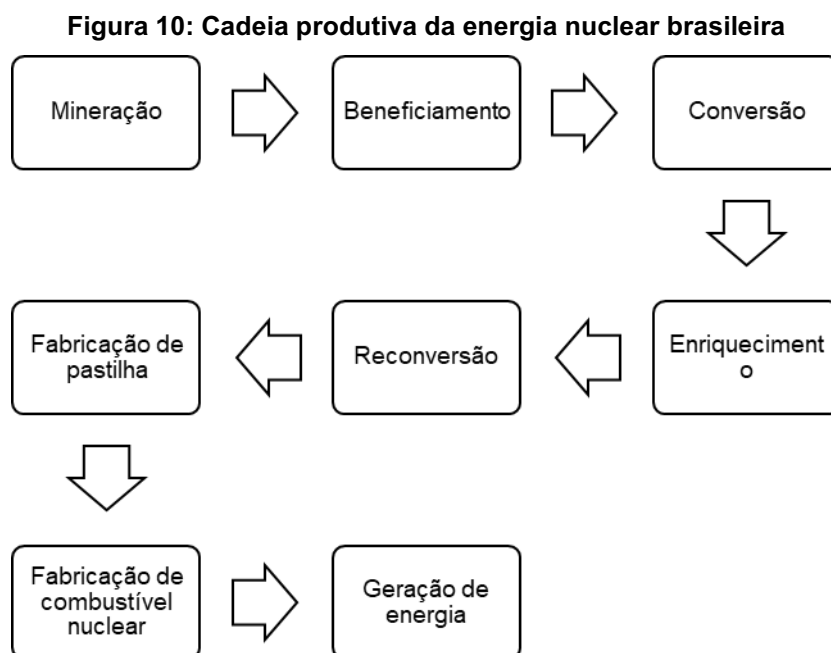
A escala de comparação para avaliação do efeito cumulativo dos impactos foi gerada pelo produto do número de impactos em cada etapa e a escala de variação supracitada, desta forma temos: $\pm 22 \times n$; onde n é o número de impactos de cada fase, ou etapa de produção, ou ainda, de cada compartimento e/ou de cada componente ambiental.

Segundo a literatura existem diversos conceitos sobre risco, mas Sanchez (2013) define o risco como a contextualização de uma situação de perigo, ou seja, a materialização de um evento indesejado. Deste modo existem algumas classificações de riscos, como: risco natural, risco tecnológico, risco social, risco endógenos e risco exógenos.

5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Resultados da identificação e apresentação da cadeia produtiva de energia elétrica via energia nuclear no Brasil (Matriz Nuclear Brasileira – MNB)

As etapas da cadeia produtiva de energia elétrica proveniente da geração nuclear são representadas através do fluxograma apresentado na Figura 10.



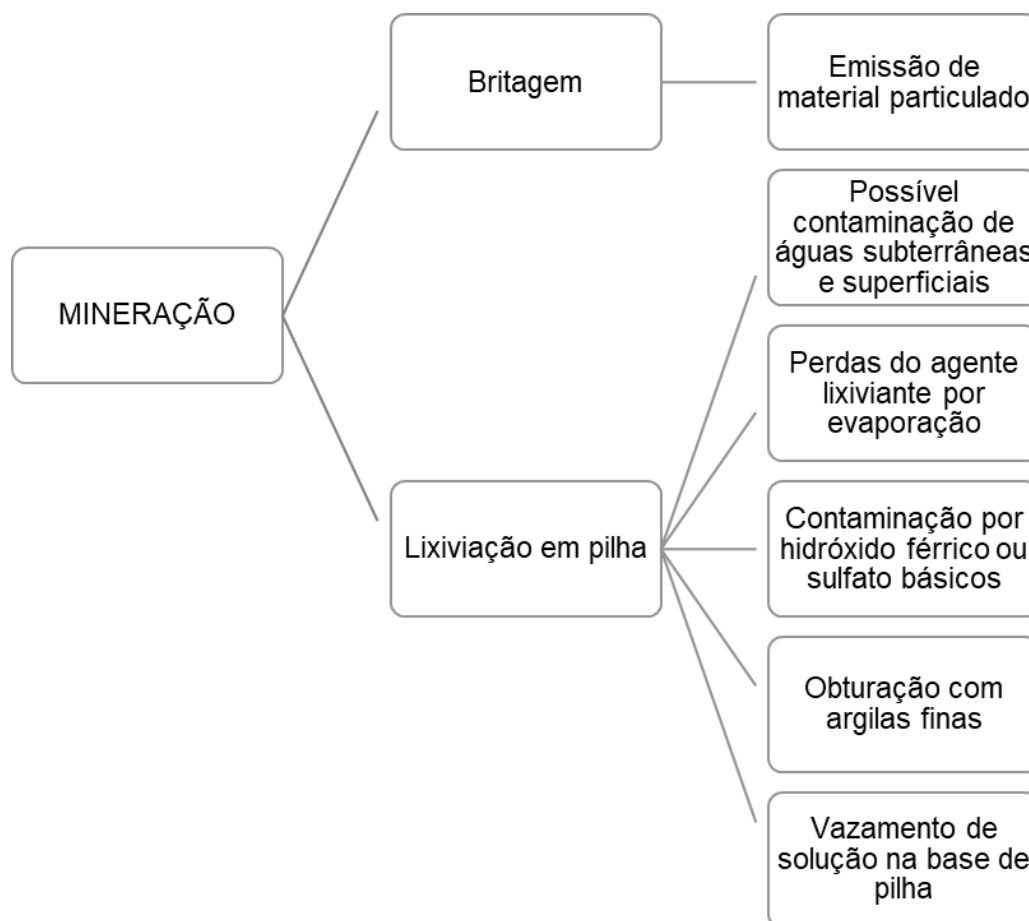
Fonte: Autoria própria (2020)

5.1.1 Mineração e beneficiamento (jazida)

Após o término dos ciclos de lixiviação, nos quais é estimada uma eficiência de extração de 70%, o restante pode ser remobilizado e propiciar a contaminação das águas superficiais e subterrâneas receptoras dessas drenagens (CONCEIÇÃO *et al.*, 2020).

A Figura 11 apresenta as etapas da mineração que são aplicadas no Brasil e as fases com grande potencial poluidor.

Figura 11 - Etapas mineradoras de urânio no Brasil



Fonte: Autoria própria (2020)

No Brasil existe uma única jazida em operação/exploração de urânio a mesma encontra-se próximo aos municípios de Caetité e Lagoa Real. Existe também o consórcio de Santa Quitéria – Ceará junto com a Galvani, de uma implantação de mineração com objetivo de explorar urânio e fosfato. E também a Unidade em Descomissionamento de Caldas, encontra-se no estado de Minas Gerais e desde 1955 suas atividades foram encerradas (INB, 2020).

O município de Caldas -MG, foi o primeiro a explorar urânio no Brasil, tendo início em 1982 e fechamento em 1995. Com uma capacidade de processar 2.500 toneladas de minério por dia e produzir 400 toneladas/ano de concentrado.

A Unidade de Caetité está localizada entre os municípios de Lago Real e Caetité no Sudoeste da Bahia. Caetité tem 47.524 habitantes, onde metade da população sobrevive através da criação de cria gado e plantação de mandioca, cana-de-açúcar, feijão e milho. Já Lagoa Real possui 13.934 habitantes e 80% da população vive na área urbana.

A unidade de concentração de urânio - URA, representada na Figura 12, tem cerca de 1800 hectares de extensão, já foram identificadas 38 anomalias, estima-se possuir cerca de 99 mil toneladas de urânio e teve sua exploração iniciada em 1999.

Figura 12 - Unidade de concentração de urânio

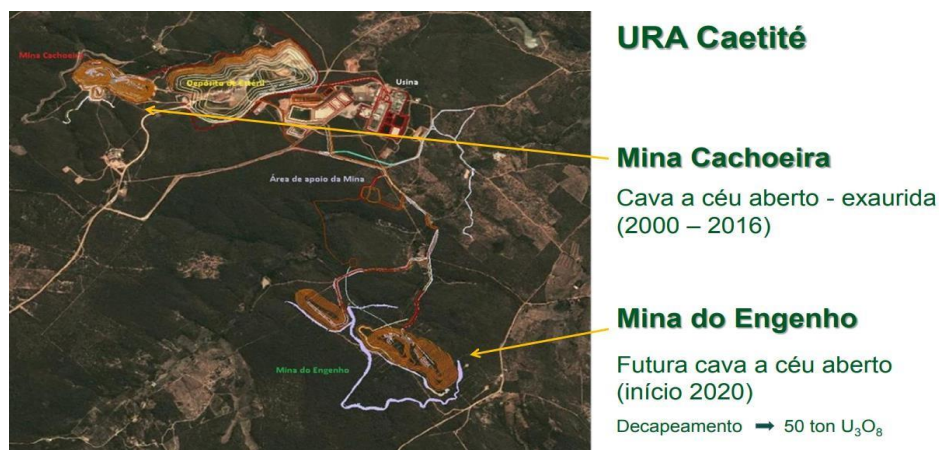


Fonte: Costa (2005)

A lavra é desenvolvida à céu aberto, até a profundidade de 140 m, de modo a produzir minério com teor médio de 1900 ppm em U_3O_8 recuperável, para o beneficiamento. A extração do urânio se dá através da lixiviação estática em pilhas (CONCEIÇÃO *et al.*, 2020).

Concluída a extração do urânio, o minério lixiviado, ou rejeito sólido, é retomado e disposto juntamente com os estéreis da mina em módulos, a Figura 13 mostra a localização da Unidade de concentração de urânio.

Figura 13 - Unidade de concentração de urânio - Mina Cachoeira e Mina do Engenho



Fonte: COSTA (2021)

Os dois municípios fazem parte das Regiões de Planejamento e Gestão das Águas do Rio de Contas e os rios Paramirim, Santo Onofre e Carnaíba de Dentro. A região está relacionada ao conjunto de planaltos que constituem o divisor de águas da bacia hidrográfica de São Francisco, situada a uma dezena de quilômetros a oeste das jazidas, e os rios pertencentes a bacia do rio das Contas, que flui de leste em direção ao oceano Atlântico (COSTA, 2005).

O fechamento da Mina Fazenda Cachoeira inclui obras de reconformação topográfica, inclusive com a quebra de angulosidades formadas pela deposição em bancos ascendentes, cobertura com topsoil e revegetação (COSTA, 2005).

5.1.2 Conversão

Ocorre principalmente na França sendo que as atividades de preparação da carga e

de transporte seguem diversas normas nacionais (como normas da CNEN e do IBAMA e de transporte rodoviário) e internacionais (transporte marítimo e rodoviário no exterior). É importante destacar que, nesse transporte, além do acompanhamento da equipe de especialistas da INB (ex.: transporte, proteção física e proteção radiológica), o material é escoltado pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), uma vez que o concentrado é um material estratégico para o Brasil (INB, 2020)

Esse acompanhamento da PRF visa à proteção da carga, não sendo relacionado ao risco radiológico do material. Uma vez carregado no navio, este segue por transporte marítimo até o porto de destino (ex.: França), sendo posteriormente conduzido via transporte rodoviário para a instalação onde será realizado o processo de conversão.

5.1.3 Atividades múltiplas – enriquecimento, reconversão, fabricação de pastilhas e fabricação de combustível nuclear

Depois do urânio passar pelo processo de *yellowcake*, ele é convertido para hexafluoreto de urânio (UF_6) onde fica em forma de gás e vai para o processo de enriquecimento. Segundo Lopes (2014), o gás que é convertido no Canadá, segue para a Holanda onde ocorre o processo de enriquecimento, posterior a isso é encaminhado de volta para o Brasil, aonde vai para Resende – RJ e lá o material é transformado em pastilhas e encaminhado para Angra.

A Usina de Enriquecimento localiza-se em Resende/RJ, encontra-se em plena operação com sete cascatas de ultracentrífugas, sendo quatro do Módulo 1, duas do Módulo 2 e uma do Módulo 3. Durante o ano de 2018, foram produzidos 6.078 kg de urânio enriquecido. A Figura 14 apresenta o conjunto de unidades industriais dedicadas ao processamento de quatro etapas do ciclo do combustível nuclear no Brasil (LOPES, 2014).

Figura 14 - Fábrica de Combustível Nuclear – Resende/RJ



Fonte: INB (2020)

O Brasil produz 60% de urânio enriquecido necessário para utilização nas usinas de Angra, o restante é enviado para o exterior. Segundo a INB (2020), esse processo não produz nenhum tipo de rejeito, pois parte do urânio natural processado nas unidades de

enriquecimento é transformado em urânio enriquecido e parte em urânio empobrecido, no isótopo urânio-235. As partes do urânio empobrecido são armazenadas em distintos cilindros especiais, que são estocados em locais licenciados para tal finalidade e posterior uso (INB, 2020).

Hoje, apenas quatro empresas concorrem no atraente mercado do urânio enriquecido. São elas: a USEC (Estados Unidos), a EURODIF/COGEMA (França), a URENCO (consórcio formado por Alemanha, Inglaterra e Holanda) e a TENEX(Rússia) (LEITE, 2004).

5.1.4 Geração de Energia

No Brasil existem duas usinas nucleares, Angra I e Angra II. As usinas estão localizadas em Angra do Reis – RJ e ambas utilizam o reator de água pressurizada.

A construção de um terceiro reator teve início em junho de 2010, estava previsto para entrar em funcionamento em maio de 2018, porém, em decorrência de interrupção das obras, o início das operações foi adiado para 2024. A empresa brasileira encarregada de produzir energia nuclear é a Eletrobras.

Angra I entrou em operação em 1985 e tem capacidade para geração de 640 megawatts elétricos e Angra II iniciou sua operação em 2001 e produz 1350 megawatts elétricos. E Angra 3, que será praticamente uma réplica de Angra 2, está prevista para gerar 1405 megawatts elétricos, a Figura 15 retrata as unidades.

Figura 15 - Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAA – Angra dos Reis – RJ



Fonte: ELETRONUCLEAR/ELETROBRAS (2016)

5.1.5 Unidade de Santa Quitéria

Na unidade de Santa Quitéria possui um consórcio de mesmo nome que é uma parceria da INB com a Galvani, tendo como objetivo explorar o urânio e o fosfato de rocha, encontrados de forma associada na jazida de Itataia, localizada no município de Santa Quitéria

– Ceará, a Figura 16 mostra o local do futuro empreendimento.

Figura 16 – Área de implantação da unidade de exploração de Santa Quitéria



Fonte: INB (2020)

O município de Santa Quitéria se estende por 4260,5 km² e possui 43.703 habitantes no censo de 2020. A densidade demográfica é de 10,3 habitantes por km² no território do município, situado a 203 metros de altitude.

Este empreendimento tem vida útil prevista de vinte anos e pretende explorar e beneficiar 65,6 milhões de toneladas de fosfato e 80 mil toneladas de urânio que estão associados em uma rocha chamada colofanito (RIMA, 2014, p. 11).

5.1.6 Unidade de Caldas

A exploração do urânio no Brasil teve início em 1982, no município de Caldas (MG); em 1995 a INB constatou que era economicamente inviável a operação da unidade e encerrou suas atividades. A unidade de Caldas, agora Unidade em Descomissionamento de Caldas – UDC possui uma área total de 1.350 hectares.

A mina em descomissionamento é composta por: um parque industrial desativado, bacia de rejeitos e de águas claras, depósito de armazenamento de materiais radioativos (com aproximadamente 12 mil toneladas de torta 2, formada por urânio e tório concentrados), além dos laboratórios de análise e área administrativa. A barragem de rejeitos tem aproximadamente a metade do tamanho da barragem de águas claras, com 1,97 milhões de m³ - cerca de um sexto da quantidade de Brumadinho, que tinha 12,7 milhões de m³. Ela é composta por líquidos e sólidos, com a presença de urânio e tório, que são radioativos, além de outros elementos, como alumínio, manganês e zinco (MELO, 2019). A Figura 17 retrata a Unidade de Descomissionamento -UDC de Caldas.

Figura 17 - Barragem de rejeitos da UDC



Fonte: MELO (2019)

5.2 Resultados da identificação dos impactos ambientais oriundos da MNB

A Tabela 4 apresenta a intensidade dos meios, dos compartimentos e etapas de produção que cada variável pode assumir na avaliação da intensidade e o percentual representativo ao total da atividade de acordo com a cumulatividade dos impactos e integração dos mesmos.

Tabela 4 - Intensidade dos impactos pelos compartimentos e etapas

Meio	Compartimento	Mineração	Conversão	At. Múltiplas	Geração	Santa Quitéria	Caldas	Total
Físico 2266	Solo	220	44	110	154	198	88	814
	Ar	110	66	66	44	88	44	418
	Água	198	0	176	154	220	132	880
	Outros	44	0	0	22	44	44	154
Biótico 1298	Fauna	132	88	66	110	132	22	550
	Flora	132	88	44	110	132	44	550
	Outros	66	0	110	0	22	0	198
Sócio Econômico 2178	Econômico	198	110	198	176	242	88	1.012
	Social	198	110	198	132	220	110	968
	Paisagístico	44	44	44	22	44	0	198
Total 5.742 100%		1.342	550	1.012	924	1.342	572	5.742

Fonte: Autoria própria (2020)

A extração do urânio pode causar alteração do ar em decorrência da emissão do gás chamado radônio, contaminação de lençóis subterrâneos e depósito de moléculas radioativas sobre o solo resistente a degradação bioquímica que pode infectar plantações, mananciais e o próprio homem (LOPES, 2015).

Os principais impactos ambientais decorrentes da mineração estão relacionados com o uso da terra. A subsidência, a drenagem, incêndios e degradação da paisagem são alguns destes impactos (GUIMARÃES, 1982).

Principais problemas e riscos ambientais:

A primeira fase do ciclo do combustível nuclear que envolve as etapas de mineração e beneficiamento do urânio é responsável pela dispersão de poluentes para o meio hídrico e atmosférico, podendo acarretar impactos nos meios físicos, bióticos e humanos (CONCEIÇÃO *et al.*, 2020).

Os impactos ambientais são mostrados em conformidade as etapas produtivas.

5.2.1 Mineração

Na fase de mineração são encontrados 64 impactos, no qual 26 impactos são no meio físico, 15 no meio biótico e 23 no meio socioeconômico, que são apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7.

Os impactos ambientais identificados na fase de mineração para o meio físico são listados na Tabela 5.

Tabela 5 - Lista de impactos ambientais da etapa de mineração – Meio Físico	
COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
Solo	Alteração da dinâmica do relevo original
	Alteração da qualidade do solo
	Alteração das condições geotécnicas originais
	Alteração na permeabilidade do solo
	Aumento do processo de lixiviação
	Depósitos de moléculas radioativas
	Empobrecimento no solo
	Exposição a contaminantes químicos
	Ocorrência de processos erosivos
	Perda dos horizontes do solo – topsoil
Ar	Alteração da qualidade do ar
	Emissão de radônio, criptônio -85, plutônio
	Explosões e processamento mineral
	Geração de poeira por veículos e máquinas
	Suspensão de materiais particulados
Água	Alteração da dinâmica do escoamento superficial
	Alteração da qualidade da água superficial
	Alteração da qualidade e quantidade da água subterrânea
	Assoreamento dos rios
	Consumo elevado de água
	Escassez de recurso hídrico
	Lançamento de Efluente no corpo receptor
	Contaminação da água – urânio
Poluição por resíduos (estéreis e rejeitos)	
Outros	Alteração microclimática
	Poluição Sonora

Fonte: Autoria própria (2021)

Os impactos listados Tabela 5 são corroborados por Bomfim (2017) que identificou como impactos ao meio físico, no compartimento água os seguintes impactos: - Consumo elevado de água; - assoreamento dos rios; - contaminação da água. Para o compartimento ar, o mesmo autor apresenta: - Alteração na qualidade do ar; - Matriz de partículas; - Emissão de gases gerados durante a combustão de combustíveis, explosões e processamento mineral e finalmente para o compartimento Solo: - aumento do processo de lixiviação; - supressão da camada superficial do solo - topsoil; - exposição a contaminantes químicos.

Os impactos ambientais identificados na fase de mineração para o meio biótico são listados na Tabela 6:

Tabela 6 - Lista de impactos ambientais da etapa de mineração – Meio Biótico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
Fauna	Alteração da população faunística
	Degradação da Fauna
	Perca da biodiversidade animal
	Perda de habitats da fauna
	Perturbação e afugentamento da fauna
	Risco de atropelamento de animais
	Alteração da população florística
Flora	Degradação da Flora
	Degradação da vegetação nativa
	Impactos nas áreas de reprodução de espécies
	Perca da biodiversidade vegetal
	Remoção da cobertura vegetal
Outros	Alteração das relações económicas
	Capacidade de resiliência do ambiente
	Maior incidência de Efeito de Borda nos remanescentes florestais

Fonte: Autoria própria (2021).

Os impactos citados na Tabela 6 são confirmados por Bomfim (2017) onde o mesmo cita IA's no meio biótico: - Redução de alimento e *habitat*; - Perturbação da vida aquática; - Efeitos sobre aves migratórias, mamíferos e peixes; - Alteração na vegetação natural; - Impactos nas áreas de reprodução de espécies.

Os impactos ambientais identificados na fase de mineração para o meio antrópico são listados na Tabela 7.

Tabela 7 - Lista de impactos ambientais da etapa de mineração – Meio Antrópico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
---------------	-------------------

Econômico	Aumento da renda local
	Consumo de energia elétrica
	Contratação de mão-de-obra especializada
	Desmobilização de trabalhadores
	Diminuição do desemprego
	Geração de emprego e renda
	Geração de tributos diretos e indiretos
	Interferência nos valores imobiliários das propriedades próximas ao empreendimento
	Mobilização de trabalhadores
	Alteração do cotidiano
	Aumento de casos de câncer
	Aumento do risco de acidentes de trânsito
	Deterioração das condições de pavimentação das vias de acesso
Social	Incômodo causado por vibrações
	Interferência nas condições de tráfego
	Possível alteração da qualidade de vida da população
	Possível deterioração da qualidade de vida dos moradores do entorno do empreendimento
	Resistência da população residente da região
	Risco de acidentes com trabalhadores e população
Paisagismo	Risco de geração de Conflitos
	Modificação do cenário da paisagem
	Poluição visual

Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme citado na Tabela 7 e ainda com a corroboração de Bomfim (2017) são listados os seguintes IA's: - Geração de emprego, renda e tributos; - Mudanças nas características da população; - Aumento de doenças e acidentes;

Em Del Rei *et al.* (2014), referente ao EIA/RIMA do projeto de exploração de urânio em Caetité são identificados os seguintes IA's:

- Alteração da qualidade do ar devido às emissões atmosféricas durante a operação do empreendimento decorrente da movimentação dos solos e do desmonte de rochas na lavra, na britagem e rebitagem do minério, "gerando quantidade significativa de material particulado, além da emissão de gás radônio". Segundo o Rima, esses contaminantes podem ser transportados pelos ventos, atingindo o meio ambiente e, conseqüentemente, o homem;
- Contaminação dos mananciais subterrâneos com alterações das suas propriedades e potabilidade. "A liberação de poluentes para o meio ambiente

durante a implantação e a operação do empreendimento, com possíveis alterações na qualidade das águas subterrâneas, poderá ocorrer, de forma significativa a partir do desmonte de rochas na lavra, do pátio de lixiviação, da bacia de deposição e reciclagem de efluentes líquidos, da disposição de rejeitos sólidos e estéreis, da unidade de tratamento do rádio, dos pátios de estocagens de insumos das operações da unidade de processo."

- Deposição de partículas comuns e radiativas sobre a cobertura vegetal. "O aerossol gerado nessas atividades de mineração de urânio deverá conter certo teor de isótopos radiativos devido à ocorrência dessas substâncias no solo e no subsolo da área do projeto. Esse pó, ao ser dissipado pelo vento, irá depositar-se sobre a cobertura vegetal das áreas vizinhas, podendo causar sua contaminação com isótopos radiativos. Devido à longa duração das emissões, este foi considerado um impacto significativo e negativo (DEL REI *et al.*, 2014, p. 01).

5.2.2 Conversão – Operação

Na etapa de conversão identificamos 25 impactos, onde 5 impactos são no meio físico, 8 impactos no meio biótico e 12 impactos no meio socioeconômico, que são apresentados nas Tabelas 8, 9 e 10.

Os impactos ambientais identificados na fase de conversão-operação para o meio físico são listados na Tabela 8.

Tabela 8 - Lista de impactos ambientais da etapa de conversão-mineração – Meio Físico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
Solo	Contaminação por vazamento de materiais Radioativos
	Risco de alteração na qualidade do solo
Ar	Emissão de CO, dióxido de enxofre, óxidos denitrogênio.
	Emissão de material particulado – fuligem
	Emissões diretas e indiretas por gases do efeito estufa - GEE

Fonte: Autoria própria (2021)

Os impactos ambientais identificados na fase de conversão-operação para o meio físico são listados na Tabela 9.

Tabela 9 - Lista de impactos ambientais da etapa de conversão-mineração – Meio Biótico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
Fauna	Alteração da população faunística
	Degradação da Fauna
	Perturbação e afugentamento da fauna
Flora	Risco de atropelamento de animais
	Alteração da população florística
	Degradação da Flora
	Perca da biodiversidade vegetal
	Remoção da cobertura vegetal

Fonte: Autoria própria (2021)

Os impactos ambientais identificados na fase de conversão-operação para o meio antrópico são listados na Tabela 10.

Tabela 10 - Lista de impactos ambientais da etapa de conversão-mineração – Meio Antrópico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
	Contratação de mão-de-obra especializada

Econômico	Diminuição do desemprego
	Geração de emprego e renda
	Geração de tributos diretos e indiretos
	Mobilização de trabalhadores
Social	Aumento do risco de acidentes de trânsito
	Deterioração das condições de pavimentação das vias de acesso
	Incômodo causado por vibrações
	Interferência nas condições de tráfego
Paisagismo	Risco de acidentes com trabalhadores e população
	Modificação do cenário da paisagem
	Poluição visual

Fonte: Autoria própria (2021)

5.2.3 Atividades Múltiplas – Operação

Na fase de atividades múltiplas foram constatados 47 impactos, 16 deles se encontram no meio físico, 10 no meio biótico e 20 no meio socioeconômico, que são apresentados nas Tabelas 11, 12 e 13.

Os impactos ambientais identificados na fase de atividades múltiplas no estado de operação para o meio físico são listados na Tabela 10.

Tabela 11 - Lista de impactos ambientais da etapa de atividades múltiplas – Meio Físico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
Solo	Descarte de EPI's usados
	Descarte de resíduos sólidos com Urânio
	Descarte de solução orgânica de TPB com urânio
	Vazamento de óleo do veículo de transporte
	Vazamento de UF ₆
Ar	Emissão de vapores para o sistema de exaustão
	Emissões gasosas de lavadores de gases
	Vazamento de UF ₆
Água	Consumo de Recursos Hídricos
	Descarte da água do lavador de gases
	Descarte da solução de filtração
	Descarte de solução orgânica de TPB com urânio
	Descarte de soluções com UF ₄
	Descarte de soluções de decapagem do U
	Vazamento de óleo do veículo de transporte
Vazamento de UF ₆	

Fonte: Autoria própria (2021)

Os impactos ambientais identificados na fase de atividades múltiplas no estado

de operação para o meio biótico são listados na Tabela 12.

Tabela 12 - Lista de impactos ambientais da etapa de conversão-mineração – Meio Biótico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
	Alteração da população faunística
Fauna	Perturbação e afugentamento da fauna
	Risco de atropelamento de animais
Flora	Alteração da população florística
	Impactos nas áreas de reprodução de espécies
Outros	Descarte de EPI's usados
	Descarte de lâmpadas fluorescentes
	Descarte de resíduos orgânicos
	Maior incidência de efeito de borda nos remanescentes florestais

Fonte: Autoria própria (2021)

Os impactos ambientais identificados na fase de atividades múltiplas no estado de operação para o meio biótico são listados na Tabela 13.

Tabela 13 - Lista de impactos ambientais da etapa de atividades múltiplas – Meio antrópico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
Econômico	Aumento da renda local
	Consumo de energia elétrica
	Contratação de mão-de-obra especializada
	Desmobilização de trabalhadores
	Diminuição do desemprego
	Geração de emprego e renda
	Geração de tributos diretos e indiretos
	Interferência nos valores imobiliários das propriedades próximas ao empreendimento
	Mobilização de trabalhadores
	Alteração do cotidiano
Social	Aumento do risco de acidentes de trânsito
	Deterioração das condições de pavimentação das vias de acesso
	Geração de Expectativas negativas
	Incômodo causado por vibrações
	Interferência nas condições de tráfego
	Resistência da população residente da região
	Risco de acidentes com trabalhadores e população
Risco de geração de Conflitos	

Paisagismo

Poluição visual

Fonte: Autoria própria (2021)

5.2.4 Unidade Geradora de energia – Operação

Na etapa de operação-geração encontram-se 42 impactos, 17 deles no meio físico, 10 no meio biótico e 15 no meio socioeconômico, que são apresentados nas tabelas 14, 15 e 16.

Os impactos ambientais identificados na fase geradora de energia na fase de operação para o meio físico são listados na Tabela 14.

Tabela 14 - Lista de impactos ambientais na etapa de geração de energia – Meio Físico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
Solo	Alteração da dinâmica do relevo original
	Alteração d qualidade do solo
	Contaminação por vazamento de produtos químicos, combustíveis, óleos e graxas
	Impermeabilização do solo
	Intensificação de processos erosivos
	Perda dos horizontes do solo
Água	Suspensão de materiais particulados
	Alteração qualidade e quantidade da água superficial
	Aumento na temperatura dos corpos hídricos
	Grande quantidade de água necessária
	Possibilidade de poluição por efluentes líquidos
	Possibilidade de poluição por resíduos
Outros	Possibilidade de vazamento das piscinas de armazenamento
	Redução de oxigênio, da água devolvida ao mar após utilização para resfriamento
Outros	Poluição sonora

Fonte: Autoria própria (2021)

Conforme tabelado no Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, da Unidade 3 da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto e elaborado pela empresa MRS Estudos Ambientais LTDA (2006), pode-se extrair os seguintes IA's no meio físico: - Alteração da qualidade das águas (temperatura e regime de escoamento); - Alteração da qualidade do ar; - Potencialização da suscetibilidade a deslizamentos em áreas de encostas; - Ocorrência de processos erosivos; - Contaminação do solo por produtos químicos, combustíveis, óleos e graxas.

Os impactos ambientais identificados na fase geradora de energia no estado de operação para o meio biótico são listados na Tabela 15.

Tabela 15 - Lista de impactos ambientais na etapa de geração de energia – Meio Biótico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
----------------------	--------------------------

Fauna	Alteração da população faunística
	Alteração do ecossistema marinho
	Perturbação e afugentamento da fauna
	Risco de atropelamento da animais
	Variação da diversidade e abundância das comunidades aquáticas marinhas.
Flora	Alteração da população florística
	Degradação da Flora
	Impactos nas áreas de reprodução de espécies
	Pressão para ocupação de áreas protegidas
	Redução da cobertura vegetal

Fonte: Autoria própria (2021)

Ainda sob a contribuição do Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, da Unidade 3 da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto e elaborado pela empresa MRS Estudos Ambientais LTDA (2006), temos o seguintes IA's no meio biótico: - Aumento do número de atropelamentos da fauna; - Alteração da diversidade e abundância das comunidades terrestres; - Evasão da fauna; - Alteração do ecossistema marinho; - Variação da diversidade e abundância das comunidades aquáticas marinhas; - Pressão para a ocupação de áreas protegidas; - Redução da cobertura vegetal; - Aumento no risco de extinção da fauna e flora.

Os impactos ambientais identificados na fase geradora de energia no estado de operação para o meio antrópico são listados na Tabela 16.

Tabela 16 - Lista de impactos ambientais na etapa de geração de energia – Meio Antrópico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
Econômico	Aumento da renda local
	Consumo de energia elétrica
	Desmobilização de trabalhadores
	Diminuição do desemprego
	Geração de emprego e renda
	Geração de tributos diretos e indiretos
	Interferências nos valores imobiliários das propriedades próximas ao empreendimento
	Mobilização dos trabalhadores
	Alteração do cotidiano
	Aumento do risco de acidentes de trânsito
Social	Desenvolvimento tecnológico
	Impactos a vizinhança do empreendimento pela geração de odores
	Interferência nas condições de trafego
	Risco de acidentes com trabalhadores e população
Paisagismo	Modificação da paisagem

Fonte: Autoria própria (2021)

No Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, da Unidade 3 da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto e elaborado pela empresa MRS Estudos Ambientais LTDA (2006), temos o seguintes IA's no meio socioeconômico: - Aumento da pressão sobre os serviços de infraestrutura básica de transportes

rodoviários; - Variação da arrecadação tributária; - Variação da massa salarial; - Variação do dinamismo econômico; - Desenvolvimento tecnológico; - Aumento de pressão sobre os serviços de infraestrutura básica de saneamento; Incidência de acidentes no trabalho; -Exposição de pessoas a ruídos e vibrações; - Aumento do risco de acidentes rodoviários; - Aumento da pressão nos serviços de gerenciamento de resíduos sólidos não radioativos (separação, tratamento e destinação final); - Desmobilização da mão de obra.

Martins e Figueiredo (2017) levantam de modo geral os seguintes impactos ambientais: alteração da composição da fauna; destruição de *habitat*; diminuição da área de ocorrência de espécies nativas; alteração no uso da água; alteração das características dinâmicas do relevo; alteração da estrutura do solo; alteração da condição da qualidade de vida; alteração das relações sociais, elementos culturais; alteração da taxa de emprego industrial; alteração do sistema e distribuição de energia elétrica; potencialidade de acidentes com a população local e temporária, risco de acidente radiológico.

5.2.5 Santa-Quitéria -Planejamento

No projeto de implementação de Santa-Quitéria, foram identificados 61 impactos, no qual 25 impactos são no meio físico, 13 no meio biótico e 23 no meio socioeconômico, que são apresentados nas Tabelas 17, 18 e 19.

Os impactos ambientais identificados no município de Santa-Quitéria na fase de planejamento para o meio físico são listados na Tabela 17.

Tabela 17 - Lista de impactos ambientais de Santa-Quitéria – Meio Físico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
Solo	Alteração da dinâmica do relevo original
	Alteração da qualidade do solo
	Alteração das condições geotécnicas originais
	Desmatamento
	Empobrecimento no solo
	Ocorrência de processos erosivos
	Perda dos horizontes do solo – topsoil
	Risco de alteração na qualidade do solo por líquidos percolados
Ar	Risco de erosão
	Alteração da qualidade do ar
	Geração de poeira por veículos e máquinas
	Emissão de ácido sulfúrico
Água	Suspensão de materiais particulados
	Alteração da dinâmica do escoamento superficial
	Alteração da qualidade da água superficial
	Alteração da qualidade e quantidade da água subterrânea
	Contaminação dos lençóis freáticos
Escassez de recurso hídrico	
	Contaminação da água – urânio

Fonte: Autoria própria (2021)

Os impactos ambientais identificados no município de Santa-Quitéria na fase de planejamento para o meio biótico são listados na Tabela 18.

Tabela 18 - Lista de impactos ambientais de Santa-Quitéria – Meio Biótico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
Fauna	Alteração da população faunística
	Degradação da Fauna
	Perda da biodiversidade animal
	Perda de habitats da fauna
	Perturbação e afugentamento da fauna
Flora	Risco de atropelamento de animais
	Alteração da população florística
	Degradação da flora
	Degradação da vegetação nativa
	Impactos nas áreas de reprodução de espécies
Outros	Perca de biodiversidade vegetal
	Remoção da cobertura vegetal
	Alteração das relações económicas

Fonte: Autoria própria (2021)

Os impactos ambientais identificados no município de Santa-Quitéria na fase de planejamento para o meio socioeconômico são listados na Tabela 19.

Tabela 19 - Lista de impactos ambientais de Santa-Quitéria – Meio Antrópico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
Economico	Aumento da renda local
	Consumo de energia elétrica
	Contratação de mão-de-obra especializada
	Desmobilização de trabalhadores
	Dificuldade na comercialização dos produtos da agricultura familiar das comunidades do entorno da mina
	Diminuição do desemprego
	Geração de emprego e renda
	Geração de tributos diretos e indiretos
	Interferência nos valores imobiliários das propriedades próximas ao empreendimento
	Mobilização de trabalhadores
	Planejamento de implantação do empreendimento
	Alteração do cotidiano
	Aumento de casos de câncer
	Aumento do risco de acidentes de trânsito
	Deterioração das condições de pavimentação das vias de acesso
Social	Geração de expectativas negativas
	Incômodo causado por vibrações
	Interferência nas condições de tráfego
	Maior vulnerabilidade de doenças, violência e exploração sexual
	Resistência da população residente da região
Paisagismo	Risco de acidentes com trabalhadores e população
	Modificação do cenário da paisagem
	Poluição visual

Fonte: Autoria própria (2021)

5.2.6 Caldas – Descomissionamento

No processo de descomissionamento, na cidade de Caldas – MG, foram identificados 25 impactos, sendo 14 impactos no meio físico, 3 no meio biótico e 8 no meio socioeconômico, que são apresentados nas Tabelas 20, 21 e 22.

A Tabela 20 apresenta os impactos listados para na unidade de Caldas, para o meio físico.

Tabela 20 - Lista de impactos ambientais da UDC – Meio Físico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
Solo	Possibilidade de movimento de massa dos resíduos
	Recuperação do solo da área da jazida
	Risco de alteração na qualidade do solo por líquidos percolados
Ar	Risco de erosão
	Contaminação dos lençóis freáticos
	Drenagem ácida
	Vazamento de metais pesados
	Recuperação da qualidade da água da área a jusante e a montante da barragem
	Risco de alteração na qualidade das águas subterrâneas por líquidos percolados
Outros	Risco de inundação
	Recuperação da qualidade acústica do ambiente
	Recuperação do microclima local

Fonte: Autoria própria (2021)

A Tabela 21 apresenta os impactos listados para na unidade de Caldas, para o meio biótico.

Tabela 21 - Lista de impactos ambientais da UDC – Meio Biótico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
Fauna	Recuperação da fauna na área da barragem
Flora	Recuperação da flora da área da barragem
	Supressão da vegetação arbustiva e arbórea

Fonte: Autoria própria (2021)

A Tabela 22 apresenta os impactos listados para na unidade de Caldas, para o meio socioeconômico.

Tabela 22 - Lista de impactos ambientais da UDC – Meio Antrópico

COMPARTIMENTO	IMPACTO AMBIENTAL
Econômico	Contratação de mão-de-obra especializada
	Geração de emprego e renda
	Mobilização de trabalhadores
	Planejamento de 'VERIFICAÇÃO' do empreendimento
	Alteração do cotidiano
Social	Aumento do risco de acidentes de trânsito
	Risco de acidentes com trabalhadores e população
	Incômodo causado por vibrações

Fonte: Autoria própria (2021)

Segundo Machado (2019), pode ocorrer rompimento de barragem de rejeitos de urânio, risco de erosão, contaminação de solo e rios.

Barbara e Tavares (2017) indica contaminação dos corpos d'água a jusante, (principalmente o córrego da Consulta), por flúor, cádmio, urânio, zinco, alumínio,

mangânês e acidez, sulfato, cálcio, arsênio, magnésio, ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th e ^{228}Ra , e também constatou contaminação por tóxicos para urânio, zinco e flúor a jusante do empreendimento, nas bacias hidrográficas.

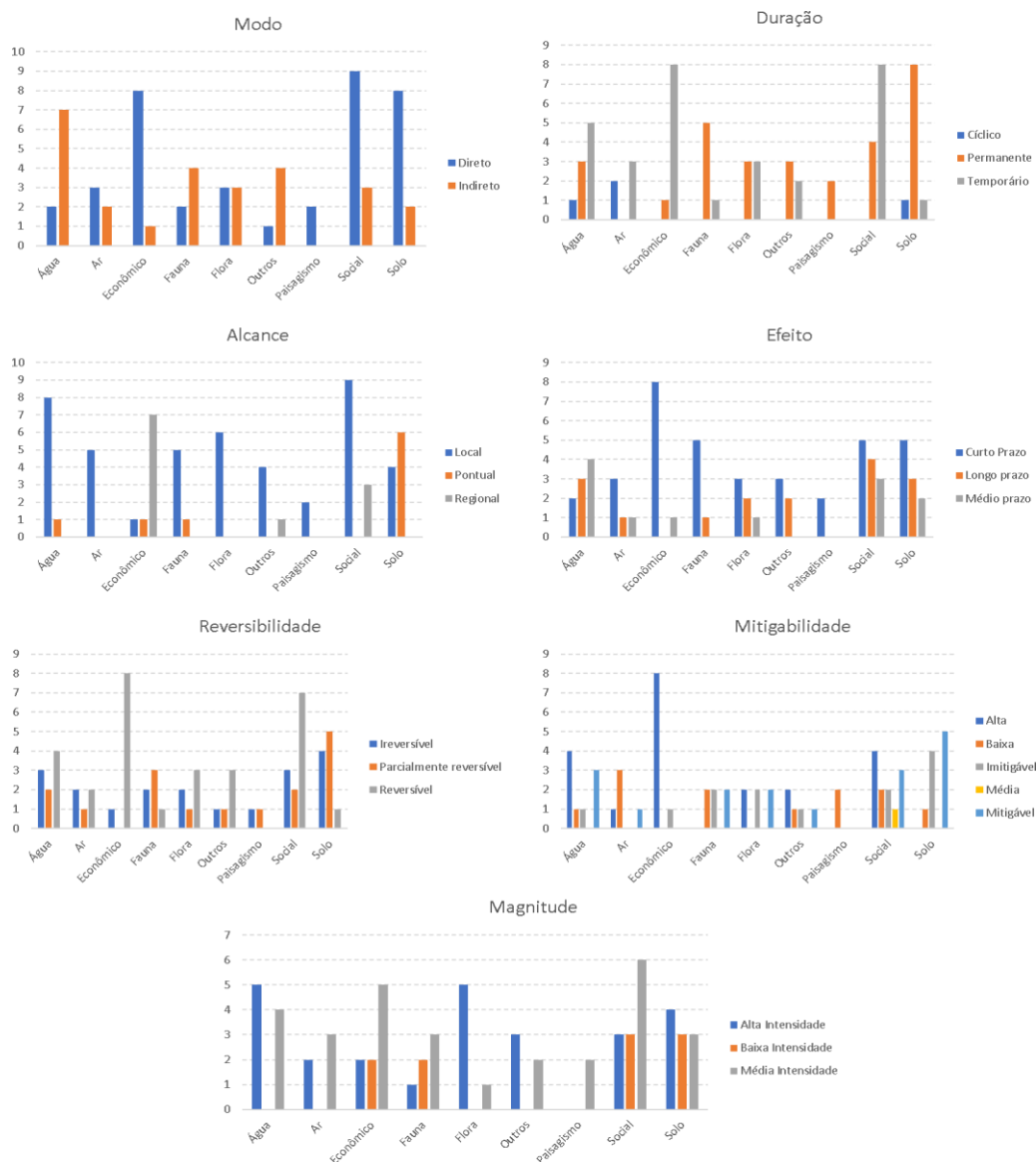
5.3 Resultados da classificação dos impactos

Os resultados sintéticos da classificação são mostrados de acordo com cada etapa da MNB. Considerando os componentes do meio ambiente: água, ar, solo flora, fauna, segundo o: modo, a magnitude, a duração, o alcance, o efeito, a reversibilidade e a mitigabilidade em conformidade a metodologia deste trabalho.

5.3.1 Mineração

A Figura 18 apresenta a classificação dos impactos ambientais gerados na etapa de mineração.

Figura 18 - Classificação dos impactos na etapa de mineração



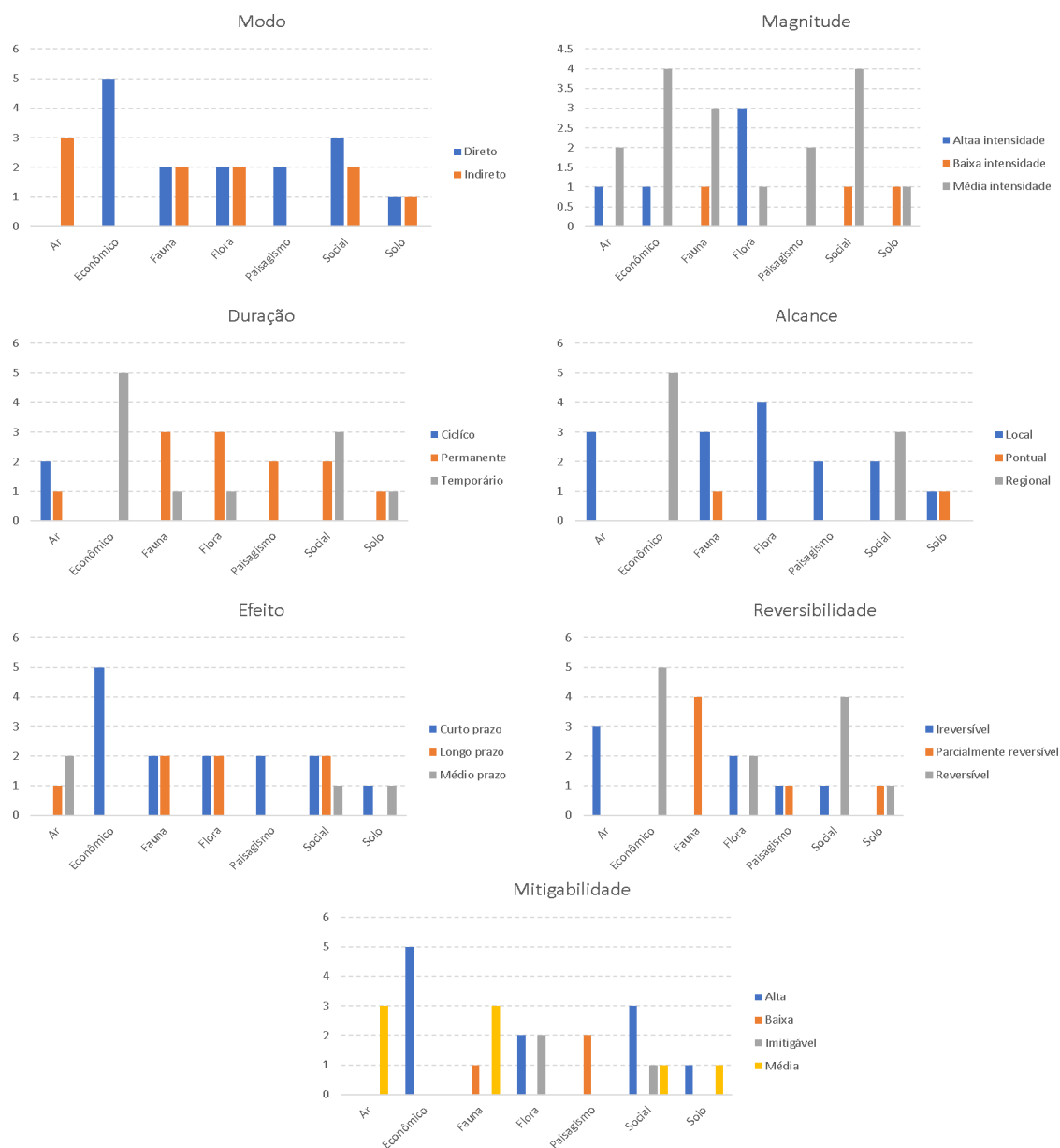
Fonte: Autoria própria (2021)

Destes impactos cerca de 60% são de modo direto e 40% indireto, no compartimento duração 48,43% são temporários, 45,31% são permanentes e 6,25% são cíclicos, o alcance destes impactos ocorrem de forma local 68,75%, 14,06 de forma pontual, 17, 19% de forma regional. Os efeitos dos impactos são de 56,25% de curto prazo, 25,0% de longo prazo e 18,75% de médio prazo. Cerca de 29,69% dos impactos ocorrem de forma irreversível, 25,0% parcialmente reversível e 45, 32% são reversíveis. Dos 64 impactos, 20,31% são imitigáveis e 26, 56% são mitigáveis.

5.3.2 Conversão

A Figura 19 apresenta a classificação dos impactos ambientais gerados na etapa de conversão.

Figura 19 - Classificação dos impactos na etapa de conversão



Fonte: Aatoria própria (2021)

Destes impactos 46,81% são de forma direta e 53,19% de forma indireta. Os impactos possuem 14,89% alta intensidade, 73,11% média intensidade e 12% baixa intensidade.

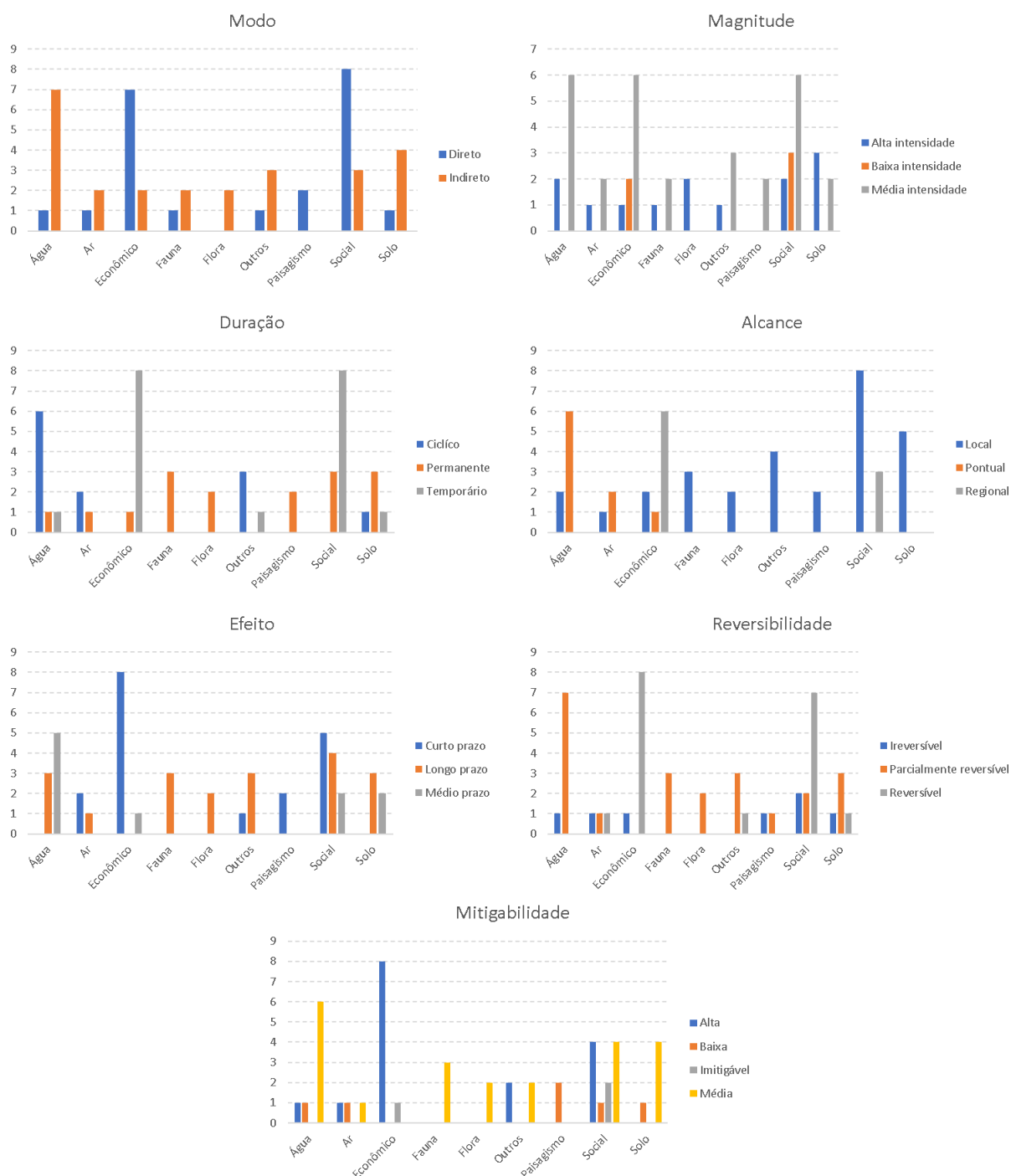
A duração dos impactos é de 8% cíclico, 48% permanente e 44% temporário. Os impactos têm 60% de alcance local, 8% são pontuais e 32% tem o alcance regional.

O efeito dos impactos se dá em 56% em curto prazo, 28% em longo prazo e 16% em médio prazo. Temos 28% dos impactos irreversíveis, 24% parcialmente reversível e 48% reversível. 12% dos impactos são imitigáveis, 44% possuem alta mitigabilidade, 12% baixa mitigabilidade e 32% média mitigabilidade.

5.3.3 Atividades múltiplas

A Figura 20 apresenta a classificação dos impactos ambientais gerados na etapa de atividades múltiplas.

Figura 20 - Classificação os impactos na etapa de atividades múltiplas



Fonte: Autoria própria (2021)

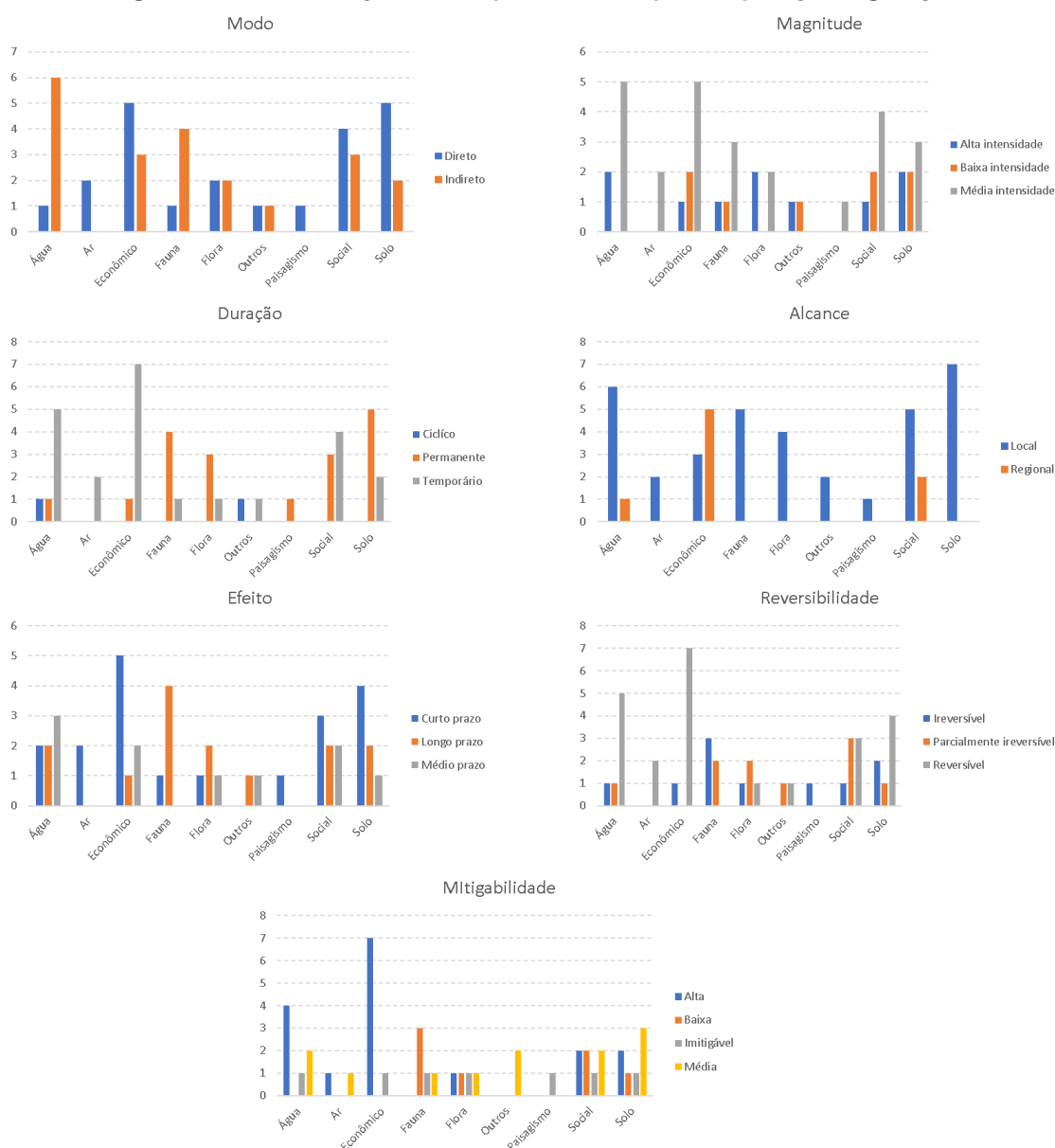
Destes impactos 60% são de forma direta e 40% de forma indireta. Os impactos possuem 27,67% alta intensidade, 61,70% média intensidade e 10,63% baixa intensidade. A duração dos impactos é de 25,53% cíclico, 34,04% permanente e 40,43% temporário. Os impactos têm 61,70% de alcance local, 19,15% são pontuais e 19,15% tem o alcance regional. O efeito dos impactos se dá em 38,30%

em curto prazo, 40,42% em longo prazo e 21,28% em médio prazo. Temos 14,89% dos impactos irreversíveis, 46,81% parcialmente reversível e 38,30% reversível. 6,38% dos impactos são imitigáveis, 34,05% possuem alta mitigabilidade, 12,77% baixa mitigabilidade e 46,80% média mitigabilidade.

5.3.4 Operação-geração

A Figura 21 apresenta a classificação dos impactos ambientais gerados na etapa de operação e geração.

Figura 21 - Classificação dos impactos na etapa de operação e geração



Fonte: Autoria própria (2021)

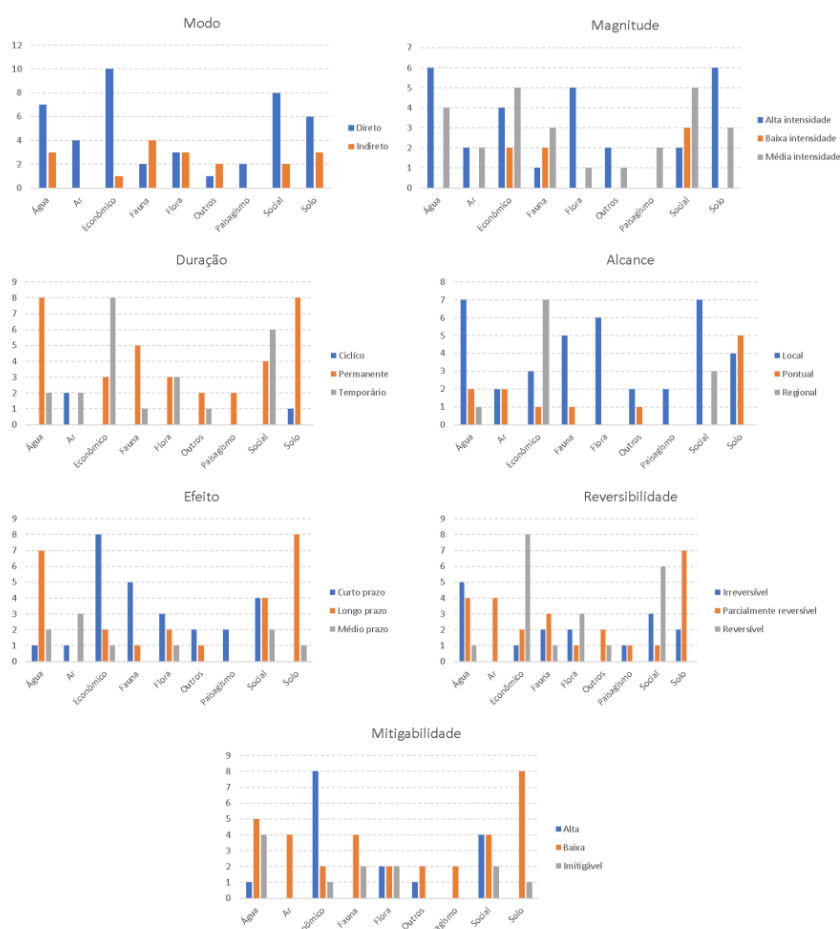
Destes impactos 51,16% são de forma direta e 48,84% de forma indireta. Os impactos possuem 23,25% alta intensidade, 58,14% média intensidade e 18,61% baixa intensidade. A duração dos impactos é de 4,65% cíclico, 41,86% permanente

e 53,49% temporário. Os impactos têm 81,40% de alcance local e 18,60% tem o alcance regional. O efeito dos impactos se dá em 44,18% em curto prazo, 32,56% em longo prazo e 23,26% em médio prazo. Temos 23,25% dos impactos irreversíveis, 23,26% parcialmente reversível e 53,49% reversível. 16,28% dos impactos são imitigáveis, 39,53% possuem alta mitigabilidade, 16,28% baixa mitigabilidade e 27,91% média mitigabilidade.

5.3.5 Santa-Quitéria

A Figura 22 apresenta a classificação dos impactos ambientais gerados na etapa de operação e geração nos compartimentos.

Figura 22 - Classificação dos impactos ambientais na unidade de Santa-Quitéria



Destes impactos 70,50% são de forma direta e 29,50% de forma indireta. Os impactos possuem 45,90% alta intensidade, 42,62% média intensidade e 11,48% baixa intensidade.

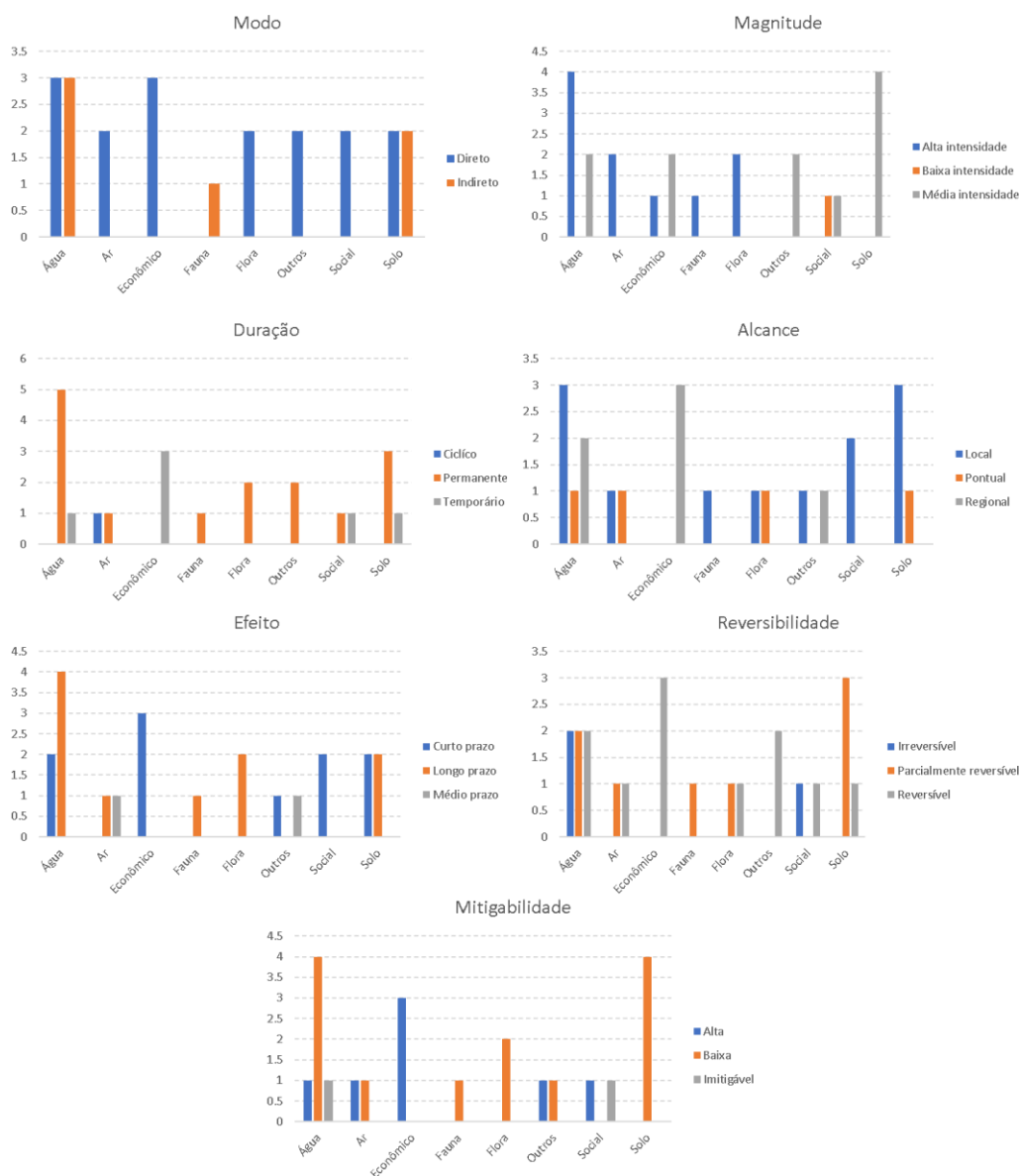
A duração dos impactos é de 4,92% cíclico, 57,38% permanente e 37,70% temporário. Os impactos têm 62,29% de alcance local e 19,67% dos impactos são pontuais e 18,04% tem o alcance regional.

O efeito dos impactos se dá em 42,62% em curto prazo, 40,99% em longo prazo e 16,39% em médio prazo. Temos 26,24% dos impactos irreversíveis, 40,98% parcialmente reversível e 32,78% reversível. 19,67% dos impactos são imitigáveis, 26,23% possuem alta mitigabilidade e 54,10% baixa mitigabilidade.

5.3.6 Descomissionamento

A Figura 23 apresenta a classificação dos impactos ambientais gerados na etapa de descomissionamento, no município de Caldas- MG.

Figura 22 - Classificação dos impactos na fase de descomissionamento em Caldas



Fonte: Autoria própria (2021)

Destes impactos 72,73% são de forma direta e 27,27% de forma indireta. Os impactos possuem 45,45% alta intensidade, 50,0% média intensidade e 4,55% baixa intensidade. A duração dos impactos é de 4,55% cíclico, 68,18% permanente e

27,27% temporário. Os impactos têm 54,54% de alcance local, 18,19 tem o alcance pontual e 27,27% tem o alcance regional. O efeito dos impactos se dá em 45,45% em curto prazo, 45,45% em longo prazo e 9,1% em médio prazo. Temos 13,64% dos impactos irreversíveis, 36,36% parcialmente reversível e 50,0% reversível. 9,09% dos impactos são imitigáveis, 31,82% possuem alta mitigabilidade e 59,09% baixa mitigabilidade.

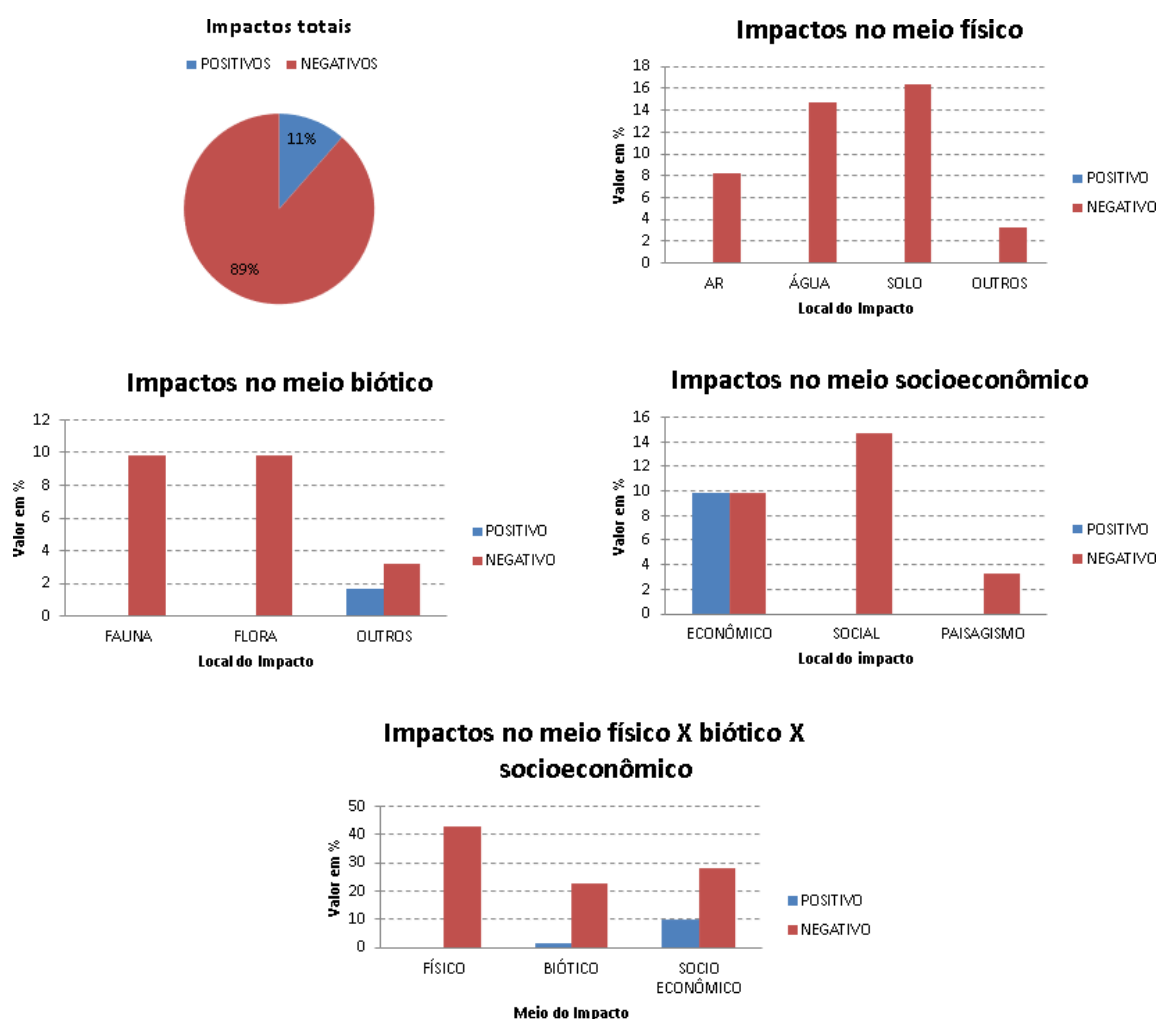
5.4 Resultados da Avaliação dos impactos ambientais oriundos da MNB

Nesta seção os impactos foram classificados quanto o tipo nos compartimentos físicos, bióticos e socioeconômicos.,

5.4.1 Mineração

A Figura 24 apresenta os impactos gerados na avaliação da etapa de mineração e beneficiamento.

Figura 24 - Impactos na mineração (meio físico, biótico e socioeconômico)



Fonte: Autoria própria (2021)

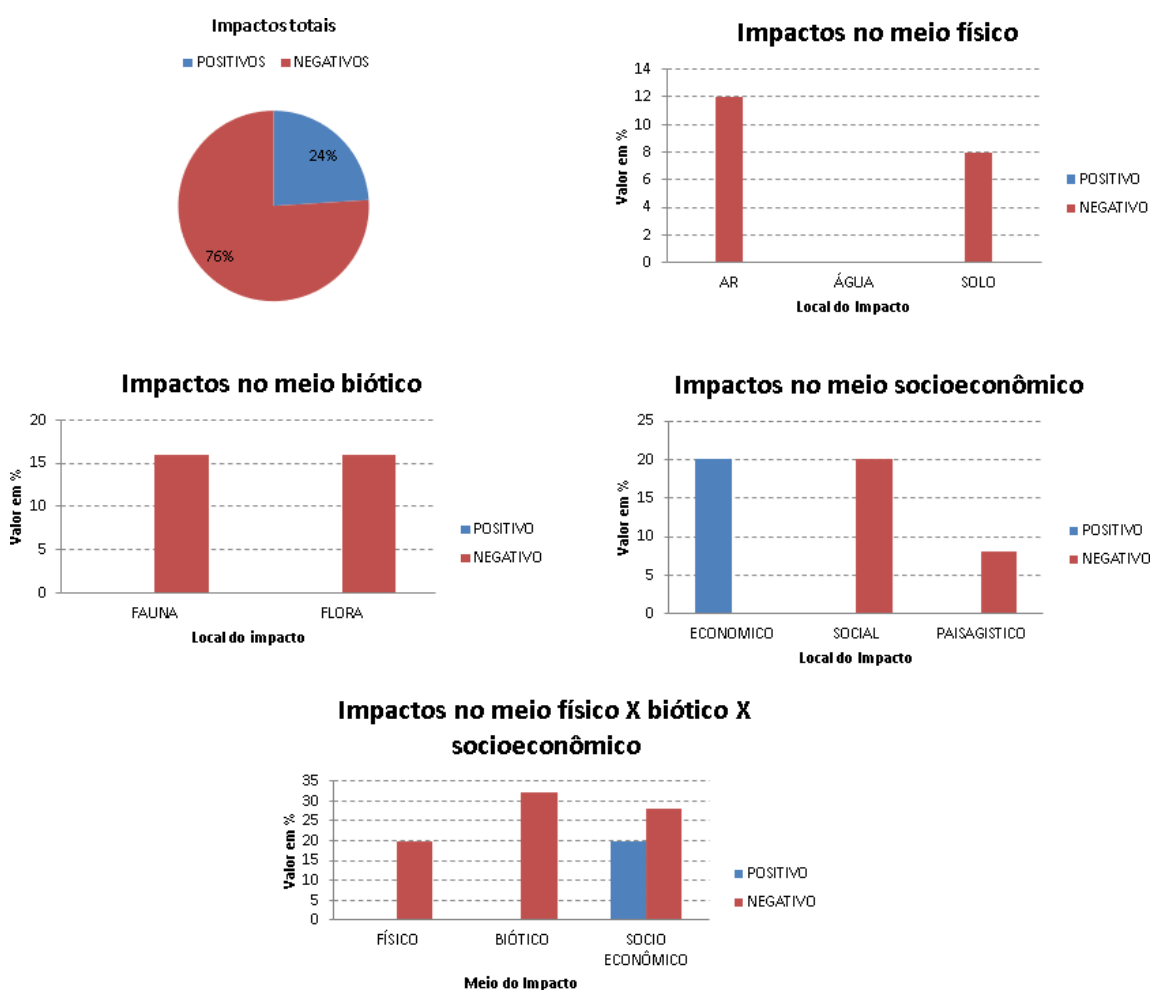
Na etapa de mineração foram identificados e classificados 61 impactos, sendo eles 26 impactos no meio físico dos quais 100% desses são negativos, 15 impactos

no meio biótico sendo 93,3% negativos e 20 impactos no meio socioeconômico sendo 70% negativos. Sendo classificados em 7 impactos positivos correspondente a 11% e 56 impactos negativos correspondendo a 89%.

5.4.2 Conversão

A Figura 25 apresenta os impactos gerados na avaliação da etapa de conversão.

Figura 24 – Impactos na etapa de conversão (meio físico, biótico e socioeconômico)



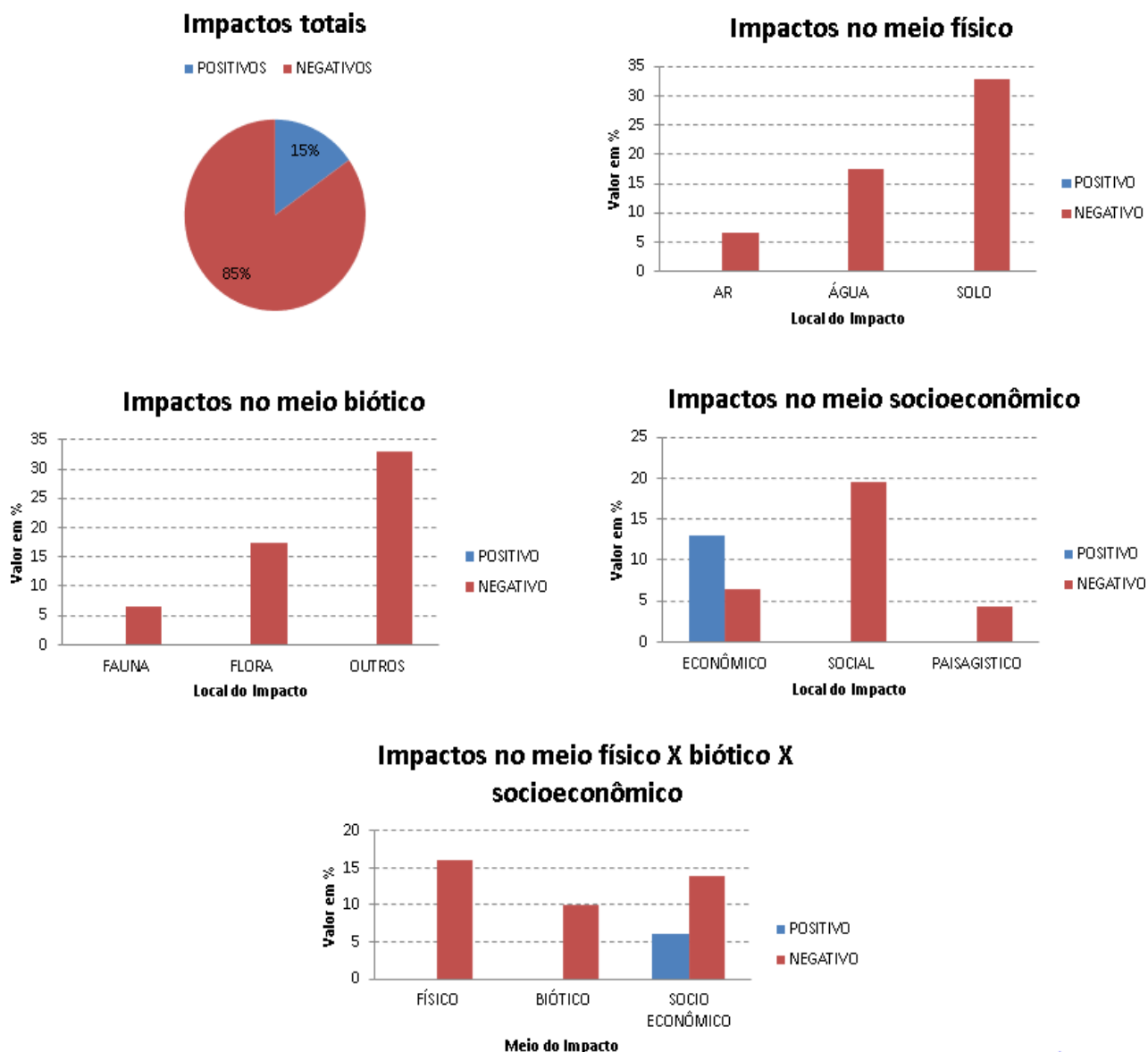
Fonte: Autoria própria (2021)

Na etapa de conversão foram identificados e classificados 25 impactos, sendo eles 5 impactos no meio físico dos quais 100% desses são negativos, 8 impactos no meio biótico sendo 100% negativos e 12 impactos no meio socioeconômico sendo 28% negativos. Sendo classificados em 5 impactos positivos correspondente a 20% e 20 impactos negativos correspondendo a 80%.

5.4.3 Atividades Múltiplas

A Figura 25 apresenta os impactos gerados na avaliação da etapa de atividades múltiplas.

Figura 25 - Impactos das atividades múltiplas (meio físico, biótico e socioeconômico)



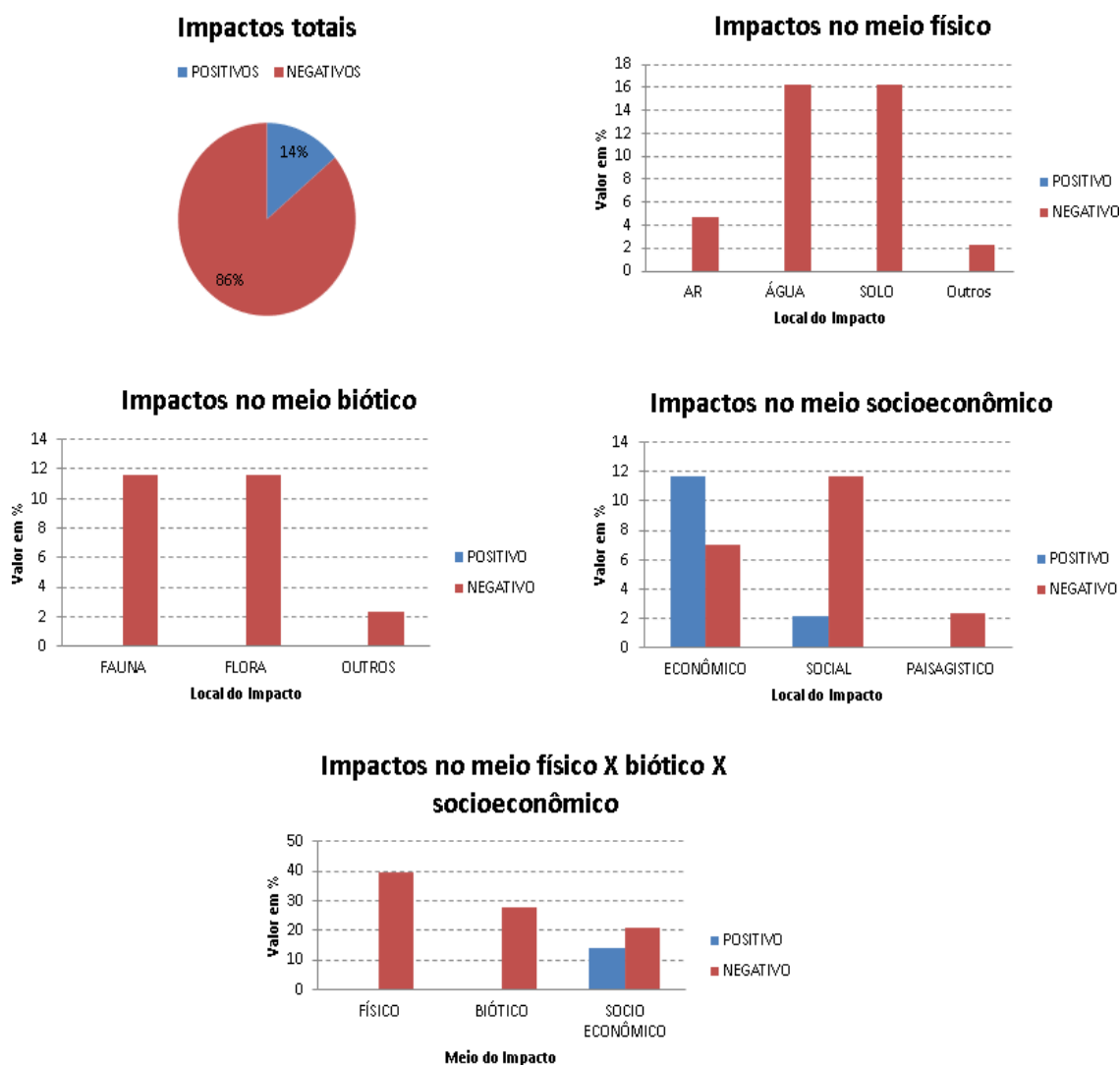
Fonte: Autoria própria (2021)

Na etapa de atividades múltiplas foram identificados e classificados 47 impactos, sendo eles 16 impactos no meio físico dos quais 100% desses são negativos, 9 impactos no meio biótico sendo 100% negativos e 22 impactos no meio socioeconômico sendo 72,72% negativos. Sendo classificados em 6 impactos positivos correspondente a 12,76% e 87,23 impactos negativos correspondendo a 80%.

5.4.4 Operação – Geração

A Figura 26 apresenta os impactos gerados na avaliação da etapa de operação e geração.

Figura 26 - Impactos da operação e geração (meio físico, biótico e socioeconômico)



Fonte: Autoria própria (2021)

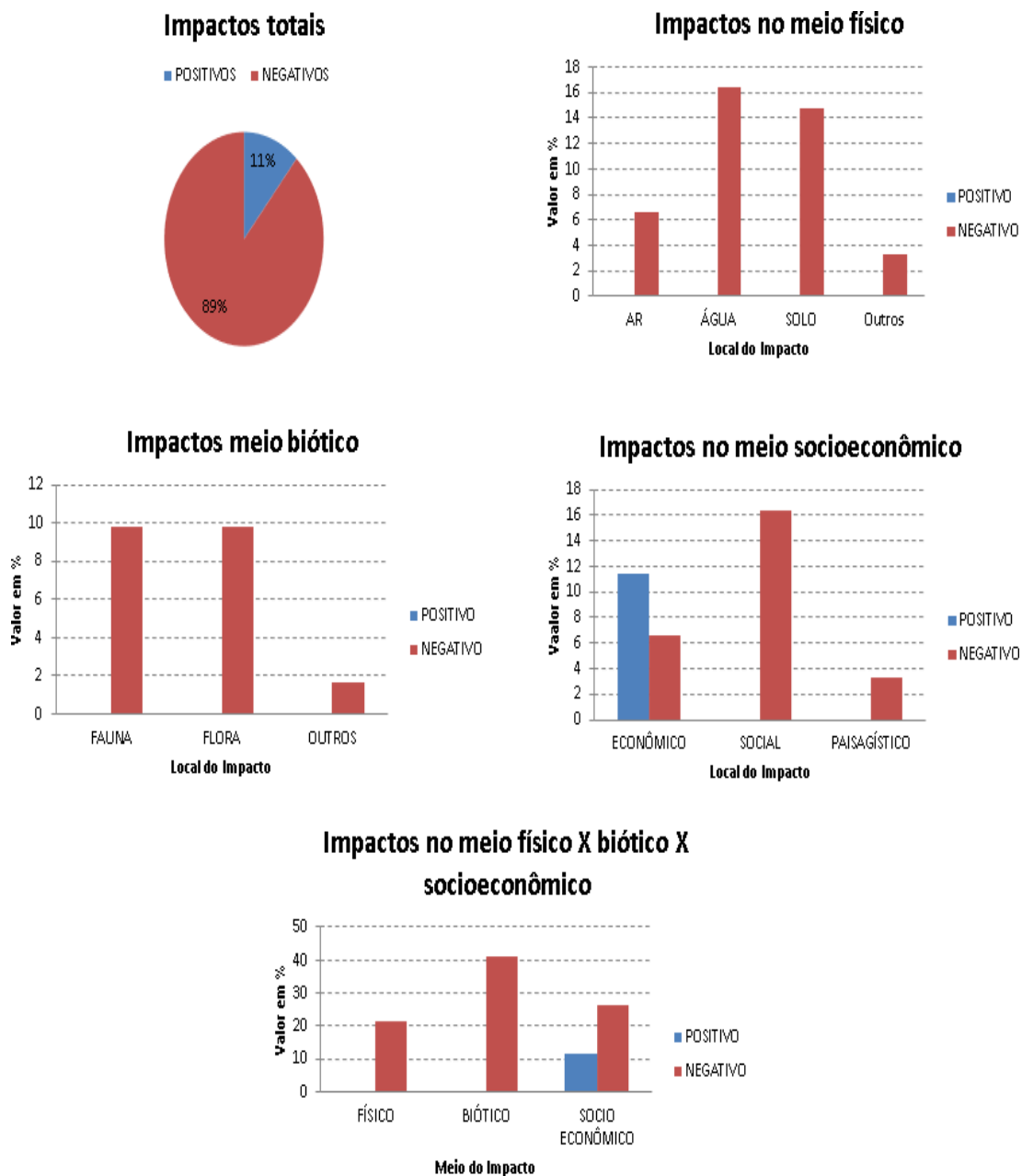
Na fase final da análise, de operação e geração de energia nuclear 86% dos impactos são negativos e o restante se encontra no meio socioeconômico e social, onde temos os 14% positivos.

De modo geral quando analisamos os impactos positivos das etapas da matriz nuclear a grande maioria deles encontra-se no meio socioeconômico, gerando renda e tributos para a região local do empreendimento em análise.

5.4.5 Santa Quitéria – Planejamento

A Figura 27 apresenta os impactos gerados na avaliação da etapa de operação e geração para os meios físico, biótico e sócio econômico.

Figura 27 - Impactos em Santa-Quitéria, fase de planejamento (no meio físico, biótico e socioeconômico)

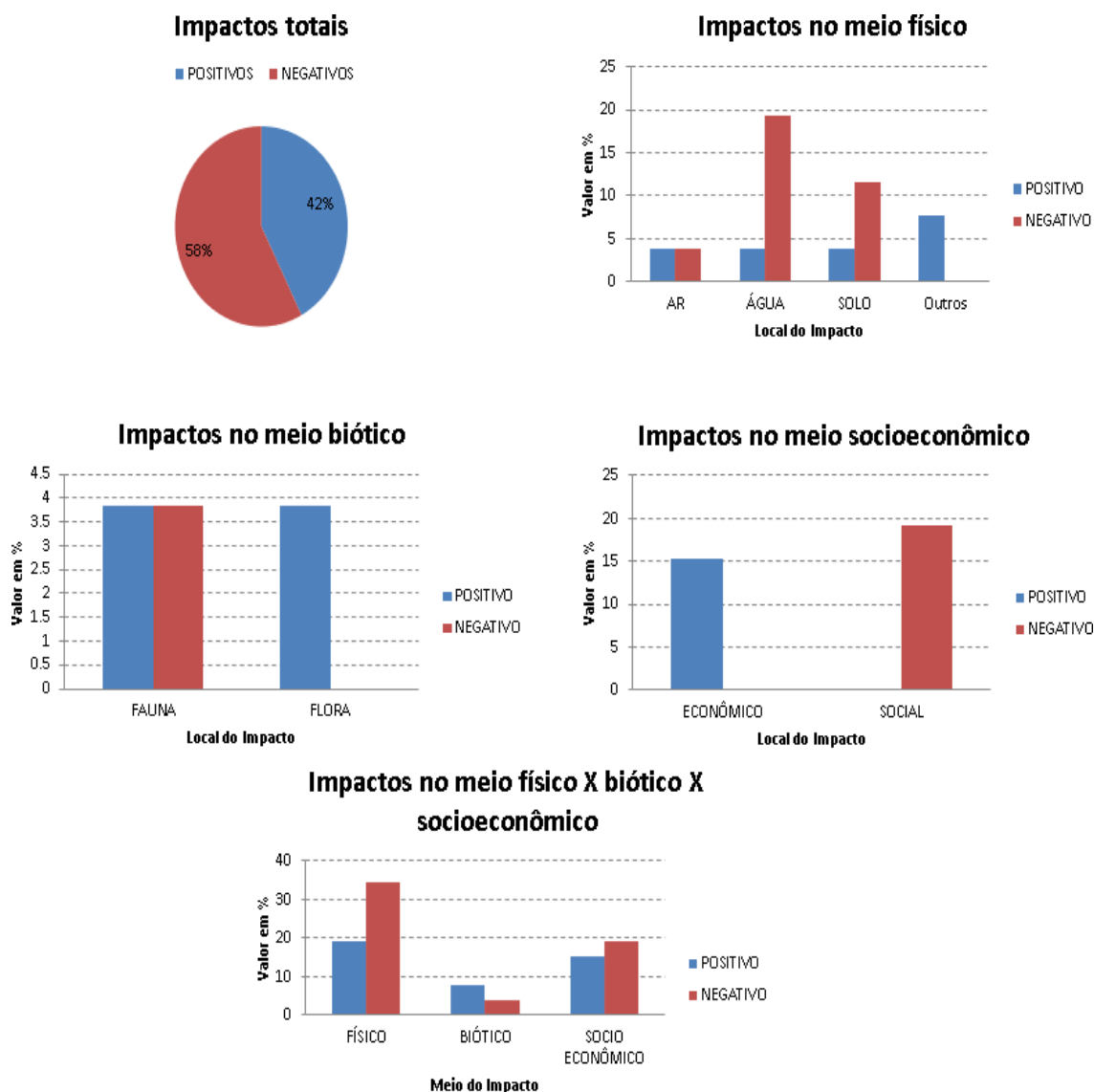


Fonte: Autoria própria (2021)

5.4.6 Caldas – Descomissionamento

A Figura 28 apresenta os impactos gerados na avaliação da etapa de operação e geração para os meios físico, biótico e sócio econômico.

Figura 28 - Impactos na UDC (meio físico, biótico e socioeconômico)



Fonte: Autoria própria (2021)

Quando se analisa a fase de descomissionamento da MNB é possível verificar que os impactos positivos aparecem de maneira mais significativa sendo considerados 42% dentre eles, isso se deve ao fato de que é uma etapa onde não está mais se explorando recursos e sim uma fase onde se monitoram de maneira mais intensa os resíduos que restaram de um empreendimento finalizado, assim permite-se a resiliência de maneira vagarosa do ambiente, mas isso só acontece se existem controle e preocupação de proteger a área da melhor forma possível com atitudes antrópicas.

5.5 Resultados da avaliação integrada dos impactos gerados pela MNB.

5.5.1 Impactos cumulativos

O detalhamento da análise ambiental integrada é apresentado na Tabela 23 com a categorização dos impactos cumulativos segundo cada

compartimento.

Tabela 23 - Valor e categorização dos impactos cumulativos em diferentes compartimentos

Compartimento	Total possível	Total obtido	IIAC	Categorização
Solo	±814	-507	-62.3%	Moderado
Ar	±418	-225	-53.8%	Moderado
Água	±880	-543	-61.7%	Moderado
Outros	±154	-36	-23.4%	Leve
Fauna	±550	-331	-60.2%	Moderado
Flora	±550	-344	-62.5%	Moderado
Outros	±198	-93	-47.0%	Leve
Econômico	±1,012	229	22.6%	Leve
Social	±968	-529	-54.6%	Moderado
Paisagístico	±198	-141	-71.2%	Sério

Fonte: Autoria própria (2021)

De acordo com a Tabela 23 pode-se concluir que a avaliação integrada ocorre na maioria dos compartimentos de modo moderado. Apenas o compartimento paisagístico foi categorizado como sério e o compartimento econômico foi considerado leve, porém ele é o único com resultado positivo e isso deve-se ao fato que existem muitos impactos que são positivos para a sociedade mesmo com os demais compartimentos dando resultados negativos e de categorização moderada.

A Tabela 24 indica o valor obtido dos impactos cumulativos em cada componente do meio.

Tabela 24 - Valor e categorização dos impactos cumulativos em diferentes componentes do meio

Meio	Total Possível	Total obtido	IAAC	Classificação
Físico (F)	±2266	-1311	-57.9%	Moderado
Biótico (B)	±1298	-768	-59.2%	Moderado
Sócio Econômico (SE)	±2178	-441	-20.2%	Leve
TOTAL	±5742	-2520	-43.9%	Moderado

Fonte: Autoria própria (2021)

Com a análise da Tabela 24 é possível verificar que tanto o meio físico quanto o biótico foram classificados como impactos moderados e o sócio econômico classificado como leve, pois é o único meio que possui impactos positivos significativos.

5.5.2 Impactos sinérgicos

O detalhamento da análise dos impactos sinérgicos é apresentado na Tabela 25 com a categorização dos riscos, devido ao valor obtido.

Tabela 25 - Valor e categorização dos impactos sinérgicos

Meio	Total obtido	Categorização
Físico versus biótico	34,2%	Leve
Físico versus socioeconômico	11,7%	Desprezível
Biótico versus socioeconômico	12,0%	Desprezível

Fonte: Autoria própria (2021)

Em análise aos resultados obtidos acusa-se que a sinergia entre os impactos do meio físico e biótico são caracterizados como leve, já os impactos entre o meio físico *versus* socioeconômico e biótico & socioeconômico não possuem significância na escala de categorizações, apontando para uma baixa sinergia entre esses componentes ambientais.

6 CONCLUSÃO

O Brasil produz 60% do urânio que consome. Dentre as formas de energia utilizadas para geração de energia elétrica no Brasil a energia nuclear é responsável por aproximadamente 3% do total de geração. As etapas de produção de energia elétrica via fissão nuclear no Brasil têm como etapas de produção: a mineração, o beneficiamento, a conversão, o enriquecimento, a reconversão, a fabricação de pastilhas, a fabricação de combustível nuclear e a geração de energia elétrica propriamente dita. Ressalta-se que a etapa de conversão não ocorre no território nacional. Na fase de mineração 76% dos impactos são negativos. Dentre os impactos identificados 40,6% incidem no meio físico, 23,4% no meio biótico e 35,9% no meio socioeconômico. Destes impactos cerca de 60,0% são de modo direto; 48,4% são temporários; com alcance local em 68,7% dos impactos; de curto prazo em 56,2%.

Nessa etapa 89,0% dos impactos são de natureza adversa e/ou negativa. Na etapa de conversão identificamos 25 impactos, sendo 20% no meio físico, 32% no meio biótico e 48% no meio socioeconômico. Destes impactos 46,81% são de forma direta e 53,19% de forma indireta, dos quais 14,9% de alta intensidade; com reversibilidade em 45,3% dos eventos e 26,5% de mitigabilidade.

Na fase de atividades múltiplas foram constatados 47 impactos dos quais 34% se encontram no meio físico, 21,3% no meio biótico e 44,7% no meio socioeconômico. Sendo 60% de forma direta; 27,7% de alta intensidade; 34,04% de duração permanente com 61,7% com alcance local e efeito de longo prazo em 40,42% dos eventos. Nesta etapa 85% dos impactos são negativos.

Dos 42 impactos identificados na fase operacional da geração de energia elétrica temos 86% de impactos negativos; 40,5% de impactos que incidem sobre o meio físico, 23,8% sobre o meio biótico e 35,7% sobre o meio socioeconômico. Sendo

51,6% de forma direta; 58,14% de média intensidade, com duração temporária em 53,5% dos casos e alcance local em 81,4% dos impactos com efeito de curto prazo em 44,2%.

Na implantação da mineração de Santa Quitéria encontram-se 59% de impactos negativos; 41,0% no meio físico, 21,3% no meio biótico e 37,7% no meio socioeconômico. De forma direta foram identificados 70,5% dos impactos, sendo 45,9% de alta intensidade, 57,4% permanentes; 42,6% de curto prazo; 41,0% parcialmente reversíveis e 54,1% de baixa mitigabilidade. Quanto a unidade de Caldas, que encontrasse em descomissionamento, foram identificados 25 impactos dos quais 58,0% são negativos; 56,0% no meio físico, 12,0% no meio biótico e 32,0% meio socioeconômico. Sendo 72,7% diretos; 50,0% de média intensidade; 68,2% com duração permanente e 50% reversíveis e 59,1% de baixa mitigabilidade. O passivo ambiental advindo da unidade de exploração de Urânio de Caldas-MG é extremamente significativo.

De maneira genérica a atividade tem impactos cumulativos considerados moderados e a sinergia entre os impactos gerados nos diferentes meios pode ser considerada de leve a desprezível.

REFERÊNCIAS

ABEEólica. Associação Brasileira de Energia Eólica. **Boletim anual de geração eólica**. 2019. v. 9. Disponível em: http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/06/PT_Boletim-Anual-de-Gera%C3%A7%C3%A3o-2019.pdf. Acesso em: 13 jul. 2020.

ABEEólica. Associação Brasileira De Energia Eólica. **Energia eólica chega à sétima posição no ranking mundial de geração abastecendo 10% Do Brasil**. 2017. Disponível em: [Energia eólica chega à sétima posição no ranking mundial de geração abastecendo 10% do Brasil - ABEEólica \(abeeolica.org.br\)](http://abeeolica.org.br). Acesso em: 13 jul. 2020.

AGUIAR, G. **A cooperação Brasil-Venezuela no campo energético**. UFRR. 4º Encontro Nacional da Associação Brasileira de Relações Internacionais, Belo Horizonte/MG. (2013). Disponível em [:http://www.encontronacional2013.abri.org.br/download/download?ID_DOWNLOAD](http://www.encontronacional2013.abri.org.br/download/download?ID_DOWNLOAD)

=298. Acesso em: 13 jul. 2020.

BÁRBARA, V.F.; TAVARES, M.G.O. **Impactos ambientais de cavas de mineração: uma revisão**. Universidade Federal de Goiás – UFG. 2017. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/104/o/TESE_Vin%C3%ADciu_Fagundes_B%C3%A1rbara.pdf. Acesso em: 27 mar. 2020.

BiodieselBR. **Energia nuclear no Brasil**. Fev, 2006. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/energia/nuclear/brasil-energia-nuclear>. Acesso em: 27 mar. 2020.

BOMFIM, R. B. **Avaliação de impactos ambientais da atividade minerária. Cruz das Almas – BA**. 2017. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/175229/1/avaliacao.pdf>. Acesso em: 28 de abr. 2020.

BRASIL. **Conselho nacional do meio ambiente. Resolução n.001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o relatório de impacto ambiental – RIMA**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 fevereiro 1986.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. P4.261 - **Risco de Acidente de Origem Tecnológica** - Método para decisão e termos de referência. São Paulo, 2. Edição. 140p. 2011.

CMEB (Centro da Memória da Eletricidade no Brasil). **Panorama do setor de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro, 1988. ISBN 85-85147-03-2.

CNEN. Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN. *In*: SOUZA, C. **História da energia nuclear**. [S. l.: s. n.], 2019. v. 9. Disponível em: <http://antigo.cnem.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/historia-da-energia-nuclear.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2020.

CONCEIÇÃO, E. G. *et al.* [s.d.]. **Estudo preliminar da lixiviação das pilhas de minério exaurido da unidade de concentração de urânio – ura/inb, com vista à avaliação de impacto ambiental**. Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Disponível em: https://www.ipen.br/biblioteca/cd/inac/2002/ENAN/E05/E05_403.PDF. Acesso em: 26 maio 2020.

COSTA, F. L. **Plano conceitual de fechamento de uma mina de urânio – estudo de caso: a unidade de concentrado de urânio da INB em Caetité, Bahia**. 2005. 1-137 p. Dissertação (Pós Graduação) - Universidade Federal De Ouro Preto - UFOP, Ouro Preto, 2005. Disponível em:

https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3103/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_PlanoConceitualFechamento.pdf. Acesso em: 30 jun. 2021.

COSTA, R. V. **A produção do combustível nuclear e as perspectivas futuras para atender a demanda atual e novas plantas**. VII Semana da Engenharia Nuclear - UFRJ, [S. l.], p. 1-30, 16 dez. 2021. Disponível em:

<http://www.nuclear.ufrj.br/semana2019/apresentacoes/17futuro/Renato%20Costa%20INB.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2020.

DEL REI, A. G. F. et al. **Contaminação da água por urânio em Caetité-BA**.

Educação pública, [S. l.], p. 1, 18 fev. 2014. Disponível em:

<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/14/7/contaminacao-da-agua-por-uranio-em-caetite-ba->. Acesso em: 29 jun. 2020.

EEA. **Environment in the European Union at the turn of the century**. Page 14. Environmental assessment report N° 2. 1999.

ELETRONUCLEAR [s.d.]. **Angra 2**. Disponível em:

<https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-2.aspx>. Acesso em: 27 mar. 2020.

ELETRONUCLEAR [s.d.]. **Gerenciamento de resíduos**. Disponível em:

<https://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Paginas/Gerenciamento-de-residuos.aspx>. Acesso em: 09 abr. 2020.

ELETRONUCLEAR/ELETROBRAS (Panorama 2016). – **Panorama da energia nuclear**, 2016. Disponível em: < <http://www.aben.com.br/Arquivos/451/451.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2020.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco energético nacional 2020: Ano base 2019** Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em: 27 mar. 2020.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. 2006. **Estudos de inventário do rio Juruena projeto básico**, [S. l.], p. 1-48, 2006. Disponível em:

<https://www.bing.com/ck/a?!&p=81f46b338073b30aJmltdHM9MTY1OTM5ODQwMCZpZ3VpZD0xMThkNDFiMy04NDM5LTZiNGltMTA4YS01MGUxODAzOTY5M2QmaW5zaWQ9NTE2MQ&ptn=3&hsh=3&fclid=118d41b3-8439-6b4b-108a-50e18039693d&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cuZXBILmdvdi5ici9zaXRlcy1wdC9hY2Vzc28tYS1pbmZvcm1hY2FvL2xpY2I0YWNvZXMtZS1jb250cmF0b3MvTGJjaXRhY29lc0FycXVpdm9zL2xpY2I0YWNhby1jb250cmF0by00NDEvQ08tRVBFLTAwMSUyMDIwMDYIMjBBbmV4byUyMEkIMjAtJTlwMSUyMFBYb2pldG8IMjBCJUMzJUExc2ljbyUyMEp1cnVlbnEucGRm&ntb=1>

.Acesso em: 27 mar. 2020.

ESCANHOELA, C.M.F. **Estudo da viabilidade econômica para implementação do reator nuclear SMART no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo. 138 p. 2018. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85133/tde-23112018-145707/pt-br.php>. Acesso em: 6 ago. 2020.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. FGV Projetos: **O futuro energético e a geração nuclear**. n. 19, p. 1-50, 1 jan. 2013. Disponível em: https://conhecimento.fgv.br/sites/default/files/miolo_futuro_energetico_web.pdf. Acesso em: 6 ago. 2020.

GARGAMA, H.; CHATURVEDI, S.K. **criticality assessment models for failure mode effects and criticality analysis using fuzzy logic**. *IEEE transactions on reliability*, v. 60, n. 1, p. 102-110. 2011.

GONÇALVES, A et al. **Governança global e a solução de conflitos internacionais**. Santos, 2019. Disponível em: <https://www.unisantos.br/wp-content/uploads/2019/10/governanca-global-conflitos-internacionais.pdf#page=95>. Acesso em: 27 mar. de 2020.

GONÇALVEZ, F; RUIZ, R. FGV Energia. **Energia nuclear**, Praia de Botafogo - RJ, n. 6, p. 1-88, abril 2016. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/pdf_fgv-energia_web.pdf. Acesso em: 6 abr. 2020.

GONÇALVES, L. C. **Planejamento de energia e metodologia de avaliação ambiental estratégica: conceitos e críticas**. Curitiba: Juruá, 2009.

hansen et al. **opinião pública sobre energia nuclear enquanto sistema perito nas sociedades de risco da modernidade**. Niterói – RJ, ago, 2018. Disponível em: <https://ojsbrasil.com.br/ojs-bjrs/index.php/REVISTA/article/view/492/318>. Acesso em: 29 mar. 2020.

HASHIMURA, L. M. M. **aproveitamento do potencial de geração de energia elétrica por fontes renováveis alternativas no Brasil**: Instrumentos de Política e Indicadores de Progresso. Dissertação (mestrado) – UFRJ / COPPE / Programa de Planejamento Energético, 2012.

Instituto E+ Transição Energética. **Panorama do Sistema Elétrico Brasileiro**. Rio de Janeiro/RJ – Brasil. 2019.

INB. **Energia Nuclear**. Disponível em: <https://www.inb.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Meio-Ambiente/Prote%C3%A7%C3%A3o-Radiol%C3%B3gica>. Acesso em: 27 mar. 2020.

LEITE, A. D. **Considerações sobre energia elétrica no Brasil**. Texto de Discussão n. 30, GESEL/IE/UFRJ. Rio de Janeiro, fev. 2011.

LEITE, J. **Brasil tenta quebrar barreiras para vender urânio enriquecido**. *Gazeta Mercantil*, p. 1-1, 6 out. 2004. Disponível em:

<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/492104/noticia.htm?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 jul. 2020.

LOPES, M. **Urânio: Mineração em Caetité/BA e suas consequências**. Dezembro, 2014. Disponível em: <https://tecnicoeminerao.com.br/mineracao-de-uranio-em-caetite/>. Acesso em: 06 abr. 2020.

LOPES, M. **Urânio – o mineral que mudou a história**. Agosto de 2015. Disponível em: <https://tecnicoeminerao.com.br/uranio-o-mineral-que-mudou-a-historia/>.

Acesso em: 09 abr. 2020.

MACHADO, K. **População escaudada tem medo**. Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, maio de 2019. Disponível em:

<http://www.epsiv.fiocruz.br/noticias/reportagem/populacao-escaudada-tem-medo>. Acesso em: 05 maio 2020

MARTINS, R.; FIGUEIREDO, A. **Sustentabilidade e recursos naturais**. FEITEP, jun de 2017. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/AmandaFigueiredo4/usina-nuclear-impactos-ambientais>. Acesso em 28 abr. 2020.

MASDEN, E. A. et al. **"Cumulative impact assessments and bird/wind farm interactions: Developing a conceptual framework."** *Environmental Impact Assessment Review* 30.1: 1-7. 2010.

MELO, R. **Primeira barragem de exploração de urânio do Brasil: entenda risco de rompimento com resíduo radioativo**. [s. l.], p. 1, 26 fev. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2019/02/26/primeira-barragem-de-exploracao-de-uranio-do-brasil-entenda-risco-de-rompimento-com-residuo-radioativo.ghtml>. Acesso em: 29 jun. 2020.

Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética – Brasil. **Matriz energética nacional 2030**. Brasília: MME: EPE, 2007.

Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética – Brasil. **Plano nacional de energia 2030**. Brasília: MME: EPE, 2007.

Ministério do Meio Ambiente (MMA) – Brasil. **Consumo Sustentável: Manual de educação**. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/IDEC, 160 p. 2005.

MILARÉ, E. **Direito do ambiente**. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais. 2007.

MRS ESTUDOS AMBIENTA Ltda. Eletrobras. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA da Unidade 3 da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto**. Disponível em:

http://memoria.cnen.gov.br/Doc/pdf/cronologia/RIMA_2006_angralll.pdf. Acesso em: 28 abr. 2020.

OLIVEIRA, V. R. S. **Impactos cumulativos na avaliação de impactos ambientais: fundamentação, metodologia, legislação, análises de experiências e formas de abordagem**. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, São Paulo, 2008.

Disponível em:

<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4243/2141.pdf?sequence=1&isAll>

owed=y . Acesso em: 06 maio 2020.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. **O que é o SIN – Sistema Interligado Nacional**. 2011. Disponível em:

http://www.ons.org.br/conheca_sistema/o_que_e_sin.aspx. Acesso em: 20out. 2020.

PATTI, C. **O programa nuclear brasileiro: uma história oral**. 1 ed. FGV CPDOC. Disponível em:

<http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/13733/O%20programa%20nuclear%20brasileiro.pdf?sequence=1>. Acesso em: 27 mar. 2020

PLANAS, O. Quais são os tipos de reatores nucleares? **Energia nuclear**, [S. l.], p.1-1, 29 ago. 2012 Disponível em: [https://pt.energia-nuclear.net/operacao-usina-](https://pt.energia-nuclear.net/operacao-usina-nuclear/reator-nuclear/tipos)

[nuclear/reator-nuclear/tipos](https://pt.energia-nuclear.net/operacao-usina-nuclear/reator-nuclear/tipos). Acesso em: 13 out. 2021.

PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PDEE 2006-2015):EPE; Brasília. 2006.

RIMA. **Relatório de impacto ambiental projeto Santa Quitéria - CE**. p. 1-88,2014. Disponível em: <https://file.ejatlaz.org/docs/2407/RIMA.pdf>. Acesso em: 29jun. 2020.

ROSSI, A. **Tudo o que você precisa saber sobre as usinas nucleares de Angra 1 e 2, e por que são diferentes de Chernobyl**. BBC News, [S. l.], p. 1-1, 23 junho 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-48683942>. Acesso em: 19 jul. 2021.

SANCHEZ, L.E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de textos, 3ªed. 2013.

SIGEL - **Sistema de informações georreferenciadas do setor elétrico. informações geográficas do setor elétrico brasileiro por: SGI**. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/webmap/print.html>. Acesso em: 10 nov.2021.

TOKARNIA, M. **Energia nuclear é prioridade para o brasil, diz bento Albuquerque**. Rio de janeiro, nov, 2019. <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-11/energia-nuclear-e-prioridade-para-o-brasil-diz-bento-albuquerque>. Acesso em: 27 mar. 2020.

VAINER, C. B.; ARAÚJO, F.G. **Grandes projetos hidrelétricos e desenvolvimento regional**. Rio de Janeiro: CEDI, 1992.

WALKER, L. J; JOHNSTONS, C. A. **Guidelines for the assessmente of indirect ans cumulative Impacts as well as impact interactions**. Luxemburgo:European Comission, 1999. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/archives/eia/eia-studies-and-reports/pdf/guidel.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2020.

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. World Nuclear Performance. **World nuclear association.**, [S. l.], p. 1-36, 14 ago. 2021. Disponível em: [https://www.world-nuclear.org/getattachment/Our-Association/Publications/Global-trends-reports/World-Nuclear-Performance-Report/world-nuclear-performance-report-2017-\(1\).pdf.aspx](https://www.world-nuclear.org/getattachment/Our-Association/Publications/Global-trends-reports/World-Nuclear-Performance-Report/world-nuclear-performance-report-2017-(1).pdf.aspx).

Acesso em: 17 jul. 2020.