



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

Mariele Canal Bonfante

MODELO DE GESTÃO BASEADO EM PRÁTICAS ESG PARA A
SUSTENTABILIDADE DO LABORATÓRIO FÁBRICA DE ÍMÃS DE TERRAS RARAS

Florianópolis

2021

Mariele Canal Bonfante

**Modelo de Gestão Baseado em Práticas ESG para a Sustentabilidade do Laboratório
Fábrica de Ímãs de Terras Raras**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade
Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de
Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais
Orientador: Prof., Dr. Orestes Estevam Alarcon
Coorientadora: Prof., Dra. Lucila Maria de Souza
Campos

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Canal Bonfante, Mariele

Modelo de Gestão Baseado em Práticas ESG para a Sustentabilidade do Laboratório Fábrica de Ímãs de Terras Raras / Mariele Canal Bonfante ; orientador, Orestes Estevam Alarcon, coorientadora, Lucila Maria de Souza Campos, 2021.

139 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Ciência e Engenharia de Materiais. 2. Sustentabilidade Corporativa. 3. Ímãs de Terras Raras. 4. Modelo de gestão. 5. 139. I. Estevam Alarcon, Orestes. II. de Souza Campos, Lucila Maria . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. IV. Título.

Mariele Canal Bonfante

**Modelo de Gestão Baseado em Práticas ESG para a Sustentabilidade do
Laboratório Fábrica de Ímãs de Terras Raras**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Paulo Antônio Pereira Wendhausen
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Nery dos Santos
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Dr.(a) Lúcia Helena da Silva Maciel Xavier
Centro de Tecnologia Mineral

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de doutor em Ciência e Engenharia de Materiais.

Prof. Dr. João Batista Rodrigues Neto
Coordenador do Programa

Prof., Dr Orestes Estevam Alarcon
Orientador

Florianópolis, 2021.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador professor Orestes, por todos os ensinamentos e amizade. A minha coorientadora professora Lucila, pela confiança depositada em mim. Aos colegas dos projetos INCT e REGINA e o grupo de pesquisadores do MAGMA pela troca de experiências e conhecimentos. Aos integrantes da CODEMGE, que sempre me receberam muito bem. Aos meus amigos Danilo, Lúcio, Jack, Mirelle e Luana por todas as conversas científicas e momentos de lazer. Aos colegas e amigos Henrique, Fran, Renata, Suélen e Jéssica, com quem dividi o dia a dia na UFSC. Ao meu pai, minha mãe, meu irmão e cunhada por sempre acreditarem em mim e me incentivarem.

RESUMO

A cadeia produtiva de Ímãs de Terras Raras (ITR) está sendo desenvolvida no Brasil impulsionada pela demanda crescente deste material para aplicações em motores elétricos e geradores eólicos de alto desempenho. Dentre as iniciativas para a consolidação desta cadeia destaca-se a criação do laboratório fábrica de Ímãs de Terras Raras (LabFab). O LabFab será a primeira fábrica de ITR da América Latina. Além da fabricação de ímãs, este empreendimento visa o desenvolvimento de novas tecnologias e aplicações em escala laboratorial e industrial, atingindo a produção anual de 100 toneladas de ITR após o sétimo ano de operação. Neste contexto, o Brasil tem como premissa a produção de ímãs mais sustentáveis, garantindo assim o bem estar social, a conservação dos sistemas naturais e ganhos econômicos pelo diferencial competitivo em relação aos ímãs produzidos na China, que via de regra incorporam grandes impactos ambientais e sociais. Porém, a literatura acerca da sustentabilidade na produção de ITR ainda é limitada e apresenta lacunas, principalmente em relação aos métodos e práticas para a implementação e gestão da sustentabilidade neste setor. Diante disso, esta tese desenvolve um modelo de gestão da sustentabilidade, composto por etapas a serem seguidas no processo de aprendizagem e implementação da sustentabilidade no LabFab. O modelo é composto por dois elementos, o primeiro é referente a um conjunto de 31 práticas Ambientais, Sociais e de Governança (ESG) coletadas a partir de documentos, manuais e literatura, e hierarquizadas utilizando o método *Analytic Hierarchic Process* (AHP) com auxílio de 30 especialistas das áreas de Sustentabilidade e ITR. O segundo elemento do modelo é referente ao método de aplicação, composto por 4 fases e 9 etapas que devem ser apreendidas, desenvolvidas e implementadas na empresa. O método de aplicação foi desenvolvido tomando como referência diversos modelos de gestão da sustentabilidade contidos na literatura e visa fornecer um passo a passo de atividades a serem cumpridas. A consistência do modelo proposto foi verificada pelos gestores do LabFab durante um encontro utilizando o método de grupo focal, e os resultados indicam que o modelo pode apoiar a condução de ações objetivas auxiliando o desenvolvimento da estratégia de sustentabilidade corporativa sua implementação e transformação em rotina de gestão. A principal contribuição desta pesquisa foi a criação do modelo de gestão da sustentabilidade especialmente desenvolvido para o caso LabFab. Este modelo almeja guiar a implementação da sustentabilidade por meio da gestão das práticas ESG (Ambiental, Social e Governança), sendo útil no planejamento da sustentabilidade, na seleção das práticas ESG prioritárias, e na condução do gerenciamento da sustentabilidade. Sendo assim, o modelo proposto mostra-se adequado tanto a nível estratégico quanto a nível operacional e pode auxiliar os gestores do LabFab para iniciar as ações em prol da sustentabilidade, bem como na melhoria do desempenho da sustentabilidade.

Palavras-chave: Sustentabilidade Corporativa. Ímãs de Terras Raras. Materiais Críticos. Modelo de gestão.

ABSTRACT

The Rare Earth Magnets (REM) production chain is being developed in Brazil, driven by the growing demand for this material for applications in high-performance electric motors and wind turbines. One of the initiatives to consolidate this chain, is the creation of the Rare Earth Magnet Laboratory - Factory (LabFab). LabFab will be the first REM factory in Latin America, and besides the manufacturing of magnets, this project aims to develop new technologies and applications on laboratory and industrial scale, reaching an annual production of 100 tons of REM after the seventh year of operation. In this context, Brazil aims to reach the production of more sustainable magnets, ensuring social well-being, the conservation of natural systems and economic growth. This sustainable responsibility will also be a competitive differential when comparing the magnets produced in China, which usually incorporate large environmental and social impacts. However, there is a lack on the literature regarding sustainability in REM production, the knowledge is still limited, especially in relation to methods and practices for the implementation and management of sustainability in this sector. In this sense, this thesis develops a sustainability management model, consisting of steps to be followed in the process of learning and implementing sustainability at LabFab. The model comprises of two elements, the first refers to a set of 31 Environmental, Social and Governance (ESG) practices collected from documents, manuals and literature, and ranked using the Analytic Hierarchic Process (AHP) method with the assistance of 30 specialists in the areas of Sustainability and REM. The second element of the model refers to the application method, consisting of 4 phases and 9 steps that must be learned, developed and implemented in the company. The application method was developed taking as a reference several sustainability management models contained in the literature and aims to provide a step by step of activities to be carried out. The applicability of the proposed model was verified by the LabFab managers during a meeting using the focus group method, and the results indicate that the model can support the sustainable actions, helping the development of the corporate sustainability strategy, implementation and transformation into a management routine. The main contribution of this research was the creation of the sustainability management model, specially developed for the LabFab case. This model aims to guide the sustainability implementation through ESG (Environmental, Social and Governance) practices management. The model is useful in the sustainability planning, ESG priority practices selection, and in conducting sustainability management. Therefore, the proposed model is adequate both at a strategic and operational level and can help LabFab's managers to initiate actions to support sustainability, as well as in improving sustainability performance.

Keywords: Corporate Sustainability. Rare Earth Magnets. Critical Materials. Management model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 17 ETR dispostos na tabela periódica.	26
Figura 2. Previsão de demanda de NdFeB por aplicação.	30
Figura 3. Principais atores da Ação ETR-BR.	32
Figura 4. a) Visita às instalações do LabFab realizada em maio de 2019 b) Fachada do LabFab em 2020.	33
Figura 5. Mapa simplificado da cadeia de ITR e seus impactos	34
Figura 6 - Processo de redução por eletrólise.	37
Figura 7 – Layout das células de redução: (1) Lavador de Gases (2) Célula eletrolítica (3) Módulo de energia (4) Eletrodo (5) Exaustor.	39
Figura 8. Obtenção de tiras solidificadas de NdFeB.	40
Figura 9. Fragmentação grosseira.	41
Figura 10. Vasos de transporte.	42
Figura 11. Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável	47
Figura 12. Sistema de gerenciamento da sustentabilidade corporativa	54
Figura 13. Gestão da sustentabilidade organizacional baseada no ciclo PDCA.	55
Figura 14. Etapas da pesquisa e seus resultados.	56
Figura 15. Etapas da RBS.	58
Figura 16. Escala de importâncias relativas	62
Figura 17. Exemplo do preenchimento dos dados no software Expert Choice	63
Figura 18. Exemplo do resultado no software Expert Choice	64
Figura 19. Encontro realizado em Belo Horizonte em 2020	66
Figura 20. Etapas da Revisão Bibliográfica Sistemática	67
Figura 21. Bibliografia utilizada para a definição dos componentes de avaliação.	76
Figura 22. Resultados na tela do software Expert Choice	91
Figura 23. Vetores peso e resultados priorizados.	92
Figura 24. Verificação de consistência do modelo proposto	96
Figura 25. Storybord de um plano de ação	99
Figura 26. Elementos do Modelo de gestão da sustentabilidade	102
Figura 27. Temáticas da sustentabilidade e os ODS.	103
Figura 28. Fases da gestão da sustentabilidade	105
Figura 29. Exemplo da ficha de tomada de decisão de prioridades.	108
Figura 30. Storyboard do planejamento da melhoria	109

Figura 31. Storyboard dos ciclos PDCA.	110
Figura 32. Gráficos radares para o monitoramento macro.	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Elementos da etapa de Redução Eletrolítica.....	38
Quadro 2. Elementos utilizados na fabricação da liga.....	39
Quadro 3. Elementos utilizados na fragmentação grosseira.....	40
Quadro 4. Elementos da etapa de comunicação.....	42
Quadro 5. Elementos das etapas de compactação e sinterização.	43
Quadro 6. Elementos na etapa de usinagem.	43
Quadro 7. Elementos na etapa de usinagem.	44
Quadro 8. Principais elementos e características dos modelos de gestão	50
Quadro 9. Documentos utilizados na análise de conteúdo.	60
Quadro 10. Grupo Focal LabFab.....	61
Quadro 11. Primeiro grupo entrevistado.	61
Quadro 12. Segundo grupo entrevistado para o método AHP (multi-stakeholder).....	62
Quadro 13. Documentos consultados sobre modelos de gestão.....	64
Quadro 14. Temáticas de pesquisa identificadas.....	68
Quadro 15. ITRs Contribuem para uma economia mais verde	69
Quadro 16. Potencial para a reciclagem e para a economia circular.....	71
Quadro 17. Consequências ambientais negativas.....	72
Quadro 18. Riscos Sociais.....	73
Quadro 19. Riscos de fornecimento e incertezas.....	74
Quadro 20. Falta de dados atualizados	74
Quadro 21. Visão geral dos critérios e subcritérios.....	76
Quadro 22. Avaliação dos fatores específicos.....	88
Quadro 23. Fases para a gestão da sustentabilidade.....	95
Quadro 24. Práticas selecionadas	97
Quadro 25. Respostas detalhadas.	98
Quadro 26. Quadro de práticas.....	103
Quadro 27. Níveis de implementação.....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Reservas mundiais de ETR.....	28
Tabela 2. Elementos na produção de óxidos de TR a partir do resíduo do Nióbio	36
Tabela 3. Classificação dos materiais utilizados na transformação de óxido de didímio até o ímã pronto.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP - *ANALYTIC HIERARCHY PROCES*

CBMM – COMPANHIA BRASILEIRA DE METALURGIA E MINERAÇÃO

CO₂– DIÓXIDO DE CARBONO

DSR - *DESIGN SCIENCE RESEARCH*

Dy - disprósio

EESG – *ENVIRONMENTAL ECONOMIC SOCIAL AND GOVERNANCE*

ESG - *ENVIRONMENTAL SOCIAL AND GOVERNANCE*

ETR – ELEMENTOS DE TERRAS RARAS

ETR-BR - ELEMENTOS DE TERRAS RARAS NO BRASIL

Eu - EURÓPIO

Fe - FERRO

FeB – FERRO BORO

FeDy – FERRO DISPRÓSIO

GWP - *GLOBAL WARMING POTENTIAL*

ITR – ÍMÃS DE TERRAS RARAS

LABFAB – LABORATÓRIO FÁBRICA

Nd – NEODÍMIO

NdFeB – NEODÍMIO FERRO BORO

ODM – OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO DO MILÊNIO

ODS - OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS

OTR – ÓXIDOS DE TERRAS RARAS

PDCA *PLAN DO CHECK ACT*

PrNd – PRASEODÍMIO NEODÍMIO

RSC – RESPONSABILIDADE SOCIAL CORPORATIVA

SmCo – SAMÁRIO COBALTO

Tb - TÉRBIO

TBL – *TRIPLE BOTTON LINE*

TQM – *TOTAL QUALITY MANAGEMENT*

TR – TERRAS RARAS

Y- ÍTRIO

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	15
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo Geral.....	18
1.2.2	Objetivos Específicos	18
1.3	JUSTIFICATIVA	19
1.3.1	Relevância do tema	19
1.3.2	Lacunas do conhecimento	21
1.4	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	23
1.5	ESTRUTURA DA TESE	24
2	REFERENCIAL TEÓRICO	26
2.1	PANORAMA SOBRE ETR E ITR NO ÂMBITO INTERNACIONAL E NACIONAL	26
2.1.1	Elementos de Terras Raras.....	26
2.1.2	Ímãs de Terras Raras	29
2.1.3	Sistema produtivo de ímãs do tipo NdFeB	33
2.1.3.1	<i>Da mineração até a obtenção dos óxidos.....</i>	34
2.1.3.2	<i>Redução dos óxidos</i>	37
2.1.3.3	<i>Fabricação da Liga</i>	39
2.1.3.4	<i>Fabricação do Ímã</i>	40
2.1.4	Considerações sobre os impactos negativos da produção de ETR e ITR.....	44
2.2	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	45
2.3	GESTÃO DA SUSTENTABILIDADE	49
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	56
3.1	ETAPAS DA PESQUISA	57

3.1.1	Etapa 1: Delineamento de como o panorama atual da produção de ITR contribui, e pode contribuir, com o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável	57
3.1.2	Etapa 2: Definição as práticas prioritárias para a sustentabilidade da produção de ITR.....	59
3.1.2.1	<i>Definição da hierarquia</i>	59
3.1.2.2	<i>Julgamentos paritários</i>	61
3.1.2.3	<i>Síntese.....</i>	62
3.1.3	Etapa 3: Definição os passos para a gestão da sustentabilidade na produção de ITR	64
3.1.4	Etapa 4: Verificação de consistência do modelo proposto	65
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	67
4.1	ÍMÃS DE TERRAS RARAS E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	67
4.2	OBTENÇÃO DO CONJUNTO DE PRÁTICAS DA SUSTENTABILIDADE...	75
4.2.1	Hierarquia dos componentes de avaliação	75
4.2.1.1	<i>Ambiental.....</i>	78
4.2.1.1.1	Uso de materiais	78
4.2.1.1.2	Emissões gasosas, Efluentes líquidos e Resíduos sólidos:	79
4.2.1.1.3	Uso e fim de vida do produto	81
4.2.1.2	<i>Social</i>	82
4.2.1.2.1	Saúde e segurança.....	82
4.2.1.2.2	Desenvolvimento dos funcionários e da comunidade	84
4.2.1.2.3	Relações de trabalho	85
4.2.1.3	<i>Governança.....</i>	85
4.2.1.3.1	Gestão da cadeia	86
4.2.1.3.2	Transparência:.....	86
4.2.1.3.3	Envolvimento dos <i>Stakeholders</i>	87

4.2.2	Julgamentos paritários e obtenção da matriz de julgamento.....	87
4.2.3	Síntese dos resultados.....	90
4.3	OBTENÇÃO DO MÉTODO DE APLICAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO ..	95
4.4	consistência DO MODELO PROPOSTO	96
4.5	MODELO DE GESTÃO DA SUSTENTABILIDADE.....	101
4.5.1	Conjunto de Práticas da Sustentabilidade	102
4.5.2	Método de Aplicação do Modelo de Gestão da Sustentabilidade.....	105
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	114
5.1	Contribuições.....	114
5.2	LIMITAÇÕES	116
5.3	DIRECIONAMENTO PARA TRABALHOS FUTUROS	116
	REFERÊNCIAS	118
	APÊNDICE A – Portfólio bibliográfico.....	127
	APÊNDICE B - Questionário	129
	APÊNDICE C – Ficha de avaliação do modelo	139

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada a contextualização do tema de pesquisa, os objetivos do estudo, a justificativa pela escolha do tema, a delimitação da pesquisa e a estrutura da tese de doutorado.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Ímãs permanentes à base de Elementos de Terras Raras (ETR) têm uma vasta gama de aplicação e surgiram no mercado na década de 60 com a utilização de ligas de samário e cobalto (Sm-Co), apresentando melhor desempenho que os então ímãs permanentes Alnicos, Ferrites e de Aço (GUTFLEISCH et al., 2011).

Uma grande evolução tecnológica aconteceu no início da década de 1980, com a descoberta de ímãs permanentes com base no composto tetragonal Neodímio – Ferro – Boro (NdFeB), anunciada tanto pela Corporação Sumitomo, no Japão, quanto pela General Motors, nos Estados Unidos (HARRIS; JEWELL, 2012; SAGAWA et al., 1984). As pesquisas e desenvolvimentos envolvendo Ímãs de Terras Raras (ITR) com base na liga NdFeB se intensificaram devido à utilização destes componentes em automóveis elétricos, geradores eólicos de alta eficiência e motores elétricos de alto rendimento, que requerem propriedades magnéticas otimizadas, como elevado produto-energia máximo, coercividade e remanência (DUTTA et al., 2016).

De acordo com Dong et al. (2017), existem em torno de 250 empresas que produzem ITR e em 2015, a China produziu aproximadamente 126.300 toneladas de ímãs de NdFeB, o que corresponde a 90% da produção mundial. A previsão de demanda de ITR do tipo NdFeB para 2030 é de aproximadamente 200.000 toneladas (Goto, 2021). Este cenário crescente do mercado de ITR despertou interesses do Brasil, já que no país existem depósitos não explorados de ETR's. De acordo com o relatório U.S. Geological Survey (2018) o Brasil ocupa junto com o Vietnã a segunda posição de maior reserva de Terras Raras no mundo.

A ação denominada Elementos de Terras Raras no Brasil (ETR-BR) está sendo desenvolvida com o intuito de estruturar a cadeia produtiva de Terras Raras no país por meio da integração entre ministérios, agências de fomento, Universidades, Institutos de Ciência e Tecnologia e Empresas Industriais. O objetivo é que até 2030 o país seja autossuficiente e tenha se inserido, de forma competitiva, no mercado internacional de terras raras (CGEE, 2013).

Dentre as iniciativas da ação ETR-BR encontra-se o projeto intitulado “Processamento e Aplicações de Ímãs de Terras Raras para Indústria de Alta Tecnologia (PATRIA)”, de 2014, realizado em parceria com o programa “Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia” (INCT) que visa apoiar o desenvolvimento da cadeia produtiva de ITR no país, por meio de fomentos às universidades e institutos de pesquisa. Assim como o projeto *Rare Earth Global Industry and New Applications* (REGINA), por meio do edital CLIENT II, que em conjunto com a Alemanha, fomenta pesquisas para a obtenção de processos produtivo de ITR eco-eficientes visando a obtenção de "ímãs verdes", ou seja, com menor impacto ambiental comparado aos ímãs no mercado atualmente. A presente pesquisa faz parte de ambos projetos citados.

Além disso, outra iniciativa da ação ETR-BR com grande relevância é a implementação da primeira fábrica de ITR da América Latina, em Lagoa Santa, Minas Gerais. Este empreendimento, denominado LabFab, possui um diferencial no seu modelo de negócios, foi projetado para ser flexível suficiente para desenvolver novas tecnologias de fabricação, estimulando novas demanda e constituindo-se em uma base de conhecimento científico, tecnológico e de inovação, com vistas a apoiar a implementação de uma cadeia produtiva de ITR no Brasil. Com o intuito de ser referência no Brasil e no mercado internacional, o LabFab deve considerar como prioritário as diretrizes da sustentabilidade como um diferencial competitivo frente à forte e altamente competitiva economia chinesa.

Os ITRs são fundamentais para a geração de energias verdes (APERGIS; APERGIS, 2017), e para a eletrificação do uso de energia, ou seja, para a transição de motores a combustão para motores elétricos. Desta forma, os ITRs contribuem diretamente com o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 7: “*Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos*” (NU, 2021), e o ODS número 12 “*Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis*”. Porém, a produção de ETR, principal matéria prima para os ITR, causa grandes impactos ambientais (WENG et al., 2016), nos processos de extração e beneficiamento das matérias-primas, uma vez que, são utilizados componentes químicos altamente nocivos ao meio ambiente, como o ácido sulfúrico e ácido clorídrico (THARUMARAJAH; KOLTUN, 2011). Além disso, dependendo da fonte de matérias-primas, durante sua extração, podem ser gerados coprodutos radioativos, como Tório e Urânio (WENG et al., 2016).

Apesar disso, as pesquisas envolvendo os aspectos da sustentabilidade na cadeia produtiva de ITR ainda são limitadas e focam na sua maioria na identificação dos impactos ambientais da produção de ímãs (SPRECHER et al., 2014; JIN et al., 2016; WULF, et al.,

2017a). Atualmente, nenhum documento ou estudo aponta práticas consolidadas de sustentabilidade no setor de ITR.

Diante deste cenário, um grupo da “*Technische Hochschule Georg Agricola*” de Bochum, participante do projeto REGINA, realizou uma pesquisa intitulada “*The green magnet*” aplicada em 2019, e nela foi comprovado que as indústrias de máquinas e equipamentos que utilizam ITRs em seus produtos têm interesse em ter um fornecimento seguro de fonte mais sustentável (DRUSCHE; KRAUSE; NISKI, 2019). Porém, neste estudo não foram apontados os caminhos para a sustentabilidade.

Esta tendência de criação de cadeias de suprimentos comprometidos com a sustentabilidade vem aumentando nos últimos anos, inclusive, estudos apontam que empresas comprometidas com a sustentabilidade são mais lucrativas e apresentam menores riscos de desvalorização causada por envolvimento em escândalos ou multas ambientais e trabalhistas. Contudo, para que o Brasil seja capaz de fornecer ímãs sustentáveis, as seguintes questões devem ser respondidas:

- (1) Que ações devem ser implementadas no sistema de produção de ITR no LabFab?
- e;
- (2) Como gerenciar estas ações de modo a introduzi-las nos processos diários da empresa?

1.2 OBJETIVOS

Tendo como temática a sustentabilidade na produção de ITR, são apresentados os seguintes objetivos:

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é desenvolver um modelo baseado em práticas Ambientais, Sociais e de Governança (ESG) capaz de apoiar a gestão da sustentabilidade no Laboratório Fabrica de Ímãs de Terras Raras (LabFab).

1.2.2 Objetivos Específicos

A fim de atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram articulados e desenvolvidos:

- Sistematizar o conhecimento acerca da produção de ITR e relacioná-lo aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável;
- Definir as práticas de sustentabilidade ESG prioritárias para a produção de ITR no LabFab;
- Propor etapas a serem desenvolvidas durante o processo de implementação da sustentabilidade no LabFab;
- Propor um modelo de gestão da sustentabilidade e verificar sua aplicabilidade.

1.3 JUSTIFICATIVA

1.3.1 Relevância do tema

O desenvolvimento da cadeia produtiva de ETR e ITR no Brasil tem importância estratégica para o crescimento econômico do país, uma vez que os ETR são considerados materiais críticos para a transição para uma matriz energética limpa, e a demanda por estes materiais vêm aumentando em todo o mundo (ZHOU; LI; CHEN, 2017).

A mineração e a metalurgia são atividades tradicionalmente relevantes para a economia brasileira. De acordo com o relatório mais recente desenvolvido pela Agência Nacional de Mineração, as principais substâncias metálicas produzidas no país são alumínio, cobre, cromo, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel, ouro, vanádio e zinco, cujo valor total de comercialização em 2017 foi de 88,5 bilhões de reais (ANM, 2019).

Neste contexto, a mineração de ETR e a produção de componentes de alto valor agregado têm grande potencial de contribuir economicamente com o desenvolvimento do país. Em valores médios, uma tonelada de monazita tem valor de mercado de 500 dólares, esta quantidade de monazita supre a quantidade de ETR para a produção de 260 kg de ITR, os quais correspondem ao valor de mercado de 21.000,00 dólares. Atualmente uma mineradora está sendo instalada em Minaçú, Goiás, e terá capacidade produtiva de 7 mil toneladas por ano de concentrado de terra raras, equivalentes a cerca de 5% da demanda mundial (CONEXÃO MINERAL, 2020).

Apesar dos benefícios econômicos e tecnológicos, a produção de ETRs pode gerar riscos ambientais e sociais (ALI, 2014, 2014; SCHLOER et al., 2017) devido a possibilidade de liberação de elementos radioativos e o uso intensivo de ácidos. Portanto, é preciso haver o comprometimento com a sustentabilidade para que seja possível ofertar um produto confiável e que transmita transparência para os clientes, possibilitando assim o acesso a mercados mais exigentes.

O comprometimento empresarial com a sustentabilidade é pré-requisito para acordos comerciais com países da União Europeia (CE, 2019), além disso, investidores têm buscado empresas sustentáveis, uma vez que estas têm menor risco de queda abrupta no valor das ações por perda de reputação envolvendo a marca ou acidentes ambientais (REBECOSAM, 2018).

As considerações de sustentabilidade na mineração são bastante complexas, historicamente, a mineração é apontada como causadora de degradação ambiental, de aumento

de risco de problemas de saúde, motivando deslocamento de populações, agravando desigualdades econômicas e sociais, além de casos de conflitos armados, evasão fiscal e corrupção (UNDP, 2016). Porém, se bem gerida, pode criar empregos, estimular a inovação e trazer investimentos e infraestrutura em uma escala de mudanças de longo prazo (UNDP, 2016; SAUER; SEURING, 2017).

Mediante a integração das considerações de sustentabilidade em toda a cadeia de valor, as empresas podem proteger e criar valor para elas próprias, por exemplo, aumentando as vendas, desenvolvendo novos segmentos de mercado, fortalecendo a marca, melhorando a eficiência operacional, estimulando a inovação do produto e reduzindo a rotatividade de funcionários (CEBDS, 2015). No âmbito industrial, o termo sustentabilidade considera a produção de insumos a partir de processos que minimizem os impactos ambientais negativos na natureza, conservando energia e recursos, sendo seguro para os trabalhadores e consumidores além de economicamente viável (THE US DEPARTMENT OF COMMERCE, 2016).

De acordo com o estudo “*Ferramentas de Gestão para a Sustentabilidade: Cinco Grandes Desafios*”, apresentado pelo Observatório de Tendências em Sustentabilidade, OTS (2015), e contando com a colaboração de importantes profissionais da área da sustentabilidade como John Elkington (criador do termo tripé da sustentabilidade), é necessário analisar as especificidades de cada negócio para que as ações de sustentabilidade sejam efetivas. Portanto, não se deve utilizar “receitas prontas”, o que é efetivo para uma empresa ou setor, pode simplesmente não ser aplicável a outra, deve-se então levar em conta as prioridades do negócio, a cultura, as necessidades dos *stakeholders* e os desafios específicos do negócio.

Tais fatos evidenciam a necessidade de uma maior exploração científica das relações da sustentabilidade na produção de ITR, assim como das relações entre a estratégia de sustentabilidade corporativa e sua implementação e transformação em rotina de gestão. Portanto, evidencia-se a necessidade da proposição de um modelo para a gestão da sustentabilidade no LabFab.

1.3.2 Lacunas do conhecimento

Esta pesquisa visa preencher duas lacunas: uma relacionada às práticas de sustentabilidade na indústria de ITR e outra relacionada à gestão da sustentabilidade neste setor.

No artigo intitulado “*Achieving Sustainable Development Goals in Rare Earth Magnets production: A review on state of the art and SWOT analysis*” (BONFANTE et al., 2021), desenvolvido ao longo desta tese, constatou-se que apesar dos ITRs serem componentes essenciais em motores elétricos e turbinas eólicas de alta eficiência, a sustentabilidade da sua produção não tem sido discutida de forma abrangente, constatou-se que a literatura sobre esse tópico é fragmentada, onde a maior parte da literatura existente foca na quantificação dos impactos ambientais, utilizando a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) como ferramenta de análise (NLEBEDIM; KING, 2018; JIN et al., 2018a). Apenas os trabalhos de Holger et al. (2017) e Wulf et al. (2017) abordam o aspecto social da sustentabilidade na indústria de ITR.

Apesar disso, existem documentos que relacionam a sustentabilidade e o setor de metais, por exemplo, o Plano Nacional da Mineração guia as políticas de médio e longo prazo para que o setor mineral colabore com o desenvolvimento sustentável do Brasil nos próximos 20 anos (MME, 2011). Este documento aborda os desafios para a sustentabilidade do setor mineral, tais como: saúde e segurança ocupacional, mineração em áreas com restrições legais, mineração na Amazônia, mudanças climáticas, produção sustentável, reciclagem e fechamento de minas.

Outro documento importante para a sustentabilidade do setor de metais e metalurgia é o documento *Mapping Mining to the Development Goals: An Atlas*, onde são expostos os principais impactos e as principais oportunidades para que este setor colabore com o alcance dos ODS (UNDP, 2016).

Outra referência para o setor de mineração e metais foi desenvolvida pela *Global Reporting Initiative* (GRI). Trata-se de um guia setorial para confecção de relatórios de sustentabilidade, baseado nos ODS e considerando as especificidades das empresas de mineração e metal (GRI, 2013). Atualmente o padrão GRI para relatórios de sustentabilidade é considerado o mais utilizado, ou seja, é a ferramenta mais usual de avaliação de desempenho ambiental e sustentabilidade (RÖNNLUND et al., 2016).

Além disso, o relatório Usos e Aplicações de Terras Raras no Brasil: 2012-2030, (CGEE, 2013), que mapeia o potencial de exploração de ETR no Brasil, afirma que estes recursos minerais no Brasil deverão ser explorados de forma sustentável. De acordo com este

relatório, para a visão de futuro da cadeia produtiva de ITRs, considerando o horizonte de 2030, deve-se integrar, a montante, a produção de ETRs de origem nacional e a jusante o desenvolvimento de aplicações destes ímãs, sempre obedecendo aos preceitos de sustentabilidade” (CGEE, 2013).

Porém, apesar de suas relevâncias, os documentos citados acima oferecem informações e diretrizes gerais, não apresentando de forma prática como a gestão da sustentabilidade deve ser conduzida neste setor. É importante ressaltar que são necessárias ferramentas de gestão e controle para que as empresas sejam capazes de atingir os objetivos de sustentabilidade ((WINTER; KNEMEYER, 2013).

Em se tratando de diretrizes para a gestão, diversas séries de padrões relacionados à gestão do desenvolvimento sustentável foram desenvolvidos, por exemplo, a SA 8000 que trata de questões de responsabilidade social, incluindo direitos humanos e trabalhistas, a AA 1000 que trata sobre padrões de engajamento de *stakeholders*, as diretrizes ISO 19011 para auditoria de gestão ambiental e de qualidade, o padrão ISO 50001 para gerenciamento de energia, a ISO 14001 sobre gestão ambiental, a ISO 26000 sobre responsabilidade social, entre outras. Porém, nenhum destes apresenta detalhes ou dá suporte à implementação da sustentabilidade de forma prática e integrada.

Dentre os trabalhos acadêmicos, diversos autores se dedicaram a criar modelos de gestão da sustentabilidade (AZAPAGIC, 2003; ASIF et al., 2011; BASTAS e LIYANAGE, 2019). Alguns deles tiveram como ponto de partida a gestão da qualidade, outros utilizaram os conceitos de excelência empresarial, e modelos de gestão integrada.

Porém, Stindt (2017) reforça a falta de uma síntese de conceitos e métodos para implementar a sustentabilidade em ambientes corporativos, ele enfatiza a necessidade de tal síntese para transformar o paradigma da sustentabilidade em práticas industriais. Correia et al. (2017) afirmam que os trabalhos acadêmicos muitas vezes não fornecem diretrizes detalhadas e ferramentas úteis para apoiar a adoção prática dos modelos desenvolvidos na academia. Para Engert e Baumgartner (2016) pouca atenção tem sido dada para a implementação da sustentabilidade corporativa, ou seja, para às medidas concretas necessárias para traduzir a estratégia de sustentabilidade em prática.

Além da literatura científica, a GRI, em parceria com o Pacto Global das Nações Unidas e Conselho de Negócios Mundiais para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD), apresentam um passo a passo para a gestão da sustentabilidade (CEBDS, 2015). Porém, apesar de alguns trabalhos serem bastante detalhados e completos, como os apresentados por Azapagic

(2003), Asif e Searcy (2014) e CEBDS (2015), estes são modelos de gestão genéricos, que necessitariam de adaptações para serem utilizados no LabFab.

Outras iniciativas também relevantes são as de avaliação da sustentabilidade empresarial, como o índice *Dow Jones* de Sustentabilidade, o índice FTSE-4Good, e o índice *Business in the Community*, que avaliam a sustentabilidade, conectando o desempenho da sustentabilidade empresarial à segurança de investimentos na bolsa de valores. Mais recentemente foi criado também o Sistema B, que avalia e confere selos de sustentabilidade às empresas participantes. Porém, novamente, a gestão da sustentabilidade não é o foco de tais iniciativas.

A partir do exposto, observa-se que tais trabalhos, pesquisas e publicações carecem de uma ferramenta de apoio à gestão da sustentabilidade, abrangendo as especificidades do setor de ITR. Deste modo, o intuito desta tese de doutorado é preencher uma lacuna do conhecimento, resultando em um modelo de apoio à adoção da sustentabilidade na produção de ITR. Em particular, o foco será dado ao caso brasileiro, uma vez que a construção da primeira fábrica de ITR no Brasil está em andamento, tratando-se de uma questão estratégica para o desenvolvimento do setor no país.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O modelo de gestão da sustentabilidade proposto considera as especificidades da produção de ITR do tipo NdFeB, tendo como limitação o enfoque *midstream* da cadeia produtiva, ou seja, foi construído com a visão da empresa produtora de ITR, tendo as empresas de mineração e de fornecimento de matéria-prima processada, seja na forma de óxidos ou na forma reduzida ou mesmo como ligas, como fornecedores, e as empresas que utilizam ímãs para aplicações diversas como clientes. Apesar da etapa de mineração ser a maior responsável por impactos ambientais e sociais, esta não é o objeto deste estudo.

O conjunto de práticas da sustentabilidade, contido no modelo, foi construído englobando aspectos ambientais, sociais e de governança (ESG- *Environmental, Social and Corporate Governance*). A sigla ESG vem sendo utilizada no ambiente corporativo nos últimos anos para designar ações em prol da sustentabilidade. Apesar da definição de tripé da sustentabilidade, cunhada por John Elkington, considerar os âmbitos social, ambiental e econômico, a designação ESG não considera o âmbito econômico. Existe uma tendência para que as ações ESG sejam complementadas por ações econômicas, (EESG - econômico,

ambiental, social e governança), porém, as práticas desenvolvidas nesta tese não tratam de ações econômicas.

Além disso, este conjunto de práticas foi construído com forte envolvimento dos *stakeholders*, especialistas e tomadores de decisão da cadeia de ITR no Brasil, porém, este não é um conjunto definitivo de práticas para este setor, elas devem ser consideradas como variáveis ao longo do tempo, ou seja, devem ser constantemente revisadas considerando o contexto em que a indústria se insere em dado momento.

Ademais, para cada prática proposta não foram realizadas considerações relacionadas a valores de referência, ou seja, não foram indicados quais padrões são considerados “bons ou ruins”. Para tanto, seria necessário o desenvolvimento de um *benchmarking* da indústria atual de ITR, o que está fora do escopo desta tese.

Por fim, o modelo proposto teve a sua consistência avaliada no LabFab, no Brasil, que atualmente encontra-se em implementação.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está organizada em quatro capítulos, sendo que no primeiro é apresentada esta introdução que contém a contextualização do tema, os objetivos e justificativas da pesquisa. No segundo capítulo é apresentado o referencial teórico, abrangendo os temas de interesse deste trabalho, sendo eles: tópico 2.1) composto pelo panorama internacional e nacional sobre Elementos de Terras Raras e Ímãs de Terras Raras, em que são apresentadas suas definições, bem como suas aplicações, sistema produtivo e considerações sobre a sustentabilidade deste setor; tópico 2.2) compreendido pelo histórico e definições do Desenvolvimento Sustentável, relacionando-o com o setor produtivo; tópico 2.3) composto por uma revisão literária apontando as principais características, componentes e etapas dos modelos de gestão da sustentabilidade empresarial.

No terceiro capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento dessa pesquisa divididos em quatro etapas. Em cada etapa são apresentados os objetivos e o detalhamento dos métodos ou técnicas empregados. No quarto capítulo são apresentados os resultados e discussões, compreendidos pelos seguintes tópicos: 4.1) composto pela apresentação da contribuição dos ITR para o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável; 4.2) que apresenta a obtenção do conjunto de práticas da sustentabilidade para o LabFab, 4.3) que fundamenta a escolha dos passos do método de aplicação do modelo, 4.4) em

que é apresentada a execução da etapa de verificação de consistência do modelo proposto e 4.5) que descreve a versão final do modelo de gestão da sustentabilidade.

Finalmente, no quinto capítulo são apresentadas as considerações finais, as limitações da pesquisa, bem como as sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os conceitos fundamentais sobre Elementos de Terras Raras, Ímãs de Terras Raras, e sustentabilidade, compondo o referencial teórico utilizado para o desenvolvimento desta tese. Para tanto, foram realizadas revisões bibliográficas exploratórias e sistemáticas. O detalhamento metodológico da condução destas revisões é exposto no terceiro capítulo.

2.1 PANORAMA SOBRE ETR E ITR NO ÂMBITO INTERNACIONAL E NACIONAL

2.1.1 Elementos de Terras Raras

Os ETR são 17 elementos químicos, sendo 15 lantanídeos mais o escândio e o ítrio. Os 15 lantanídeos são: lantânio, cério, praseodímio, neodímio, promécio, samário, európio, gadolínio, térbio, disprósio, hólmio, érbio, túlio, itérbio e lutécio, conforme definido pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) (Figura 1). Os ETR possuem diversas aplicações tecnológicas, devido às suas propriedades magnéticas, fosforescentes e catalíticas exclusivas (BALARAM, 2019). De acordo com o relatório *Critical Material Strategy*, desenvolvido pelo U.S Department of Energy, cinco dos 17 ETR são considerados críticos, sendo eles o disprósio (Dy), o neodímio (Nd), o ítrio (Y), o európio (Eu), e o térbio (Tb) (USDE, 2011).

Figura 1. 17 ETR dispostos na tabela periódica.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
		Sc											Y																																																																																																								
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																																																																																					

Fonte: Loyall (2019).

De acordo com o Plano Nacional de Mineração (PNM) (2010), o motivo pelo qual os ETR são considerados críticos se deve ao fato de que sua demanda aumentará nos próximos

anos em virtude de sua aplicação em produtos de alta tecnologia, eles são também denominados materiais “portadores do futuro”. Os usos e aplicações dos ETR concentram-se em áreas de alta tecnologia e até o momento não são conhecidos substitutos que proporcionem as mesmas propriedades e desempenho (CGEE, 2013), mesmo que estudos já estejam sendo conduzidos para a que haja a substituição de ETRs pesados, por leves (BALARAM, 2019).

Alguns exemplos de aplicações de ETR são dispositivos como memória de computador, DVDs, baterias recarregáveis, ímãs miniaturizados, telefones celulares, iluminação LED, supercondutores, aditivos para vidro, materiais fluorescentes, painéis solares, catalisadores para refino de petróleo, monitores de LCD e equipamentos de ressonância magnética (CGEE) (BALARAM, 2019). A aplicação de ETRs proporciona vantagens tecnológicas, pois mesmo com menor consumo de energia, é possível obter maiores eficiências, miniaturização, velocidade, durabilidade e estabilidade térmica (BALARAM, 2019).

Estes dispositivos que utilizam ETR são considerados fundamentais para a transformação energética, por exemplo, os ímãs permanentes são usados em turbinas eólicas e veículos elétricos; as baterias recarregáveis são utilizadas em veículos elétricos, os filmes-finos, são usados em sistemas de energia fotovoltaica, e os fósforos luminescentes são utilizados em sistemas de iluminação mais eficientes (CGEE, 2013).

Diferentemente de metais como o ouro, o cobre e a prata, os ETRs não existem na natureza em estado puro, eles são encontrados em minerais como a bastnasita, a monazita, a loparita, e as argilas de adsorção iônica (BALARAM, 2019). Apesar dos ETR serem abundantes na crosta da terra, eles são raramente encontrados em alta concentração ou em concentrações consideradas viáveis para mineração (RIDDLE et al., 2015) (BALARAM, 2019).

Os depósitos de ETR estão distribuídos em diversos países, como China, Austrália, Canadá, Estados Unidos, Índia, Malásia, Rússia e Brasil (Tabela 1). A China, que possui um terço das reservas de ETR no mundo, é a líder mundial em exploração e produção destes produtos há mais de 20 anos.

Desde a década de 50 até a década de 90, os Estados Unidos dominaram o mercado global de ETR, porém, as mineradoras começaram a enfrentar problemas de competitividade com a China e acabaram interrompendo as atividades. De acordo com Ali (2014), a mineradora Mountain Pass, na Califórnia, também enfrentou problemas ambientais, o que levou ao seu fechamento.

Tabela 1. Reservas mundiais de ETR.

País	Reservas em toneladas (em termos de óxidos de TR)	% Porção
China	44.000.000	33,33
Brasil	22.000.000	16,67
Vietnã	22.000.000	16,67
Rússia	18.000.000	13,64
Índia	6.900.00	5,23
Austrália	3.400.000	2,56
Groenlândia	1.500.000	1,14
Estados Unidos	1.400.000	1,06
África do Sul	860.000	0,65
Canadá	830.000	0,63
Malawi	140.000	0,11
Malásia	30.000	0,02
Reservas Mundiais	132.000.000	-

Fonte: Traduzido de U. S. Geological Survey (2018).

Até o início dos anos 2000 a China produzia pequenas quantidades de ETR, porém, rapidamente ela se tornou a principal produtora do mundo, principalmente devido a sua competitividade de custos operacionais (MANCHERI et al., 2019), resultante da estratégia de poucas regulamentações ambientais, isenção de impostos, mão-de-obra barata, e também do desenvolvimento de capital intelectual para dominar a tecnologia (BARAKOS; MISCHO; GUTZMER, 2016). Atualmente a China controla a indústria global de ETR, desde a mineração até a produção dos principais produtos (MANCHERI et al., 2019).

Em 2006 a China estabeleceu restrições de exportação de ETR, o que fez com que os preços aumentassem. O motivo da imposição destas cotas é geralmente citado como um meio de garantir o fornecimento de ETR para a indústria nacional Chinesa, também é citado como uma solução para restringir a mineração ilegal e proteger o meio ambiente, e ainda incentivar a consolidação tecnológica nacional, exportando de produtos de alto valor agregado, em vez de minério (MANCHERI et al., 2019).

No início de 2020 a China anunciou o aumento das cotas de produção de ETR em 10% em relação a 2019, com o objetivo de aumentar a produção depois que o surto do Coronavírus interrompeu a atividade no setor (ZHANG; DALY, 2020). Cabe ressaltar que os preços de ETR são diretamente dependentes das decisões Chinesas, e extremamente voláteis (RIDDLE et al., 2015) (MANCHERI et al., 2019). Esta volatilidade e incerteza têm feito com que os países consumidores busquem novas alternativas de suprimento (CGEE), como a exploração mineral em outros países, ou extração de ETR por reciclagem, ou até a mineração em alto mar (BALARAM, 2019).

Conforme apresentado na Tabela 1, o Brasil possui 16,67% das reservas de ETR do mundo, em que o principal mineral de terras raras é a monazita, tendo uma composição de 4% no minério, porém, atualmente estas reservas não são exploradas, e o país é totalmente dependente da importação de produtos de ETR (CGEE). Em 2010, foi criado no país o Grupo de Trabalho Interministerial sobre Minerais Estratégicos, envolvendo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e o Ministério das Minas e Energia (MME), com o objetivo de direcionar políticas públicas voltadas para as cadeias produtivas de aplicações de ETRs. De acordo com o Plano Nacional da Mineração, a estratégia no Brasil deve ir além da produção de ETR, com programas de projeto, desenvolvimento e inovação entre governo e o setor privado para o desenvolvimento de processos e produtos de alto valor agregado.

Desde então, diversas instituições vêm desenvolvendo pesquisas. A CBMM (Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração), por exemplo, vem pesquisando e testando a obtenção de óxidos de TR a partir do rejeito da produção de Nióbio.

Além disso, em janeiro de 2020 a mineradora Serra Verde inaugurou suas atividades em Minaçu (GO) e anunciou o projeto para a produção de ETR utilizando sal e água para a exploração das terras raras, tendo a vantagem de não gerar barragens de rejeitos nem utilizar ácidos prejudiciais ao meio ambiente (CONEXÃO MINERAL, 2021). Outra ação é a inauguração da primeira fábrica de ITR no país, que está sendo construída em Lagoa Santa, (MG), com previsão de inauguração ainda em 2021.

Apesar dos benefícios tecnológicos, alguns fatores tornam a mineração de ETRs extremamente danosa ao meio ambiente. Nas etapas de mineração, concentração e separação, os impactos são principalmente causados pelo consumo de ácidos e pela liberação de rejeitos radioativos (Urânio e Tório) que podem causar contaminação do ar, da água e do solo (THARUMARAJAH; KOLTUN, 2011; BALARAM, 2019). A seção 2.1.3 apresentará mais detalhes acerca dos impactos negativos da produção de ETR.

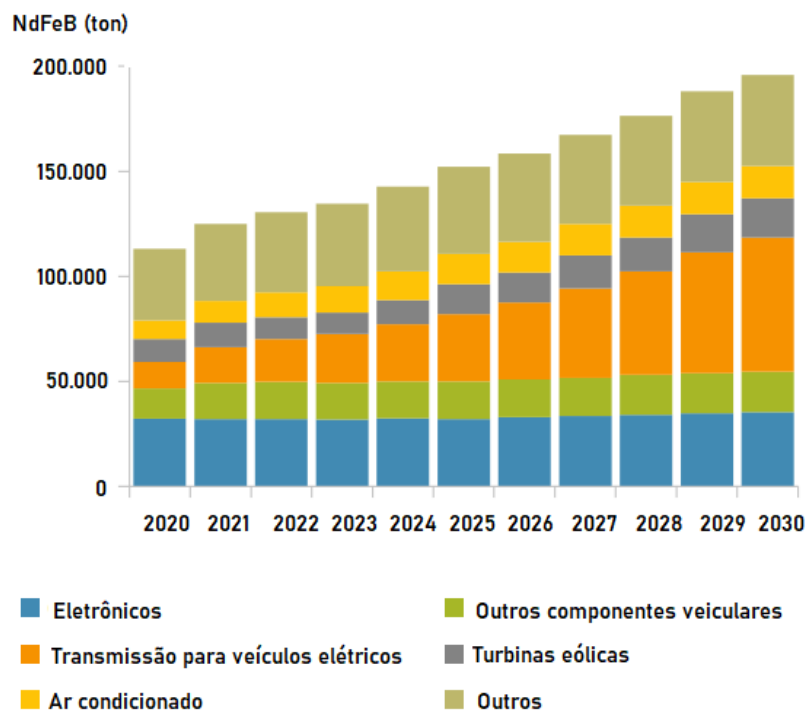
2.1.2 Ímãs de Terras Raras

Os materiais magnéticos permanentes, ou ímãs de alto produto-energia são compostos intermetálicos capazes de manter o campo magnético continuamente, sem a necessidade de consumo de energia elétrica, dentre eles, os do tipo SmCo e NdFeB são os mais explorados comercialmente.

Os ITR do tipo NdFeB são os ímãs permanentes com maior desempenho magnético, e desde a sua descoberta, na década de 80, vêm apresentando uma crescente participação no mercado (DENT, 2012). O elemento Nd representa aproximadamente 30% do peso de um ímã de NdFeB, e menores quantidades do elemento Dy são utilizadas para garantir a estabilidade das propriedades magnéticas em altas temperaturas (RIDDLE et al., 2015).

O crescimento da demanda por ITR nos próximos anos será puxado principalmente devido sua importância em aplicações em turbinas eólicas e sistemas de transmissão para veículos elétricos (Goto, 2021) (Figura 2).

Figura 2. Previsão de demanda de NdFeB por aplicação.



Fonte: Traduzido e adaptado de Goto (2021).

Assim como na produção de ETR, a China também é líder na produção de ímãs de NdFeB, dominando aproximadamente 80% da produção mundial. A maioria da produção de ITR fora da China está localizada no Japão. Além disso, de acordo com (RIDDLE et al., 2015), a China também aumentou a sua produção de turbinas eólicas nos últimos anos, atualmente, quatro entre as dez maiores fabricantes de turbinas estão na China.

Os ímãs de NdFeB são na sua maioria produzidos pela técnica de metalurgia do pó, uma vez que as propriedades magnéticas são dependentes de um rigoroso controle da microestrutura. A cadeia produtiva destes ímãs passa por múltiplos passos, desde a produção das matérias primas e insumos até a montagem em equipamentos. As etapas envolvendo os

ETR começam na mineração e separação dos óxidos, seguida da redução destes óxidos em metais, passando pela produção da liga e pós de NdFeB, até a produção dos ímãs. Após a produção dos ímãs a cadeia ainda segue nas etapas de montagem dos ímãs nos equipamentos, distribuição, uso e descarte.

O plano do Brasil é estruturar toda esta cadeia, desde a mineração de ETR até a fabricação de ITR (INCT, 2021) Para isso, a ação ETR-BR vem integrando diversos *stakeholders* e ações de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação vêm sendo realizadas em sinergia com diversas instituições, envolvendo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), universidades (UFSC, UFMG, USP, UFRJ), Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (CERTI), Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM), e CODEMGE (Figura 3).

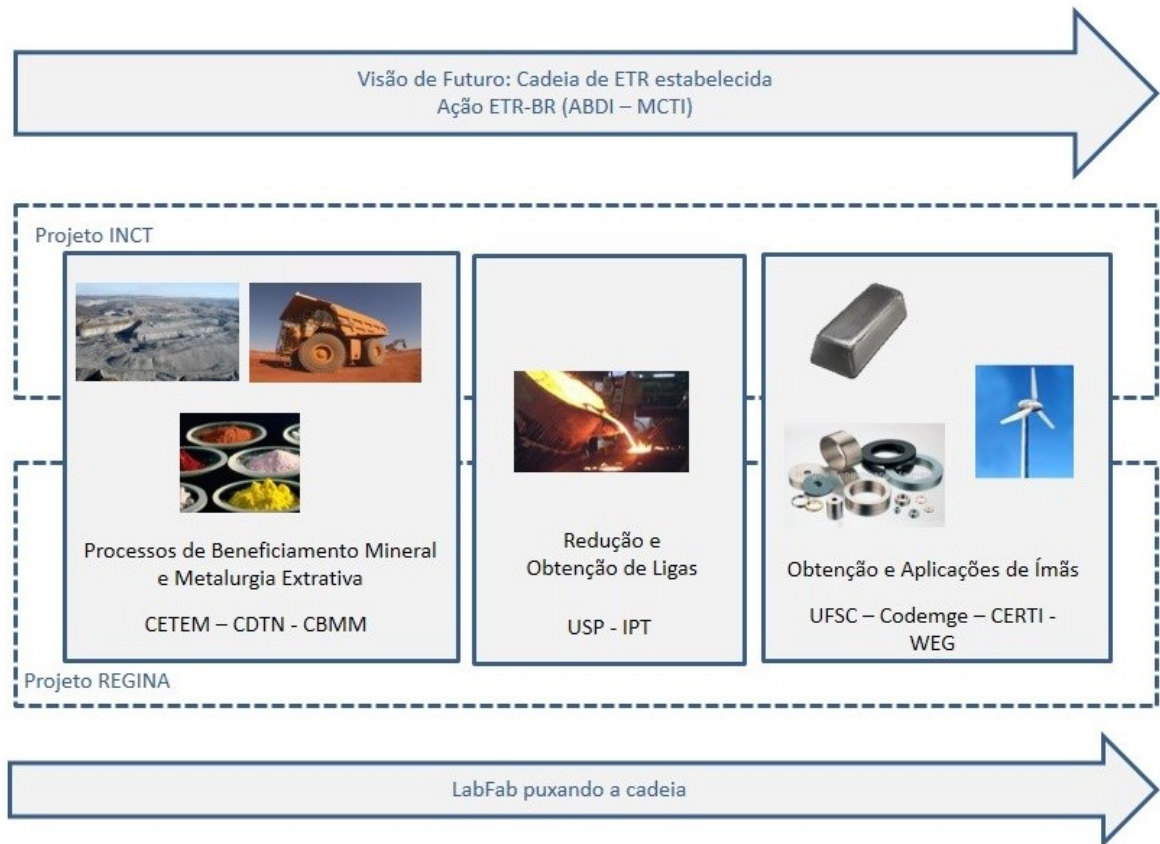
Atualmente, no centro do estabelecimento da cadeia produtiva encontra-se a construção do laboratório fábrica de ITR, o LabFab, sob a responsabilidade da Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE). A CODEMGE é uma empresa:

Estatual, integrante da Administração Pública Indireta do Estado de Minas Gerais, organizada sob a forma de sociedade por ações, tendo o Estado como único acionista” (CODEMGE, 2019), e “sua atuação está voltada para gerar novas oportunidades de investimentos, aumentar a competitividade de Minas e propiciar bons negócios para o setor produtivo mineiro (CODEMGE, 2019).

Dentre as diversas áreas de atuação, a CODEMGE desenvolve projetos e realiza investimentos no setor de mineração, em parceria com o setor privado, em busca de oportunidades que viabilizem novos empreendimentos em Minas Gerais (CODEMGE, 2019). Dentre tais projetos, o LabFab ITR, primeira fábrica de ITR do Brasil tem grande destaque (Figura 4).

O LabFab está sendo construído em Lagoa Santa, Minas Gerais. De acordo com o plano de negócios, o LabFab será capaz de produzir 100 ton por ano no sétimo ano de operação, o que corresponderá a aproximadamente 5% da demanda nacional de ITR, empregando 52 pessoas nas suas instalações.

Figura 3. Principais atores da Ação ETR-BR.



Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

Além disso, por ser a primeira fábrica de ITR instalada no país, visa fomentar toda a cadeia produtiva de ITR. Para tanto, o LabFab será também um núcleo de desenvolvimento de novas tecnologias de fabricação, estimulando novas demandas e constituindo-se em uma base de conhecimento científico, tecnológico e de inovação, com vistas a apoiar a implementação de uma cadeia produtiva de ITR no Brasil.

Tanto o LabFab quanto toda a cadeia de ITR no Brasil visam colocar a sustentabilidade no centro da sua estratégia, posicionando-se como referência no país e no mercado internacional. A produção de ITR mais sustentáveis do que os atualmente produzidos na China também trará benefícios de mercado como um diferencial competitivo.

Figura 4. a) Visita às instalações do LabFab realizada em maio de 2019 b) Fachada do LabFab em 2020.



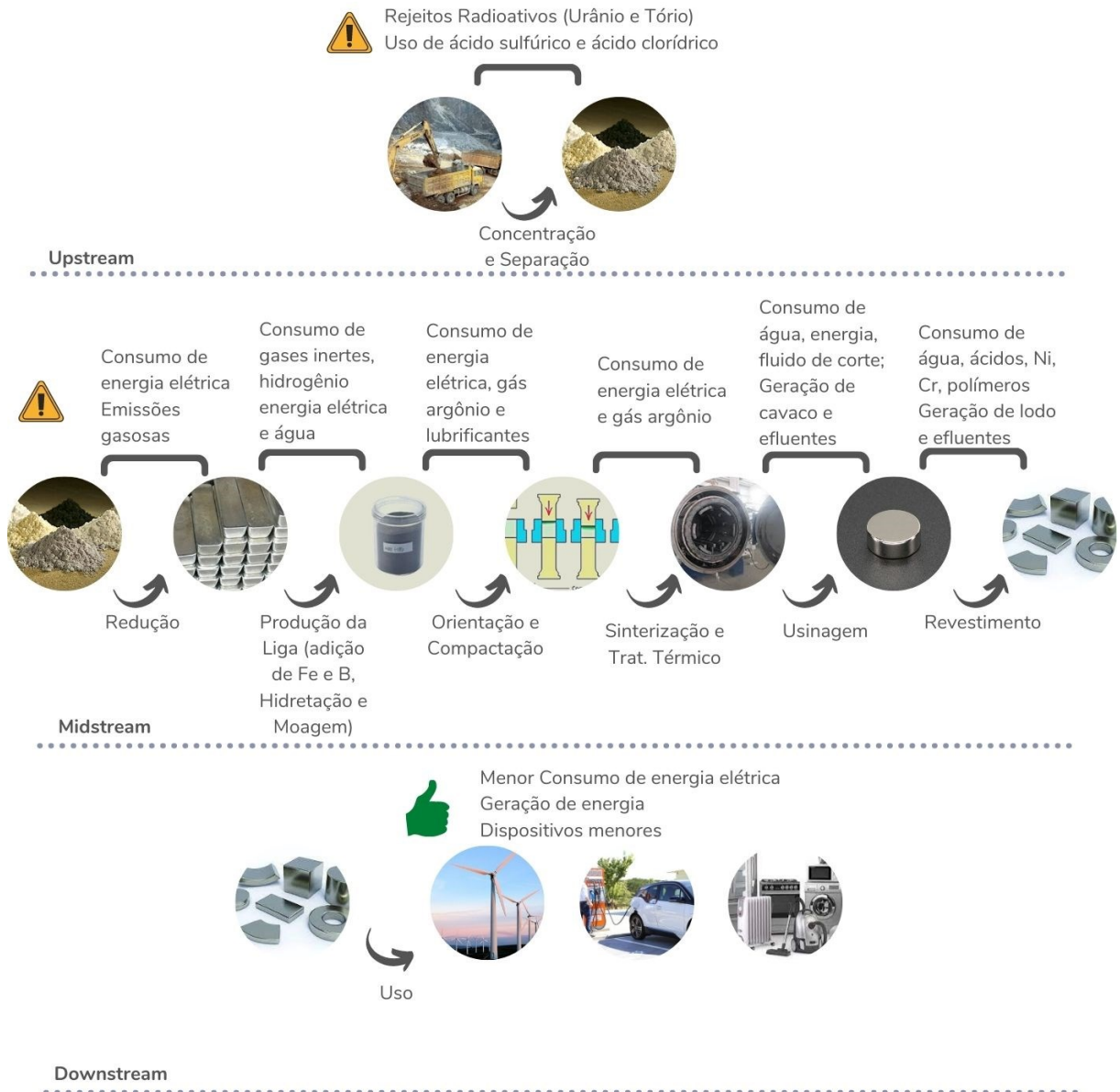
Fonte: Elaborado pela Autora (2019 e 2020).

2.1.3 Sistema produtivo de ímãs do tipo NdFeB

O objetivo desta seção é apresentar os processos, materiais envolvidos e considerações sobre a sustentabilidade na fabricação de ímãs do tipo NdFeB. O processo produtivo de ITR se dá por meio da metalurgia do pó, este processo permite um controle microestrutural para garantir a textura e propriedades magnéticas. A liga NdFeB que será produzida no LabFab contém 31% de ETR, 1% de B e 2% de elementos de liga (usualmente cobalto, al, cobre) e Fe.

O processo produtivo de ITRs podem ser divididas em três grandes etapas: da exploração mineral, passando pelos processos de separação até a obtenção dos óxidos (*upstream*); e da redução dos óxidos, passando pela fabricação da liga, sinterização, tratamento térmico, usinagem, revestimento e magnetização (*midstream*) e a etapa final de aplicação do ímã em diversos equipamentos (*downstream*). A produção, uso e descarte de materiais gera impactos, e no caso dos ETRs e ITRs não é diferente. A Figura 5 ilustra os principais causadores de impactos ambientais e sociais ao longo da cadeia produtiva.

Figura 5. Mapa simplificado da cadeia de ITR e seus impactos



Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

2.1.3.1 Da mineração até a obtenção dos óxidos

As mineradoras e metalúrgicas realizam a exploração e beneficiamento das principais matérias primas para a fabricação de ITR: óxidos de terras raras (OTR), FeB (Ferro Boro) Ferro (Fe) eletrolítico e FeDy (Ferro Disprósio), sendo os OTR os utilizados em maior quantidade.

Conforme já explicitado anteriormente, os principais fornecedores de óxidos de TR estão localizados na China, porém atualmente existem outras iniciativas em menor escala em países como Austrália e mais recentemente iniciaram-se as atividades de implementação da

mineração e produção de óxidos de TR em Minaçu (GO), no Brasil (CONEXÃO MINERAL, 2020), outra possibilidade é a obtenção de OTR a partir dos resíduos da mineração do Nióbio em Araxá (MG).

As atividades de mineração como corte, perfuração, detonação e processamento podem liberar poeira contendo ETR, outros metais tóxicos e produtos químicos no ar e nos corpos d'água impactando solo local, a vida selvagem, a vegetação, e a saúde humana. Dentre os maiores causadores de impactos na etapa *upstream* da obtenção dos óxidos, tem-se o uso intensivo de energia elétrica, a liberação de elementos radioativos e o uso de produtos químicos ácidos.

A composição e a localização da mina é determinante nos impactos ambientais gerados ao longo da produção de ITR (FERNANDES; ABADÍAS LLAMAS; REUTER, 2020). A característica mineral determina a intensidade de uso de materiais químicos e emissões, por exemplo, depósitos de Monazita (encontrados na Austrália, China e Brasil) têm a vantagem de não gerar CO₂(g) ou HF(g) para a calcinação, enquanto os depósitos de Bastanazita (encontrados na China) geram estes poluentes. Os depósitos de argila iônica (encontrados na China e em Minaçu, Brasil) também apresentam a vantagem da maior facilidade para a lixiviação, tornando o processo menos intenso no uso de químicos.

Outros parâmetros importantes que diferem para cada localização geográfica incluem distâncias de transporte, fornecimento de material, tratamento de resíduos, regulamentos ambientais. Por exemplo, a mina Bayan Obo (China) emprega cerca de 7.000 trabalhadores, dos quais cerca de 3.000 estão expostos à poeira transportada pelo ar contendo Tório (BALARAM, 2019). Além disso, por serem processos que utilizam energia elétrica intensamente, a matriz energética do país em que a produção de ETR está localizada influencia diretamente nos impactos ambientais.

Ao avaliar os impactos dos diferentes depósitos Bayan Obo, na China, Mount Weld, na Austrália, e Mountain Pass, nos EUA, Marx et al. (2018) e Wulf et al. (2017) concordam que a produção da China é a mais prejudicial ao meio ambiente dos três depósitos. No caso de ITR para aplicações em altas temperaturas é importante mencionar que também há um impacto social inerente causado pela exploração do cobalto (FERNANDES; ABADÍAS LLAMAS; REUTER, 2020).

A fim de minimizar estes impactos, estudos vêm avançando para a obtenção de uma mineração mais verde. Uma das possíveis técnicas é a biolixiviação, ou seja, a utilização de ácidos orgânicos, produzidos por bactérias e fungos, para a separação dos ETR, ao invés dos

métodos tradicionais com ácido sulfúrico (ILYAS et al., 2017), (FATHOLLAHZADEH et al., 2019). Outra biosolução em potencial é o processo de biossorção, ou seja, o uso de fungos, algas, bactérias ou carvão ativado para a recuperação de ETR. (DAS; DAS, 2013), (ZHUANG et al., 2015). Porém, apesar dos resultados promissores, mais estudos são necessários para alcançar aplicações de escala (DUTTA et al., 2016).

Além disso, a recuperação de ETR de depósitos não convencionais como águas residuais, efluentes industriais, lagoas de rejeito, escórias metalúrgicas, cinzas volantes de carvão, resíduos de queima de combustíveis fósseis também é uma alternativa (ZHUANG et al., 2015), (SAHOO et al., 2016). Além de evitar a extração de recursos naturais, essas estratégias dão uma solução para resíduos que, de outra forma, poderiam poluir o meio ambiente (ZHUANG et al., 2015).

No Brasil a CBMM vêm realizando pesquisas e testes para a obtenção de OTR a partir do rejeito do beneficiamento do Nióbio. Apesar de evitar a lavra de depósitos não explorados, esta fonte de ETR não é livre de impactos. Lima et al. (2014) criaram o inventário de elementos utilizados para a produção de 4kg de OTR (Tabela 2).

Tabela 2. Elementos na produção de óxidos de TR a partir do resíduo do Nióbio

Decomposição Mineral	Unidade	Quantidade
Monazita	Kg	9,84
Ácido Sulfúrico H ₂ SO ₄ 93%	Kg	15,36
Amônia NH ₃ 28%	Kg	1,986
Água	L	167,28
Saídas:		
Tório	G	393,60
Urânio	G	14,76
Sílica	G	295,20
Produção de óxidos		
Ácido clorídrico HCl 37%	L	322,92
Hidróxido de Amônia NH ₄ OH 25%	L	298,98
Energia		
Eletricidade	kWh	273,24

Traduzido de Lima et al. (2014).

Como resultado, os pesquisadores identificaram o consumo de quantidades significativas de H₂SO₄, HCl e NH₄OH, além da geração de resíduos associados com concentrações de tório e urânio.

Além disso, outra possibilidade para a obtenção de ETR é a mineração urbana, em que ímãs são reciclados após seu ciclo de vida. No geral, os ímãs produzidos a partir de recursos secundários têm um impacto ambiental significativamente menor do que aqueles produzidos a

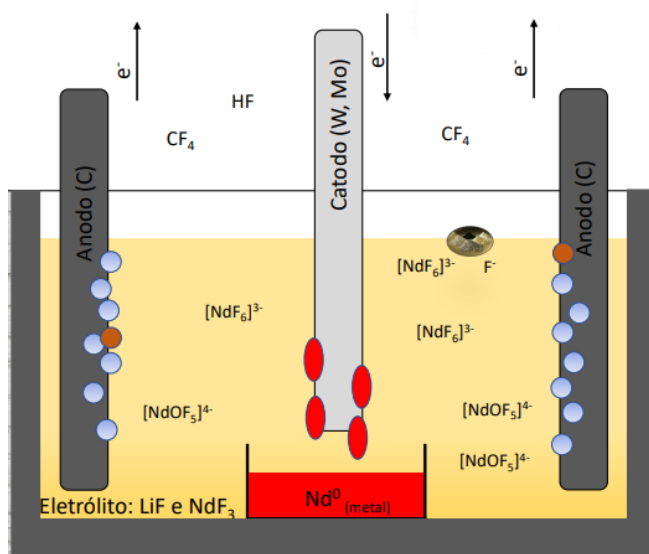
partir de recursos primários (JIN et al., 2018; SPRECHER et al., 2014). Porém, atualmente a reciclagem ainda esbarra em desafios técnicos e econômicos.

2.1.3.2 Redução dos óxidos

A partir das etapas de extração e separação, a matéria prima de TR encontra-se como óxidos. A redução é a decomposição dos óxidos em metal para posteriormente, com a adição de Fe e B, compor a liga NdFeB. Os óxidos de TR tem como característica a alta estabilidade, o que dificulta o processo de redução.

A principal rota de produção de metais é a rota eletroquímica, desta forma a redução é realizada pela técnica da eletrólise de sais de fluoreto fundidos. Em operação, depósitos de Neodímio se formam sobre o catodo inerte e escorrem na forma de metal líquido para um cadinho de coleta. A Figura 6 ilustra o processo.

Figura 6 - Processo de redução por eletrólise.



Fonte: Da Silva (2021).

Nesta etapa os principais impactos ambientais são devido às emissões gasosas, o consumo de energia elétrica e o consumo de fluoretos. São gerados gases de monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂), perfluorocarbonos PFCs (CF₄) e particulado fino composto por óxido de (Nd,Pr). Ao reagir com o ar, o CF₄ pode formar fluoreto de hidrogênio (HF) HF gasoso, que é ácido e tóxico, portanto serão utilizados lavadores de gás, onde os poluentes são removidos pela colisão das partículas do poluente com as gotas de um jato de

spray de um meio de lavagem. É importante ressaltar a criticidade da emissão de PFCs, uma vez que estes equivalem a mil vezes o impacto do CO₂. O Quadro 1 detalha os elementos de entrada, resíduos ou emissões do processo.

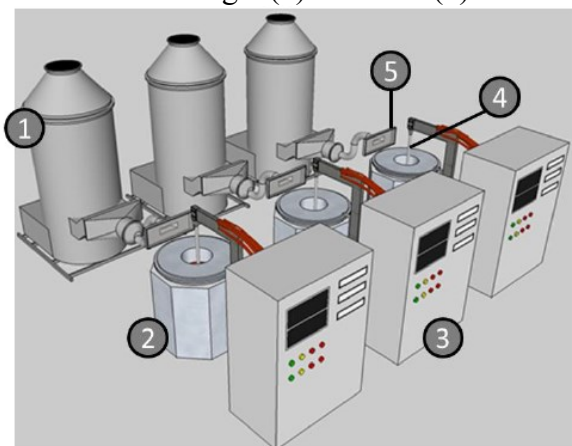
Quadro 1. Elementos da etapa de Redução Eletrolítica.

Elemento	Classificação
Óxido De Didímio	Matéria-prima
Fluoreto de Didímio (PrNdF ₃)	Insumo
Fluoreto de Lítio (LiF)	Insumo
Grafite (Ânodo)	Insumo
Carbonato de cálcio (CaCO ₃)	Insumo
Gás Carbônico	Resíduo/Emissões
Ácido Fluorídrico (HF)	Resíduo/Emissões
Óxido de Didímio (Particulado Fino)	Resíduo/Emissões
Elemento	Classificação
Fluoreto de Cálcio (CaF ₂)	Resíduo/Emissões
Sulfato de Cálcio (CaSO ₄)	Resíduo/Emissões
NdPr Metálico	Produto Resultante

Fonte: Fernandes (2019).

De acordo com a literatura, o consumo de energia elétrica e as emissões gasosas de PFCs são os principais causadores de impactos na etapa de redução, inclusive, ao se observar as etapas *midstream* do processo produtivo de ITR, a redução eletrolítica é a etapa crítica, em que se observam os maiores impactos ambientais (MARX et al., 2018; NORDELÖF; TILLMAN, 2018). Porém, é importante ressaltar que os estudos existentes consideram o processo a partir da matriz energética da China, que tem como base o Carvão. Além disso, há algumas discordâncias sobre o valor total dos impactos nesta etapa, os autores Zhang et al. (2017) indicam o valor de 0,1 de CO₂ equivalente para cada kg de Nd reduzido, enquanto Vogel e Friedrich (2017) chegam a apresentar um valor de 687,6 kg de CO₂ equivalente. Desta forma, são necessárias análises mais adequadas ao cenário brasileiro para determinar exatamente qual o ponto mais crítico da etapa de redução. De qualquer forma é sabido que deve-se buscar reduzir a geração de PFCs no processo e quando não for possível deve-se realizar a compensação destas emissões por meio de ações ambientais. A Figura 7 ilustra as células de redução.

Figura 7 – Layout das células de redução: (1) Lavador de Gases (2) Célula eletrolítica (3) Módulo de energia (4) Eletrodo (5) Exaustor.



Fonte: Relatório Certi (2017).

2.1.3.3 Fabricação da Liga

Posteriormente, na etapa de fabricação da liga o produto resultante da redução, PrNd metálico, é fundido em um forno de indução sob atmosfera controlada, neste momento os elementos Fe e B são adicionados, e então solidificado pela técnica de *Strip Casting*. Esta técnica consiste na solidificação da liga que é suavemente vertida sobre um cilindro de cobre, refrigerado com água, que gira a altas velocidades tangenciais em um ambiente protegido contra a oxidação. Ao entrar em contato com o cilindro, o metal fundido é submetido a elevadas taxas de resfriamento solidificando quase que instantaneamente na forma de pequenas tiras. Na sequência, estas tiras produzidas são fragmentadas por um dispositivo mecânico e resfriadas para que não ocorra a oxidação com o contato com o oxigênio.

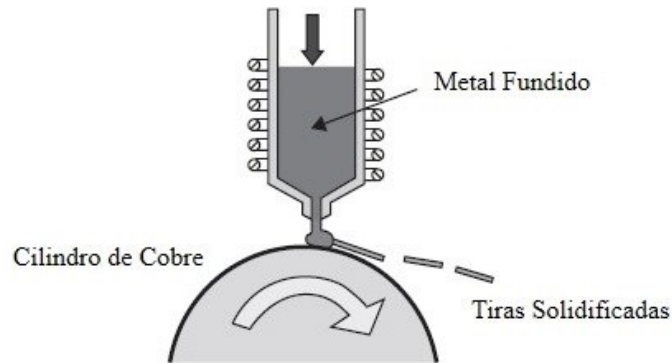
Nesta etapa os impactos ambientais são causados devido ao consumo de gás argônio, eletricidade e água (Quadro 2). A Figura 8 apresenta um desenho esquemático desta etapa.

Quadro 2. Elementos utilizados na fabricação da liga.

Elemento	Classificação
Didímio metálico (Nd,Pr)	Matéria-prima
Ferro (Fe)	Matéria-prima
FeB (Ferro-Boro)	Matéria-prima
Gás Argônio	Insumo e Emissões
Tiras Metálicas (Nd,Pr)FeB	Produto de saída

Fonte: Fernandes (2019).

Figura 8. Obtenção de tiras solidificadas de NdFeB.



Fonte: Traduzido e adaptado de Harris e Jewell (2012).

2.1.3.4 Fabricação do Ímã

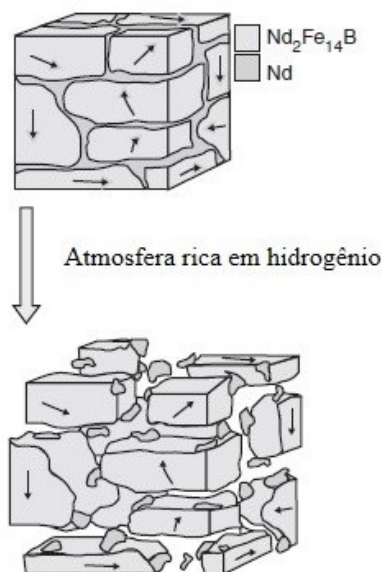
A partir das tiras solidificadas de NdFeB realiza-se a fragmentação grosseira, pela técnica de decrepitação por hidrogênio, em que a liga é exposta a uma atmosfera rica em hidrogênio, promovendo a absorção do gás e formando hidretos metálicos. Esta reação com o hidrogênio conduz a um aumento das distâncias interatômicas da rede cristalina, gerando tensões internas que promovem a fragmentação frágil (decrepitação) do material. O consumo de eletricidade, água, hidrogênio e gases inertes são responsáveis pelos impactos ambientais desta etapa (Quadro 3). A Figura 9 ilustra este processo.

Quadro 3. Elementos utilizados na fragmentação grosseira.

Elemento	Classificação
Tiras Metálicas (Nd,Pr)FeB	Matéria-prima
Gás argônio	Insumo
Gás nitrogênio	Insumo
Gás Hidrogênio	Insumo
Água	Efluente
(Nd,Pr)FeB (Particulado grosso)	Produto de saída

Fonte: Fernandes (2019).

Figura 9. Fragmentação grosseira.



Fonte: Traduzido e adaptado de Harris e Jewell (2012).

Após a fase de hidrogenação e decrepitação, o material é aquecido a uma temperatura entre 500 e 550 °C em ambiente de vácuo para remoção do hidrogênio em uma etapa conhecida como degaseificação, seguido do resfriamento em atmosfera de argônio para evitar a contaminação por oxigênio. O ciclo encerra com uma etapa de purga com argônio para garantir que o material esteja imerso em ambiente inerte no momento da abertura do reator. Em operação, o gás nitrogênio é utilizado em testes como o de pressurização e de verificação de vazamentos, ambos realizados antes do início da operação de decrepitação. Os gases hidrogênio, nitrogênio e argônio utilizados neste processo tem origem nacional.

Após a fragmentação grosseira o material em processamento não deve ter contato com ar atmosférico, o contato com o oxigênio oxida o material e leva à perda de propriedades magnéticas. O processo de transferência do material do tambor rotativo para o próximo processo ou para estocagem se dá por meio de os vasos de transporte, recipientes em aço inoxidável em forma de duplo cone com capacidade de armazenamento de 100 kg (Figura 10)

Figura 10. Vasos de transporte.



Fonte: Relatório Certi (2017).

Na próxima etapa é realizada a comunicação ou moagem, nesta etapa ocorrem choques entre as partículas promovidos por jatos de nitrogênio. O processo de comunicação aumenta a superfície exposta, as partículas decrepitadas medem de 6 a 10 microns, potencializando ainda mais o caráter pirofórico relacionado à energia livre de superfície, portanto este equipamento deve ser a prova de explosão. O Quadro 4 apresenta os materiais e insumos envolvidos na etapa de comunicação.

Quadro 4. Elementos da etapa de comunicação.

Elemento	Classificação
(Nd,Pr)FeB (Particulado grosso)	Matéria-prima
Gás Argônio	Insumo/Emissões
(Nd,Pr)FeB (Pó)	Produto de saída

Fonte: Fernandes (2019).

Para obter estruturas magnéticas anisotrópicas, as partículas do pó precisam ser alinhadas usando um campo externo, e então prensadas para manter seu alinhamento. Neste processo o pó metálico é depositado em uma matriz e compactado pela ação de uma elevada pressão. Este processo também deve ser livre de oxigênio, portanto antes de iniciar o enchimento do molde é necessário realizar a purga da estação, com gás nitrogênio até que o teor de oxigênio seja inferior a 1 %. Após a aplicação do alinhamento magnético, os moldes preenchidos com o pó são selados a vácuo antes de serem encaminhados para a compactação. A compactação gera uma peça com dimensões próximas a da peça final, nesta etapa, a peça recebe a denominação de compactado a verde.

A próxima etapa é referente à sinterização, o compactado verde é aquecido em fornos com câmara a vácuo ou gás, seguido de resfriamento até a temperatura ambiente, em seguida é realizado o recozimento. O Quadro 5 apresenta os materiais e insumos envolvidos nas etapas de alinhamento, compactação e sinterização.

Quadro 5. Elementos das etapas de compactação e sinterização.

Elemento	Classificação
(Nd,Pr)FeB (Pó)	Matéria-prima
Aditivos e Lubrificantes	Insumo
Gás Argônio	Insumo/Emissões
(Nd, Pr)FeB Sinterizado	Produto de saída

Fonte: Fernandes (2019).

Na próxima etapa é realizada a usinagem de retificação com ferramentas diamantadas e eletroerosão. Nesta etapa são consumidas ferramentas de corte, fluidos de corte e outros insumos (Quadro 6). É importante ressaltar que o resíduo da usinagem, o cavaco, está entre os principais resíduos no LabFab. Além de representar uma perda de material no processo, este resíduo gera a necessidade de estocagem ou destinação. Uma alternativa é a oportunidade de recuperação deste resíduo, uma vez que contém em média 30% de ETR, porém precisam ser vencidas as dificuldades de recuperação deste material que encontra-se oxidado e contaminado com fluidos de corte.

Quadro 6. Elementos na etapa de usinagem.

Elemento	Classificação
(Nd, Pr)FeB Sinterizado	Matéria-prima
Óleo Solúvel	Insumo
Água	Insumo
Esterato de zinco	Insumo
Fluido de Corte	Insumo/Resíduo
Ferramenta diamante	Insumo/Resíduo
Cavaco	Resíduo
Elemento Filtrante	Resíduo
(Nd, Pr)FeB usinado	Produto de saída

Fonte: Fernandes (2019).

Em seguida é realizado o revestimento dos imãs, outra etapa bastante crítica do ponto de vista ambiental pelo uso de materiais tóxicos (Quadro 7).

Quadro 7. Elementos na etapa de usinagem.

Elemento	Classificação
(Nd, Pr) FeB Usinado	Matéria-prima
Hidróxido de Sódio	Insumo
Água	Insumo/Resíduo
Ácido Sulfúrico	Insumo
Ácido Bórico	Insumo
Sulfato de Níquel	Insumo
Cloreto de Níquel	Insumo
Sulfato de Cobre	Insumo
Lodo Galvânico	Resíduo
Água de lavagem	Resíduo

Fonte: Fernandes (2019).

A última etapa é a magnetização, que é responsável por conferir a característica magnética de ímã permanente ao produto final à base de NdFeB. O processo de magnetização acontece com a aplicação de um pulso de campo magnético externo, onde o ímã retém parte do valor deste campo, o qual é chamado de magnetização remanente, ou remanência. A forma mais comum para geração do campo magnético externo é através de um conjunto de geradores de descarga capacitiva que geram uma corrente que passa por bobinas de fios de cobre.

2.1.4 Considerações sobre os impactos negativos da produção de ETR e ITR

Diversos autores têm se dedicado a entender quais impactos são causados em cada etapa produtiva dos ITRs e existem divergências em relação à contabilização dos impactos ambientais. Marx et al. (2018), identificaram que o consumo de produtos químicos, durante as etapas de eletrolise e extração por solventes, é o causador de impactos mais relevante, seguido pelo consumo de energia. Os autores afirmam que as etapas produtivas desde o Nd metálico até o revestimento tem uma contribuição menor nos impactos do que a etapa de produção de ETR metálico a partir da mina.

Os autores Arshi et al. (2018) também afirmam que a etapa de extração por solvente é o principal contribuinte para a maioria das categorias de impacto devido ao seu intenso consumo de produtos químicos, com participações de mais de 35% do impacto no *Global Warming Potential* (GWP), eutrofização e toxicidade humana.

Por outro lado, a geração de energia elétrica foi identificada por Sprecher et al. (2014) como a maior causadora de impactos ambientais quando se utiliza matérias primas provenientes de recursos primários. Segundo os autores, estes impactos correspondem a 60% do impacto na

ecotoxicidade da água doce, na oxidação fotoquímica e na destruição da camada de ozônio, os outros 40% estão relacionados ao níquel usado na galvanoplastia.

Jin et al. (2016) também identificaram que a geração de energia elétrica a partir de carvão causa o maior impacto na produção de ímãs originados de depósitos de terras raras na China. Portanto, observa-se que o consumo e a produção de eletricidade são extremamente relevantes para o impacto ambiental e cabe ressaltar que estes estudos foram conduzidos na China, onde 67,90% da matriz energética é provinda de usinas termoelétricas a carvão.

No estudo realizado por Fernandes, Abadías Llamas e Reuter (2020) é concluído que apesar das divergências, no geral, os processos mais críticos dentro da cadeia produtiva de ITR são a metalurgia do pó, com alto consumo de energia, e a separação de óxidos de terras raras por extração de solvente, com alto consumo de clorídrico ácido e produtos químicos orgânicos.

Em relação aos problemas de saúde e condições de trabalho, os autores Bailey et al. (2017) realizaram uma revisão da literatura considerando a sustentabilidade dos motores de veículos elétricos. Segundo os autores, os ITR podem causar conflitos geopolíticos e causar problemas de saúde para as comunidades onde são extraídos e processados. Os autores Schlör et al. (2018) analisaram o impacto social de acordo com cinco categorias principais (direitos trabalhistas e trabalho decente, saúde e segurança, direitos humanos, governança, comunidade e infraestrutura) e 22 indicadores sociais relacionados e concluíram que a produção de ITR está associada a riscos sociais devido à insustentabilidade dos processos produtivos nos locais analisados.

Além das divergências entre os estudos ressalta-se que os dados sobre a produção de ITR são na sua maioria obsoletos e podem comprometer a qualidade da pesquisa científica. A atualização desses dados é importante para fomentar a discussão sobre *compliance* social e ambiental, segundo a qual as empresas buscam melhorar os padrões ambientais e sociais ao longo de suas cadeias de valor (Schlör et al., 2018).

2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

As discussões sobre a sustentabilidade das atividades produtivas surgiram na década de 60, tendo como marco o lançamento do livro “*Primavera Silenciosa*”, escrito pela bióloga Rachel Carson, em 1962. Neste livro a autora expôs os danos causados por pesticidas no ambiente, e também alertou sobre os riscos da indústria química. Dez anos após o lançamento de Carson, pela primeira vez na história, chefes de estado se reuniram para tratar das questões

relacionadas à degradação do meio ambiente, na Conferência de Estocolmo, organizada pelas Nações Unidas (ONU). Foi a primeira vez que os membros da ONU reconheceram que a economia e o meio ambiente estavam em conflito (SACHS, 2020).

A partir de então, a temática ambiental começou a ser mais presente nas discussões acadêmicas (BRUNDTLAND, 2020). No mesmo ano de 62, a publicação do livro “*Limits to Grow*” também causou grande repercussão, nele foi apresentado um modelo computacional explicando que se o crescimento econômico continuasse progredindo geometricamente, da mesma forma, os danos nos sistemas naturais se tornariam irreversíveis.

Após 15 anos, em 1987, a então primeira-ministra da Noruega, Gro Brundtland, introduziu o conceito de desenvolvimento sustentável, integrando as questões ambientais no desenvolvimento econômico. Este conceito surgiu durante a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento e trouxe a ideia de justiça intergeracional e sustentabilidade intergeracional, em que a geração atual tem responsabilidade sobre o uso dos recursos naturais e preservação ambiental para a geração futura.

Em 1992 aconteceu a Eco 92, em que três acordos multilaterais foram firmados, um sobre a proteção da biodiversidade, um sobre a mudança do clima e um sobre o combate à desertificação. Estes acordos estabelecidos colocaram o desenvolvimento sustentável não apenas intelectualmente e politicamente na agenda, mas também diplomaticamente (BRUNDTLAND, 2020).

Porém em 2012, 20 anos depois do primeiro encontro, os acordos firmados não haviam sido cumpridos, e durante a realização do o evento Rio+20 o então presidente da Colômbia, Juan Manuel Santos, sugeriu a criação de metas para o desenvolvimento sustentável, a partir de então os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) começaram a ser desenvolvidos (BRUNDTLAND, 2020).

Ente 2012 e 2015 a ONU havia estabelecido uma parceria global a fim de reduzir a pobreza extrema, voltada aos países em desenvolvimento, conhecida como Os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM). Em seguida, os ODS surgiram em substituição aos ODM, desta vez incorporando diversos tópicos relacionados ao desenvolvimento sustentável e trazendo a responsabilidade para todos: empresas, governos e sociedade civil, tanto de países desenvolvidos quanto de países em desenvolvimento.

Os ODS foram construídos em conjunto com os 193 países signatários da ONU, e buscam mobilizar os esforços globais ao redor de 169 metas, que definem as prioridades e aspirações de desenvolvimento sustentável global para 2030 (Figura 11). Os ODS trazem um conceito mais estruturado e preciso para o termo “sustentabilidade” (BRUNDTLAND, 2020).

Figura 11. Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: (NU, 2021).

Os ODS podem ser divididos em seis grupos de transformação. O primeiro grupo é referente à educação, inclusão, empregos e crescimento (ODS 4, ODS 5, ODS 8, ODS 9 e ODS 10), o segundo grupo refere-se à saúde e bem estar, principalmente representado pelo ODS 3 e ODS 10, mas também é fortemente influenciado pelo ODS 13 devido às doenças causadas pelo aquecimento global. O terceiro grupo é referente à alimentação e uso da terra de forma sustentável (ODS 1, ODS 2, ODS 6, ODS 14 e ODS 15). O quarto grupo é referente a cidades inteligentes e transporte (ODS 9 e ODS 11), o quinto grupo é referente a tecnologias digitais e e-governança (ODS 16 e ODS 17).

O sexto grupo de transformação é referente à energia e indústrias limpas (ODS 12 e ODS 7), e também abrange o ODS 13 com a redução de emissões. A utilização de ITR em geradores eólicos, carros elétricos e motores eficientes tem relação direta com estes objetivos. De acordo com Sachs (2020) os três grandes desafios deste grupo de transformação são: o fornecimento energia “carbono zero”, que não libera dióxido de carbono na atmosfera; a eletrificação do uso de energia, passando de combustíveis fósseis para energia elétrica; e a eficiência energética dos sistemas, a partir de equipamentos mais tecnológicos e indústria mais eficiente.

Os ODS formam a agenda global para o desenvolvimento das sociedades, ou seja, trata-se de um plano de ação com objetivos claros para guiar as ações de todos. Durante o seu

preparo, muitos desafios foram encontrados, principalmente os referentes ao entendimento de que o desenvolvimento sustentável não se refere apenas ao desenvolvimento econômico, mas engloba outros aspectos, como direitos reprodutivos, mudanças climáticas, luta contra pobreza e desigualdades.

As ações em prol dos ODS vêm sendo monitoradas, cada país possui um conjunto de indicadores de acordo com sua realidade, apesar dos ODS formarem uma agenda global, as ações executadas em cada país depende do seu contexto. Os indicadores readequados para o Brasil podem ser consultados em uma plataforma online desenvolvida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (ODS, 2021).

Juntamente com os governos e a sociedade civil, as empresas têm um importante papel no alcance dos ODS. Do ponto de vista empresarial, as ações em prol dos ODS podem gerar oportunidades tanto ao minimizar os impactos negativos quanto ao maximizar os impactos positivos nas pessoas e no planeta (CEBDS, 2015). De acordo com Brundtland (2020), a sustentabilidade corporativa pode ser uma fonte de competitividade, se as chances e oportunidades relacionadas ao desenvolvimento sustentável puderem ser identificadas de maneira adequada.

Para o alcance dos ODS, é importante que as empresas orientadas ao lucro mudem a sua percepção de que os gerentes devem exclusivamente aumentar a riqueza dos investidores, para uma visão *multi stakeholder*, em que a empresa é responsável por seus fornecedores, funcionários, e sociedade civil, tendo um propósito maior (SACHS, 2020). Esta percepção é a chamada prosperidade compartilhada, baseada na responsabilidade e transparência de ações.

O acesso a investimentos também têm demandado critérios de boas práticas sobre preservação ambiental, equidade social e governança, conhecidos pela sigla ESG. Os bancos começaram a se envolver na busca pelo desenvolvimento sustentável, primeiro para evitar riscos, e agora por pressão da sociedade e funcionários (BRUNDTLAND, 2020). O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) também incorporou os ODS ao seu planejamento estratégico, no Plano Trienal 2020-2022, o BNDES estabeleceu um conjunto de entregas para a sociedade associadas aos ODS e aos desafios da economia brasileira (BNDES, 2020).

Além disso, de acordo com Valor Investe (2020), a *BlackRock*, maior gestora de ativos do mundo, relatou que “*vai passar a usar as réguas ambiental, social e de governança, para balizar suas decisões de investimento*”. De acordo com o presidente do Conselho Diretor do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), para que empresas de mineração do Brasil tenham sucesso na captação de recursos, elas também devem seguir os padrões ESG (IBRAM, 2020).

Recentemente, com o objetivo de mobilizar o setor privado, o B Lab, em conjunto com o Pacto Global, lançou uma ferramenta para que as empresas possam monitorar seus desempenhos em relação aos ODS (B Lab, 2020). Tais fatos evidenciam a importância de uma maior investigação da relação dos ODS e setores específicos da indústria.

2.3 GESTÃO DA SUSTENTABILIDADE

Conforme já tratado nas seções anteriores, consumidores e *stakeholders* exigem cada vez mais que as empresas sejam totalmente responsáveis por suas operações, demonstrando claramente suas ações ambientais e comportamentos éticos (ASHBY; LEAT; HUDSON-SMITH, 2012). Estas preocupações crescentes com questões ambientais e sociais aliado ao aumento das demandas de investidores e órgãos reguladores pressionam as empresas a se adaptarem para a diminuição do seu impacto no meio ambiente e aumento da sua contribuição para a sociedade

Ao se tratar da sustentabilidade no ambiente empresarial, o grande desafio é incorporar o tema nas ações estratégicas e diárias da empresa (CEBDS, 2015), entender quais passos devem ser executados, como começar a mudança rumo a uma corporação mais sustentável (BAUMGARTNER, 2014) e como traduzir os princípios gerais do desenvolvimento sustentável em práticas empresariais (AZAPAGIC, 2003). A integração de práticas sustentáveis na gestão organizacional é uma tarefa complexa, que exige visão, comprometimento e liderança (AZAPAGIC, 2003).

De acordo com Nawaz e Koç (2018), já se tornou irrelevante discutir sobre a necessidade da sustentabilidade nos negócios, a grande questão atual é “como” fazer. Diversos autores têm se dedicado a explorar modelos e ferramentas a fim de planejar gerir e comunicar a sustentabilidade corporativa, portanto, com o objetivo de compilar os principais passos e elementos chave para a gestão da sustentabilidade realizou-se uma análise dos modelos de gestão da sustentabilidade presentes na literatura científica e em recomendações técnicas. O Quadro 8 apresenta esta compilação, onde também são expostas as características do foco e origem de cada modelo.

Quadro 8. Principais elementos e características dos modelos de gestão

Continua

Autores	Passos/ Elementos Chave	Características
Azapagic (2003)	(1) Desenvolvimento de políticas; (2) Planejamento; (3) Implementação; (4) Comunicação; e (5) Revisão e ação corretiva.	Foco geral na sustentabilidade corporativa, com base no tripé da sustentabilidade. Inspirado em Sistemas de Gestão Ambiental e de Qualidade Total (Desenvolvido em colaboração com a indústria)
Cramer (2005)	(1) Expectativas dos <i>Stakeholders</i> (2) Visão e missão (3) Estratégias de curto e longo prazo (4) Sistema de monitoramento (5) Inserir o processo no sistema de gestão da qualidade (6) Comunicação externa e Interna	Foco na responsabilidade social corporativa da indústria holandesa, em que 19 empresas desenvolveram em conjunto uma abordagem estruturada para a gestão da responsabilidade social corporativa
Rocha, Searcy e Karapetrovic (2007)	(1) <i>Stakeholders</i> (2) Recursos (3) Liderança (4) Processos (5) Valores (6) Objetivos	Foco geral em desenvolvimento sustentável. Modelo criado pela integração dos sistemas de gestão existentes para qualidade, meio ambiente, saúde e segurança ocupacional e responsabilidade social corporativa
Maon, Lindgreen, e Swaen (2009)	(1) Aumentar a consciência dentro da organização (2) Avaliar o propósito corporativo (3) Estabelecer uma visão e uma definição de trabalho (4) Avaliar a situação atual (5) Desenvolver um plano estratégico integrado (6) Implementar o plano estratégico (7) Comunicação sobre compromissos e desempenho	Foco na Responsabilidade Social Corporativa. É estruturado em um ciclo PDCA a partir de estudo de casos de três empresas: IKEA, Phillips e Unilever.
Loorbach (2010)	(1) Estratégico: A Arena de Transição (2) Tático: A Agenda de Transição (3) Operacional: Experimentos (4) Reflexivo: Monitoramento e Avaliação	Foco na gestão da transição como uma nova abordagem de governança para o desenvolvimento sustentável. Inspirado na literatura sobre governança e complexidade
Asif et al., (2011)	(1) Análise ambiental (2) Meta-gestão dos requisitos dos <i>stakeholders</i> (3) Desenvolvimento de indicadores mensuráveis (4) Integração dos indicadores no processo empresarial (5) Avaliação integrada (6) Aprendizagem e melhoria integrada	Foco em <i>Business excellence models</i> (BEMs) para abordar a sustentabilidade corporativa. Inspirado por modelos de excelência empresarial, Qualidade e GRI. Estruturado como PDCA
Kuei e Lu (2013)	(1) Preparação para uma mudança responsável (2) Gestão do escopo de sustentabilidade (3) Etapas de transformação (4) Validação (5) Busca por competências	Inspirado no sistema de qualidade com combinado com sistemas de gestão

Quadro 8. Principais elementos e características dos modelos de gestão

Continua

Autores	Passos/ Elementos Chave	Características
Asif et al., (2013)	(1) Planejando a integração RSC (2) Fazendo a integração RSC (3) Verificando a integração RSC Medição (4) Atuando na integração RSC	Trata da gestão estratégica da responsabilidade social corporativa. Formatado conforme um ciclo PDCA é inspirado em sistemas de gestão integrados - ISO 9001 para qualidade, ISO 14001 e <i>Eco-Management and Audit Scheme</i> (EMAS) para questões ambientais, ISO 10001 para satisfação do cliente e sistemas de reclamações, ISO 31000 para gerenciamento de risco, AA1000 para garantia de sustentabilidade, ISO 26000 para responsabilidade corporativa e SA 8000 para responsabilidade social
Asif e Searcy (2014)	(1) Abordagem de meta-gestão para a sustentabilidade (2) Varredura ambiental, mapeamento e diálogo com <i>stakeholders</i> (3) Definição da direção organizacional e implementação do planejamento (4) Desenvolvimento de estruturas organizacionais e infraestrutura para a sustentabilidade (5) Execução de processos (6) Avaliação de iniciativas de sustentabilidade (7) Auditoria / avaliação de sustentabilidade (8) Relatórios de sustentabilidade (9) Comunicação (10) Melhoria contínua	Foco em um sistema de gestão para o desenvolvimento sustentável. Inspirado pela ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001. Utiliza a abordagem PDCA
(Maas e Reniers, (2014)	(1) Conhecimento e comprometimento da gestão, (2) conhecimento e comprometimento dos <i>stakeholders</i> , (3) planejamento estratégico, (4) conhecimento e comprometimento no local de trabalho, (5) execução e monitoramento operacional	Tem como foco a Responsabilidade Social corporativa e é baseado na ISO26000
CEBDS (2015)	(1) Entendendo os ODS (2) Definindo prioridades (3) Estabelecendo metas (4) Integração (5) Relato e comunicação	Tem como foco orientar as empresas a direcionarem suas ações para a contribuírem no alcance dos ODS. Foi desenvolvido integrando feedbacks de empresas, governo, agências, instituições acadêmicas e organizações da sociedade civil em todo o mundo.

Quadro 8. Principais elementos e características dos modelos de gestão

Conclusão

Autores	Passos/ Elementos Chave	Características
Rebello, Santos, e Silva (2016)	(1) Planejar (contexto da organização; liderança; planejamento; suporte) (2) Fazer (operacionalização) (3) Verificar (avaliação de desempenho) (4) Agir (melhoria contínua)	Tem como foco sistemas de gestão integrados para Produção Mais Limpa. Baseado na gestão ambiental, gestão da qualidade e gestão de saúde e segurança ocupacional. Estruturado conforme um ciclo PDCA.
Mustapha, Manan, e Wan Alwi (2017)	(1) Atribuição de um “Gerente Verde” (2) Formulação da Política “Verde” (3) Planejamento, organização e definição das metas e indicadores (4) Implementação do Plano de Ação (5) Auditoria do Sistema (6) Controle e monitoramento (7) Melhoria Contínua	Foco em gerenciamento “verde”. Inspirado ns ISO50001 (gestão de energia), ISO14001 (gestão ambiental) e ISO9001 (gestão da qualidade). Utiliza a estrutura PDCA.
Nawaz e Koç (2018)	(1) Visão, escopo e princípios (2) Critérios, avaliação de risco e objetivos (3) Iniciativas de sustentabilidade para redução de risco (4) Preparação e organização (5) Implementação, monitoramento e análise (6) Revisão e melhoria contínua	Desenvolvimento de um sistema para o gerenciamento da sustentabilidade baseado em trabalhos publicados periódicos acadêmicos e diretrizes internacionais padronizadas
Bastas e Liyanage (2019)	(1) Identificação das prioridades (2) Estabelecimento da maturidade em relação ao tripé da sustentabilidade (3) análise SWOT em relação à sustentabilidade (4) Estratégia de melhoria e plano de ação (5) Efeito das ações de melhoria monitoradas e controladas (6) Ciclo contínuo de desenvolvimento sustentável através do PDCA	Foco no desenvolvimento organizacional sustentável. Inspirado na integração de Gestão da Qualidade com a gestão de cadeias de suprimentos e gerenciamento da sustentabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

A sustentabilidade corporativa é vista como uma mudança organizacional (MAON; LINDGREEN; SWAEN, 2009; ASIF et al., 2013). Sendo que o conceito de melhoria de processos envolvendo a sustentabilidade é cíclico, muitos autores utilizam o PDCA para guiar esta mudança, uma vez que é uma ferramenta bastante conhecida para a melhoria contínua.

De acordo com Nawaz; Koç (2018), não existe na literatura um método único e robusto para gerenciar a sustentabilidade, os autores afirmam que existem várias técnicas que foram contextualmente adaptadas pelas organizações para incorporar diferentes aspectos isolados da sustentabilidade. Este fato é corroborado por Asif e Searcy (2014) que explicam que não existe um sistema de gestão unificado, os trabalhos existentes são fragmentados, portanto o

desenvolvimento sustentável é gerenciado baseado nas percepções e experiências dos envolvidos.

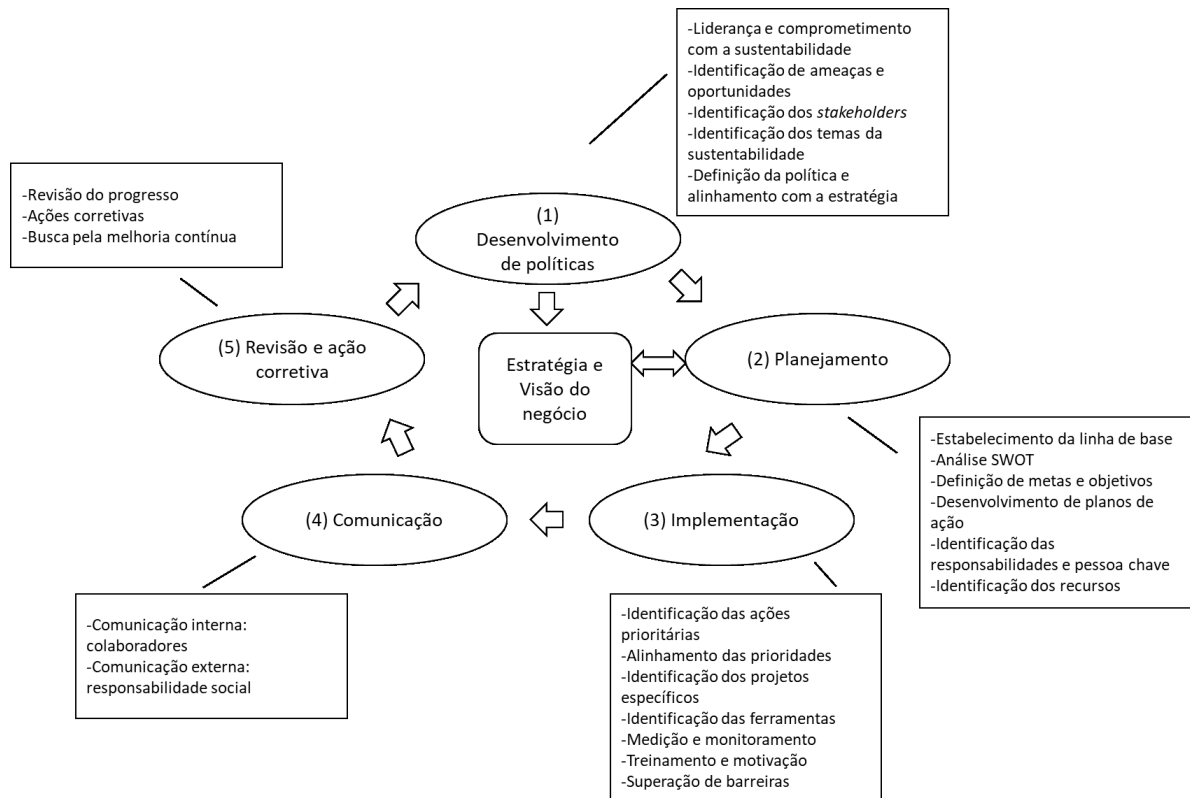
Parte dos modelos revisados sugerem a incorporação dos temas da sustentabilidade nos sistemas de gestão já existentes nas empresas, como o da qualidade. Outro fato observado nos modelos revisados é que muitos autores se concentram na exploração teórica sobre a gestão da sustentabilidade, dando pouca ênfase ao aspecto prático de como fazer. Os modelos que apresentam maior detalhamento são os propostos por Azapagic (2003), Asif e Searcy (2014) e pela GRI em parceria com o Pacto Global das Nações Unidas e Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS, 2015), discutidos a seguir.

Para Azapagic (2003), um modelo deve ser capaz de compreender os principais problemas de sustentabilidade e ações necessárias para os resolver; medir o desempenho e avaliar de progresso para garantir melhorias contínuas; e comunicar as políticas de sustentabilidade e o progresso em direção à sustentabilidade para as partes interessadas relevantes. A Figura 12 apresenta o sistema de gerenciamento da sustentabilidade corporativa proposto pela autora, em que ela sugere cinco etapas que se desdobram em diversos passos. Este sistema de gestão foi desenvolvido para ser compatível com a estrutura familiar dos padrões do sistema de gestão geral, como a ISO, Gestão da Qualidade Total (TQM) (ISO, e Sistemas de Gestão Ambiental.

Asif et al. (2011) apresentaram um modelo de gestão integrando qualidade e sustentabilidade, inspirados no ciclo PDCA. Os autores se basearam nos modelos de excelência da literatura, que focam na melhoria do desempenho atendendo aos requisitos dos *stakeholders*, no guia GRI, e em indicadores específicos de cada negócio.

Posteriormente, Asif et al. (2013) também apresentam uma estrutura, baseada no PDCA, de como a responsabilidade social corporativa (RSC) pode ser integrada nos processos do negócio. Estes autores apresentam duas abordagens para se alcançar a integração da RSC: a abordagem denominada por eles de *top-down*, em que é priorizada a integração dos requerimentos dos *stakeholders* e realizado o desenvolvimento de indicadores internos, como os relacionados saúde e segurança dos trabalhadores e impacto ambiental e a abordagem denominada *bottom-up*, que foca na interação da organização com a comunidade, desenvolvendo indicadores ligados às necessidades da comunidade e entendendo como a organização pode contribuir com o desenvolvimento da comunidade. A estrutura apresentada pelos autores mostra um ciclo para melhoria contínua desde o entendimento das necessidades dos *stakeholders*, até a comunicação das ações por meio de relatórios.

Figura 12. Sistema de gerenciamento da sustentabilidade corporativa

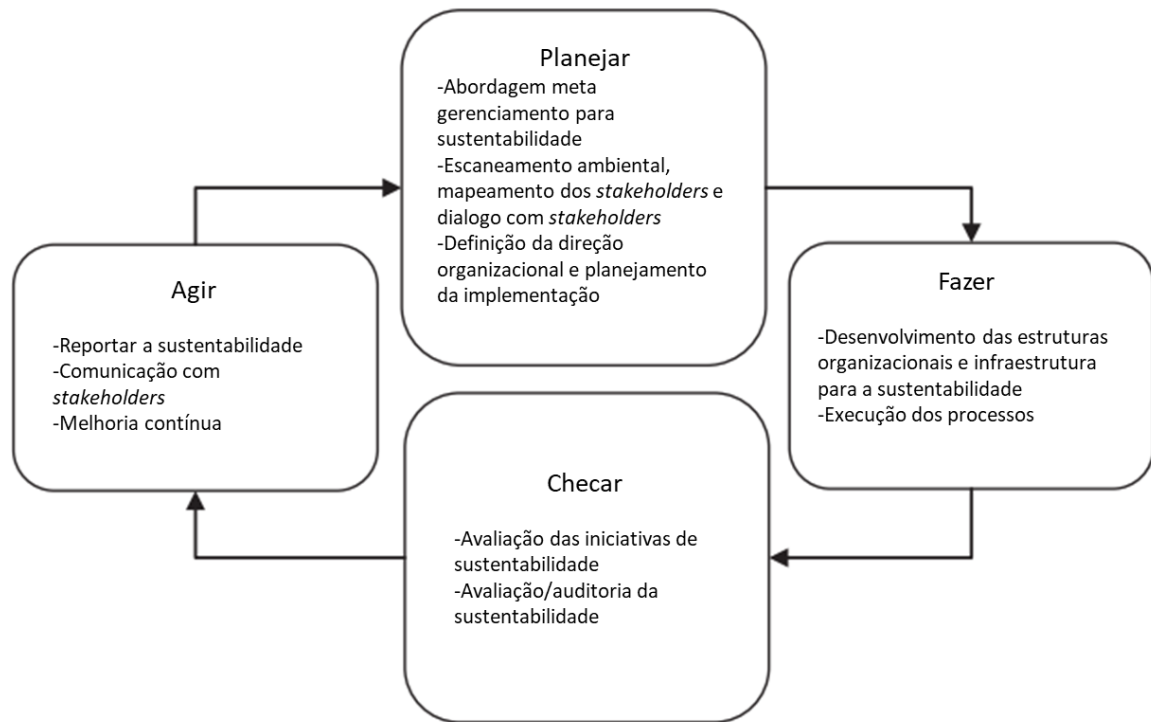


Fonte: Adaptado e traduzido de Azapagic (2003).

Inspirado no seu trabalho anterior, os autores Asif e Searcy (2014) apresentam um novo modelo, mais detalhado, que segundo eles se diferencia pelo balanço na gestão dos três aspectos da sustentabilidade TBL (*Triple Bottom Line*) e por fornecer uma abordagem sistemática para o desenvolvimento sustentável corporativo (Figura 13).

Apesar de bastante detalhados, os modelos de Azapagic (2003) e Asif e Searcy (2014) têm diferentes interpretações sobre o que é sustentabilidade. Este é um fato observado em mais modelos, como: Maas & Reniers (2014) consideram mais fortemente a responsabilidade social, Loorbach (2010) é o único que aborda a governança, e Mustapha et al., (2017) e Rebelo, Santos, e Silva (2016) têm foco apenas nos aspectos ambientais.

Figura 13. Gestão da sustentabilidade organizacional baseada no ciclo PDCA.



Fonte: Traduzido e adaptado de Asif e Searcy (2014).

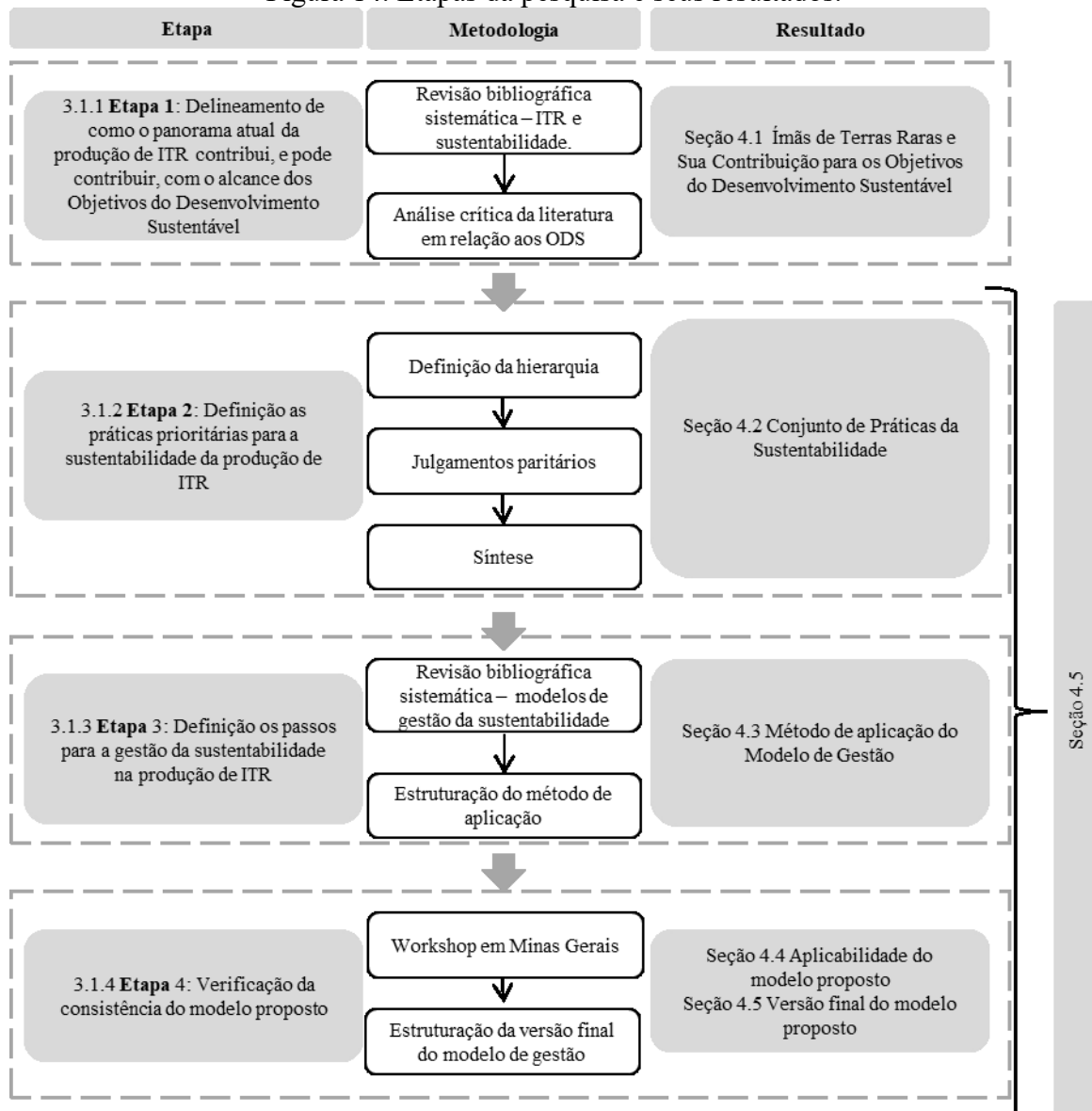
Dentre os modelos revisados, o *Guia dos ODS para as Empresas: diretrizes para implementação dos ODS na estratégia dos negócios* é o que mais satisfatoriamente se enquadra com a necessidade de ser ao mesmo tempo detalhado e ter uma definição clara sobre a sustentabilidade. Este guia oferece ferramentas e informações para que as empresas coloquem a sustentabilidade no centro da sua estratégia e parte do princípio da necessidade do alcance das ODS. Porém, o Guia dos ODS para as Empresas foi desenvolvido tendo como foco as grandes empresas multinacionais, por exemplo, são citados os conselheiros e acionistas. Segundo o guia, as empresas de pequeno e médio porte também são encorajadas a utilizá-la como fonte de inspiração, porém precisam adaptá-la conforme suas realidades (CEBDS, 2015).

Portanto, a partir do que foi apresentado nesse capítulo de fundamentação teórica, observa-se que os modelos existentes apresentam uma base teórica robusta e em evolução. No entanto, deixam claro também sobre a necessidade da proposição de um novo modelo de gestão da sustentabilidade. Desta forma, no intuito de apresentar uma proposta alinhada também a uma aplicação, esta tese apresentará uma proposta de modelo adaptada às necessidades do LabFab.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa, desenvolvida de forma exploratória, teve uma abordagem funcionalista, uma vez que apresenta uma solução funcional e prática (Burrell e Morgan, 1979). Os esclarecimentos teóricos foram adquiridos a partir de levantamento bibliográfico (pesquisas bibliográficas, análise de relatórios e documentos), e os procedimentos empíricos foram realizados por meio de entrevistas com especialistas e profissionais das áreas de ITR ou sustentabilidade e whorkshop com os gestores do LabFab.

Figura 14. Etapas da pesquisa e seus resultados.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

A estruturação dos procedimentos metodológicos seguiu o método *Design Science Research* (DSR), em que utiliza-se o conhecimento para criar artefatos úteis (Lacerda et al.,

2013). Os procedimentos metodológicos são compostos por quatro etapas ilustradas na Figura 14. A primeira etapa é de fundamental importância uma vez que o estudo da sustentabilidade na produção de ITR é um tema recente, portanto, exige a construção de uma base de conhecimento acerca do tema. A partir desta base é possível desenvolver as estratégias para a sustentabilidade de toda a cadeia de ITR. A execução da segunda, terceira e quarta etapas fornecem insumos suficientes para a obtenção do modelo de gestão da sustentabilidade, objetivo central desta pesquisa, apresentado na seção 4.5.

3.1 ETAPAS DA PESQUISA

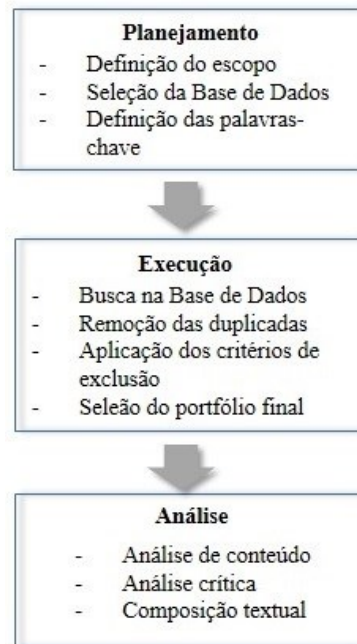
3.1.1 Etapa 1: Delineamento de como o panorama atual da produção de ITR contribui, e pode contribuir, com o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

No primeiro problema desta pesquisa buscou-se elucidar como a sustentabilidade vem sendo abordada na produção de ITR e como a produção de ITR pode contribuir com o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Esta etapa foi realizada por meio de uma busca, utilizando a metodologia de Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS).

De acordo com Kitchenham (2004), a RBS é capaz de identificar lacunas na literatura, além de fornecer uma base de conhecimento existente para apoiar novas pesquisas. O termo RBS refere-se a uma metodologia de pesquisa que visa reunir e avaliar documentos disponíveis sobre um tema específico. A Figura 15 ilustra as três principais etapas da RBS, recomendadas por Kitchenham (2004).

Na busca foram utilizadas as bases *Scopus* e *Web of Science*, aplicando a *query* de pesquisa ((sustainab* OR "circular economy" OR "life cycle" OR footprint) AND ("rare earth" OR permanent) AND magnet). Foram considerados os documentos publicados até dezembro de 2020. Foram encontrados 223 documentos na base *Scopus* e 282 na base *Web of Science*. Em seguida foram removidos os documentos duplicados, resultando em 367 documentos para a posterior análise.

Figura 15. Etapas da RBS.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Destes, 25 artigos foram selecionados para comporem o portfólio final, por atenderam ao seguinte critério de inclusão: abordar os aspectos de sustentabilidade (social, ambiental e econômico) da produção ou uso de ímãs de NdFeB. A lista completa dos 25 artigos que compõem o portfólio é apresentada no Apêndice A.

Todos os artigos do portfólio final foram analisados a partir da técnica de análise de conteúdo. Primeiramente foram extraídas informações quanto à temática abordada com o objetivo de identificar quais os temas já foram explorados pela literatura.

Os resultados obtidos nesta etapa respaldaram a lacuna de pesquisa, uma vez que a partir da análise destes documentos foi comprovada a inexistência de recomendações sobre quais aspectos e práticas da sustentabilidade devem ser priorizadas e adotadas na produção de ITR, e principalmente, não há estudos que esclarecem como as empresas de ITR devem gerir a sustentabilidade, ou como estão gerindo. As pesquisas publicadas envolvendo este tema focam, na sua maioria, na identificação de impactos ambientais ao longo da produção de ITR, o que não é suficiente para apoiar a gestão da sustentabilidade neste setor.

Posteriormente, o conteúdo de cada artigo foi analisado criticamente quanto a sua relação com os ODS. Os resultados obtidos nesta etapa estão apresentados no capítulo 4, em que os fatos sobre a produção de ITR são classificados como capazes de contribuir ou atrasar o alcance dos ODS.

3.1.2 Etapa 2: Definição as práticas prioritárias para a sustentabilidade da produção de ITR

Para a realização da Etapa 2 aplicou-se o método multicritério *Analytic Hierarchy Proces* (AHP). Os modelos multicritério auxiliam a tomada de decisão, especialmente quando é exigida uma visão global e abrangente, em que não há uma solução ótima, cabendo ao decisor selecionar ou classificar uma ou diversas alternativas.

O AHP é definido como uma aproximação para a tomada de decisão, envolvendo a estruturação de multicritérios de escolha em uma hierarquia. No método é avaliada a importância relativa desses critérios, comparam-se alternativas para cada critério e determina-se um ranking total das alternativas.

Dentre os usos do AHP está a medição de prioridades e escolha entre alternativas (Saaty, 1991), portanto, o método AHP vem sendo amplamente aplicado na definição de estratégias e ações prioritárias em diversas áreas, incluindo a sustentabilidade como o estudo desenvolvido por Veisi; Liaghati e Alipour (2016).

De acordo com Saaty (1991), o AHP é um processo de três etapas: a identificação e organização dos componentes de avaliação em uma hierarquia; os julgamentos paritários entre os componentes da hierarquia; e a síntese usando um algoritmo de solução dos resultados das comparações paritárias. A resolução do problema 2, seguindo as recomendações de Saaty (1991), está descrita nas etapas apresentadas a seguir.

3.1.2.1 Definição da hierarquia

Esta etapa compreende a decomposição de um questão complexa em componentes, de acordo com suas características comuns e a estruturação de tais componentes em uma hierarquia (VEISI; LIAGHATI; ALIPOUR, 2016). No caso desta pesquisa estes componentes são as práticas da sustentabilidade.

Tais componentes, referentes ao conjunto de possíveis práticas para a gestão da sustentabilidade no LabFab foi definido a partir da análise de conteúdo de um grupo de documentos, combinado com a iteração com especialistas.

Os documentos foram selecionados devido às suas relevâncias no contexto da sustentabilidade corporativa, ITR e metais (Quadro 9).

Quadro 9. Documentos utilizados na análise de conteúdo.

Documento	Descrição
Publicações científicas ITR e sustentabilidade: Fishman and Graedel (2019) Schreiber et al. (2019) Habib (2019) Amato et al. (2019) Ciacci et al. (2019) Nordelöf et al. (2019) Schulze et al. (2018b) Schulze et al. (2018a) Schlör et al. (2018) Marx et al. (2018) Jin et al. (2018b) Jin et al. (2018a) Arshi et al. (2018) Nlebedim and King (2018) Nordelöf and Tillman (2018) Ozoemena et al. (2018) Nordelöf et al. (2018) Yang et al. (2017) Wulf et al. (2017) Busch et al. (2017) Hernandez et al. (2017) Bailey et al. (2017) Sprecher et al. (2014) Monfared et al. (2014) Binnemans et al. (2013)	Artigos que abordam aspectos de sustentabilidade e ITR, selecionados em bases de dados científicas.
Mapping Mining to the SDGs: An Atlas (UNDP, 2016)	Este relatório, elaborado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento em conjunto com outras instituições, ilustra como a mineração pode contribuir para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).
GRI G4 Mining and Metals Sector Disclosure (GRI, 2015)	Este documento contém um conjunto de divulgações recomendadas pela GRI. ele cobre os principais aspectos do desempenho de sustentabilidade que são significativos e relevantes para o setor de Mineração e Metais.
Defining What Matters: Do companies and investors agree on what is material? (Robecosam, 2015)	Este relatório, desenvolvido pela GRI em parceria com a RobecoSam, apresenta o que as empresas do setor de metal e mineração estão relatando em seus relatórios de sustentabilidade, o que essas empresas consideram relevante e o que os investidores consideram importante relatar.
Plano Nacional de Mineração 2030 (PNM – 2030) (MME, 2011)	Este documento apresenta as diretrizes para o setor mineral no Brasil até 2030. Foi elaborado pelo governo federal brasileiro.
Usos e aplicações de Terras Raras no Brasil: 2012 – 2030 (CGEE, 2013)	Este relatório foi elaborado em conjunto por especialistas e governo, e apresenta um estudo contextual sobre a compreensão dos desafios que o Brasil deve enfrentar para o desenvolvimento das cadeias produtivas de Elementos de Terras Raras.

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Após a primeira estruturação, a partir da literatura, deu-se o primeiro processo de iteração com especialistas, em que a completude da hierarquia em construção foi verificada por um grupo focal, composto por integrantes do LabFab, durante um encontro em Minas Gerais

em Maio de 2019 (Quadro 10). Neste encontro, que durou cerca de 1 hora, a pesquisadora apresentou a hierarquia em forma de *slides*. Cada componente foi discutida com o grupo quanto à sua relevância e adequação à realidade do LabFab, o grupo pôde opinar e apresentar a sua visão em relação à completude do grupo de práticas de forma livre.

Quadro 10. Grupo Focal LabFab

Descrição dos integrantes	Quantidade
Diretor geral	1
Gerente de produção	3
Engenheiro	1
Gestora de projetos da CODEMGE	1

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

A partir da discussão com o grupo a hierarquia foi completada e então formatada em um questionário online para então ser submetida à segunda iteração, em que os especialistas descritos no Quadro 11 foram convidados a indicar as práticas consideradas por eles como relevantes para a gestão da sustentabilidade na produção de ITR. Além disso, um campo para sugestões abertas foi disponibilizado. Todo o processo foi realizado de forma online por meio da ferramenta *Google Forms*.

A lista de práticas da sustentabilidade resultante da análise bibliográfica somada às iterações é apresentadas na seção 4.2.1.

Quadro 11. Primeiro grupo entrevistado.

Descrição dos especialistas	Quantidade
Professor ou pesquisador na área de Sustentabilidade	2
Professor ou pesquisador na área de ITR	3
Profissional da área de ITR	5

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

3.1.2.2 *Julgamentos paritários*

Finalmente, a hierarquia foi avaliada de forma online por um segundo grupo de entrevistados, considerados *stakeholders* na produção de ITR no Brasil, descritos no Quadro 12. O questionário aplicado nesta etapa pode ser consultado no Apêndice B. É importante ressaltar que Saaty (2010) recomenda que o número de participantes ideal seja até 12.

Quadro 12. Segundo grupo entrevistado para o método AHP (*multi-stakeholder*).

Descrição dos <i>stakeholders</i>	Quantidade
Cliente Nacional	2
Ciente Internacional	3
Pesquisador Internacional na área de ITR	4
Fornecedor	1
Fabricante de ITR	1
Membro do governo	Não foi obtida resposta
Membro de bancos e fundos de investimento	Não foi obtida resposta

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Neste questionário os respondentes foram convidados a avaliar cada grupo de componentes de forma paritária utilizando uma escala de importâncias relativas de 1 a 9 (Figura 16). Os números indicam a força de preferência de um componente em relação ao outro. Na presente pesquisa 9 subcritérios foram avaliados estando divididos em três grupos temáticos: Ambiental, Social e Governança.

De acordo com Veisi, Liaghati e Alipour (2016) esta metodologia de medição fornece a estrutura para coleta e análise de dados e constitui o coração do AHP, nesta etapa a hierarquia é dividida em uma série de matrizes de comparações paritárias.

Figura 16. Escala de importâncias relativas

Escala numérica	Definição	Explicação
1	Igualmente importante	As duas temáticas são igualmente importantes
3	Moderadamente importante	A temática é moderadamente superior à outra
5	Muito Importante	A temática é muito mais importante que a outra
7	Muito fortemente importante	A temática é fortemente mais importante que a outra
9	Extremamente importante	A temática é extremamente mais importante que a outra

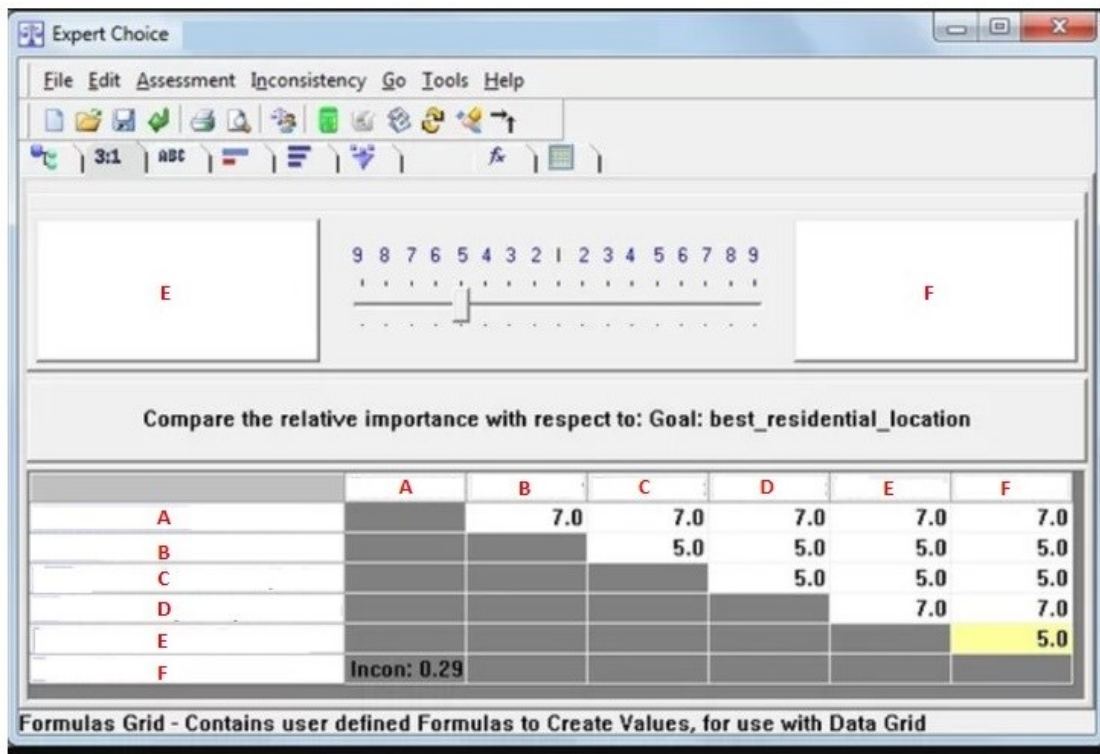
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

3.1.2.3 Síntese

Nesta etapa os dados coletados nas entrevistas foram compilados no software *Expert Choice*. A partir do preenchimento da matriz de comparações o software calcula o vetor peso, que é referente à importância relativa de cada critério em relação aos outros.

A Figura 17 ilustra a tela do software *Expert Choice* em um exemplo em que a comparação paritária entre os critérios E e F é preenchida. Neste caso o respondente atribuiu a escala 5 de importância para o Critério E em relação ao Critério F, ou seja, o Critério E é “muito importante” em relação ao Critério F.

Figura 17. Exemplo do preenchimento dos dados no software *Expert Choice*

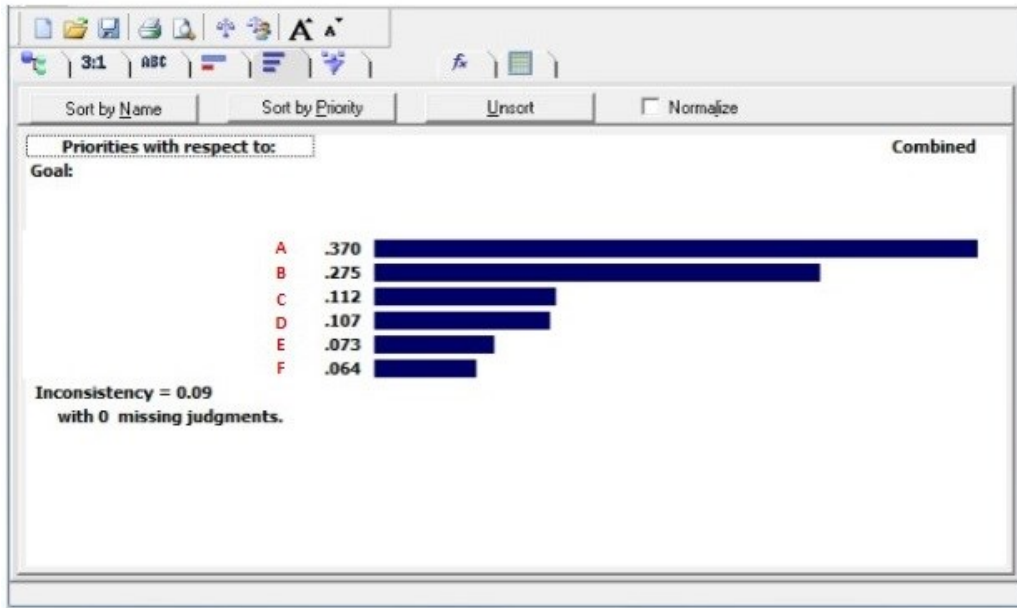


Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

De acordo com Saaty (2010) ao realizar as análises paritárias, os tomadores de decisão não as fazem de forma perfeitamente consistente. Para avaliar isto utiliza-se o cálculo da Razão de Consistência (RC), a qual mede a probabilidade da matriz de comparação de pares ter sido preenchida de forma puramente aleatória. O software *Expert Choice* também fornece este resultado. RCs com valores maior que 0,1 indica, graus de consistências insatisfatórios, e portanto não aceitável.

Caso a RC resultante seja maior que 0,1 recomenda-se a repetição das avaliações paritárias, do contrário, pode-se estabelecer as prioridades de acordo com os vetores peso.

A Figura 18 ilustra um exemplo de cálculo dos vetores pesos e da razão de consistência, após a inserção das respostas dos diversos respondentes. Neste exemplo o Critério A foi o considerado prioritário e a razão de consistência resultou em 0,09.

Figura 18. Exemplo do resultado no software *Expert Choice*

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

3.1.3 Etapa 3: Definição os passos para a gestão da sustentabilidade na produção de ITR

Para o embasamento conceitual desta etapa, analisou-se as abordagens existentes sobre a temática da gestão da sustentabilidade nos ambientes organizacionais. Portanto, realizou-se uma busca na literatura científica a respeito de modelos de gestão da sustentabilidade a fim de identificar as vantagens, elementos chave, origens e lacunas dos métodos existentes. Optou-se por selecionar as abordagens que apresentam maior relevância no contexto científico e fases de implementação definidas. Foram utilizadas as bases de dados Scopus e Web of Science e 15 documentos foram selecionados e revisados (Quadro 13). O resultado da análise destes documentos é relatada na Seção 2.3.

Com base nesta literatura revisada, foi proposto um método de aplicação contendo as etapas para a gestão da sustentabilidade, apresentado na Seção 4.3.

Quadro 13. Documentos consultados sobre modelos de gestão.

Continua

Autores	Títulos
Azapagic (2003)	<i>Systems Approach to Corporate Sustainability</i>
Cramer (2005)	<i>Experiences with structuring corporate social responsibility in Dutch industry</i>

Quadro 13. Documentos consultados sobre modelos de gestão.

Autores	Títulos	Conclusão
Rocha, Searcy e Karapetrovic (2007)	<i>Integrating sustainable development into existing management systems</i>	
Maon, Lindgreen, e Swaen (2009)	<i>Designing and implementing corporate social responsibility: An integrative framework grounded in theory and practice</i>	
Loorbach (2010)	<i>Transition management for sustainable development</i>	
Asif et al. (2011)	<i>Including sustainability in business excellence models</i>	
Kuei e Lu (2013)	<i>Integrating quality management principles into sustainability management</i>	
Asif et al. (2013)	<i>An integrated management systems approach to corporate social responsibility</i>	
Asif e Searcy (2014)	<i>Towards a standardised management system for corporate sustainable development</i>	
Maas e Reniers (2014)	<i>Development of a CSR model for practice: Connecting five inherent areas of sustainable business</i>	
CEBDS (2015)	<i>Guia dos ODS para as Empresas - Diretrizes para implementação dos ODS na estratégia dos negócios</i>	
Rebello, Santos, e Silva (2016)	<i>Integration of management systems: towards a sustained success and development of organizations</i>	
Mustapha, Manan, e Wan Alwi, (2017)	<i>Sustainable Green Management System (SGMS) – An integrated approach towards organisational sustainability</i>	
Nawaz e Koç (2018)	<i>Development of a systematic framework for sustainability management of organizations</i>	
Bastas e Liyanage (2019),	<i>Setting a framework for organisational sustainable development</i>	

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

3.1.4 Etapa 4: Verificação de consistência do modelo proposto

A verificação de consistência do modelo proposto foi realizada em um *workshop* realizado em fevereiro de 2020 na sede da CODEMGE por meio da técnica de grupo focal. Esta técnica de pesquisa qualitativa tem como objetivo coletar informações sobre um tópico definido pelo moderador a partir da comunicação e interações de um grupo de pessoas selecionadas (MORGAN, 1997). É uma técnica considerada muito apropriada para avaliação de produtos, serviços, protótipos, usabilidade de interfaces, avaliar conceitos, coletar percepções entre outros (CAPLAN, 1990; DIAS, 2000).

Para tanto, o pesquisador ou moderador deve criar um ambiente favorável à discussão, havendo um planejamento prévio sobre a temática discutida e também interferindo quando necessário para que a discussão seja encaminhada. De acordo com Dias (2000) seis pessoas são suficientes para que a discussão aconteça, por outro lado, grupos com mais de 10 pessoas dificultam o gerenciamento da entrevista em grupo.

Em Fevereiro de 2020 o modelo foi apresentado para oito gestores do LabFab em uma dinâmica na sede da empresa CODEMGE em Belo Horizonte. Este encontro teve como objetivo verificar a adequabilidade do modelo proposto à realidade do LabFab, o atendimento às expectativas dos gestores e também coletar informações sobre quais melhorias poderiam ser feitas.

O encontro foi organizado em três etapas: apresentação do modelo, simulação da utilização do modelo e avaliação do modelo. Primeiramente o modelo proposto foi apresentado pela pesquisadora. Esta etapa teve como objetivo elucidar para o grupo como o modelo foi construído, e principalmente, como cada passo do modelo deve ser executado (Figura 19).

Figura 19. Encontro realizado em Belo Horizonte em 2020



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Neste *workshop* participaram o Diretor, três gerentes de produção, o gerente de manutenção e o analista de investimentos do Labfab, assim como a coordenadora de projetos da CODEMGE. Após a apresentação do modelo de gestão proposto, os participantes foram convidados a simular o uso do mesmo. No final, os participantes preencheram uma ficha de avaliação do modelo (Apêndice C). Na Seção 4.4 serão apresentados os resultados da verificação de consistência. Nesta etapa também foi estruturada a versão final do modelo proposto, apresentada na Seção 4.5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta, analisa e interpreta os resultados obtidos nesta pesquisa, desde a coleta de dados até a demonstração da consistência do modelo proposto e a apresentação de sua versão final.

4.1 ÍMÃS DE TERRAS RARAS E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Esta seção apresenta os resultados obtidos na primeira etapa da pesquisa. Conforme já citado anteriormente, os ITRs podem contribuir diretamente no alcance do ODS de número 07 e 13. Porém, ao contribuir com tais objetivos é fundamental que sua produção também colabore, ou ao menos, não prejudique o alcance às demais ODS.

A literatura científica a cerca de ITRs e sustentabilidade é bastante fragmentada. Os estudos existentes tratam de temáticas isoladas, o que dificulta o entendimento do panorama sobre os tópicos que vem sendo investigados e as lacunas de pesquisa que devem ser preenchidas no futuro. Como ponto de partida da presente pesquisa foi fundamental o entendimento deste cenário, portanto, realizou-se uma Revisão Bibliográfica Sistemática, utilizando documentos publicados até dezembro de 2019. No total foram revisados 25 artigos científicos (APÊNDICE A). A Figura 20 apresenta as etapas desenvolvidas até a seleção dos documentos que compõem o portfólio final.

Figura 20. Etapas da Revisão Bibliográfica Sistemática



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

A partir desta revisão de literatura foi possível esclarecer que os estudos tratam de quatro temas principais de pesquisa: impacto ambiental; impacto social; aspectos econômicos e economia circular (Quadro 14).

Quadro 14. Temáticas de pesquisa identificadas

Autores	Impacto ambiental	Impacto social	Aspectos econômicos	Economia Circular
Binnemans et al. (2013)				x
Sprecher et al. (2014)	x			
Monfared et al. (2014)	x			
Yang et al. (2016)				x
Hernandez et al. (2017)	x			
Bailey et al. (2017)	x	x	x	
Wulf et al. (2017)	x	x	x	
Busch et al. (2017)				x
Nordelöf and Tillman (2018)	x			
Schulze et al. (2018a)	x			
Schulze et al. (2018b)	x			
Marx et al. (2018)	x			
Arshi et al. (2018)	x			
Ozoemena et al. (2018)	x			
Nordelöf et al. (2018)	x			
Jin et al. (2018a)	x			
Jin et al. (2018b)	x	x	x	x
Nlebedim and King (2018)				x
Schlör et al. (2018)		x		
Nordelöf et al. (2019)	x			
Schreiber et al. (2019)	x			
Amato et al. (2019)	x		x	
Habib (2019)				x
Ciacci et al. (2019)				x
Fishman and Graedel (2019)				x

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

A partir do entendimento deste cenário, em seguida é apresentado o diagnóstico de como a cadeia produtiva de ITR está relacionada com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. As metas e ações relacionadas a cada ODS e apresentadas nos quadros foram extraídas do documento *Mapping Mining to the SDGs: An Atlas* (UNDP, 2016), que ilustra como a mineração pode contribuir para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e foi desenvolvido por especialistas de diversos países.

Objetivo 7 - Energia Limpa e Acessível e Objetivo 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima

Os ITRs podem contribuir para uma economia mais verde (Quadro 15). Eles têm um papel essencial no campo das energias renováveis (AMATO et al., 2019), isso contribui com o

ODS 07, intitulado “Energia Limpa e Acessível”. Além de permitir uma geração de energia mais eficiente, as turbinas eólicas com ímãs permanentes são significativamente mais leves do que as turbinas normais, reduzindo, portanto, a quantidade de aço necessária (SCHREIBER et al. 2019).

Além disso, motores de alta eficiência diminuem o impacto da fase de uso e, portanto, também impactam significativamente na maioria das categorias de impacto (HERNANDEZ et al. 2018; NÖRDELOF et al. 2019), o que está de acordo com o ODS13, denominado “Ação Climática”, que toma ações para reduzir os impactos das mudanças climáticas (UNDP, 2016).

Quadro 15. ITRs Contribuem para uma economia mais verde

ODS e Metas	Fatos sobre ITRs
<p>ODS 07 - Energia Limpa e Acessível</p> <p>Meta Relacionada: 7.2 Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energia renovável na matriz energética global 7.3 Em 2030, dobrar a taxa global de melhoria na eficiência energética</p> <p>Ações: Incorporar energia renovável, melhorar a eficiência energética</p>	<p>ITR são aplicados em energias renováveis, em turbinas eólicas</p> <p>Turbinas eólicas e motores elétricos contendo REM são mais eficientes</p> <p>Equipamentos eletrônicos contendo REM são mais leves</p>
<p>ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima</p> <p>Meta Relacionada: 13.3 Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação global do clima, adaptação, redução de impacto, e alerta precoce à mudança do clima</p> <p>Ações: Reduzir as emissões - melhorar a eficiência energética, use energia renovável</p>	

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Objetivo 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis e Objetivo 12 - Consumo e Produção Responsáveis

Os ITRs têm grande potencial para a reciclagem e para a adoção da economia circular (Quadro 16). Este potencial para a reciclagem no final da vida útil dos ITRs permite o uso de matéria-prima secundária e diminui os impactos da extração de material natural (Busch et al., 2017; Nlebedim and King, 2018). A quantidade significativa de ETR contida nos ímãs, o torna

um recurso potencial de matérias-primas secundárias, reduzindo o custo econômico em até 70 vezes (Amato et al., 2019). Se bem gerido, cerca de até 50% da demanda anual de neodímio na União Europeia poderia ser atendida pelo fornecimento secundário doméstico atualmente (CIACCI et al., 2019). A reciclagem contribui com o ODS 11, “Cidades e Comunidades Sustentáveis”, que afirma a necessidade de mineração de depósitos não convencionais, recuperação de materiais valiosos de aterros (mineração urbana) e reciclagem de resíduos para a cadeia de abastecimento.

Economia de energia e a redução das emissões de GEE estão associadas à reciclagem de neodímio (CIACCI et al. 2019). Se comparadas, as rotas de reciclagem apresentam impactos menores do que a rota de produção primária (Schulze, et al. 2018a). Nos próximos anos, haverá um aumento da disponibilidade de material para reciclagem, incluindo materiais já existentes em uso nos equipamentos e aqueles que serão produzidos no futuro com o aumento do uso de ITRs (NLEBEDIM; KING, 2018).

Porém, atualmente existe uma escassez de tecnologias de reciclagem bem estabelecidas e adotadas industrialmente (NLEBEDIM; KING, 2018), e faltam legislações dedicadas para reciclagem e design para a desmontagem, uma vez que a recuperação do ímã NdFeB incorre em operações de desmontagem complexas (CIACCI et al. 2019), (AMATO et al., 2019).

O desafio mais significativo para a reciclagem pode ser a dificuldade em acessar e coletar materiais e dispositivos contendo ETRs (NLEBEDIM; KING, 2018). Além disso, em alguns países já existem diretrizes para resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, mas estas têm falhado na promoção da recuperação de elementos e materiais contidos em quantidades relativamente pequenas por unidade de produto, como o neodímio (CIACCI et al., 2019). Outro desafio a ser vencido é a necessidade de os processos de reciclagem serem lucrativos e escaláveis.

A literatura revisada menciona práticas de economia circular na cadeia produtiva de ITR, como a reutilização e a reciclagem de materiais e componentes (BUSCH et al., 2017; SCHREIBER et al., 2019; NÖRDELOF et al., 2019), design de produto para facilitar a reciclagem (NÖRDELOF et al., 2019), a necessidade de implementar regulamentações que obriguem a reutilização de materiais magnéticos, a necessidade e de investigar a cadeia reversa (MONFARED et al., 2014) e a possibilidade de obtenção de ETR de depósitos secundários.

Os estudos atuais sobre ITR focam principalmente o ciclo técnico de reciclagem, porém, a economia circular abrange muitos outros tópicos que precisam ser investigados. Apesar disso, os ITRs têm potencial para fomentar a economia circular e podem contribuir com

os ODS 11 e 12, que afirmam que as empresas podem colaborar com governos e em toda a cadeia de suprimentos para apoiar uma economia circular a fim de minimizar os resíduos do processo de mineração e aumentar a reutilização, reciclagem e reaproveitamento de matérias-primas e produtos para melhorar o consumo sustentável (UNDP, 2016).

Quadro 16. Potencial para a reciclagem e para a economia circular.

ODS e Metas	Fatos sobre ITRs
<p>ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis</p> <p>Meta Relacionada: 11.6 Até 2030, reduzir o impacto ambiental per capita das cidades, incluindo atenção especial à qualidade do ar e gestão de resíduos municipais e outros</p> <p>Ações: Mineração de depósitos não convencionais - re-mineração de rejeitos e mineração de resíduos urbanos</p>	<p>ITRs podem ser reciclados</p>
<p>ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis</p> <p>Meta Relacionada: 12.2 Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais 12.4 Até 2020, alcançar a gestão ambientalmente saudável de produtos químicos e todos os resíduos ao longo de seu ciclo de vida, de acordo com as estruturas internacionais acordadas, e reduzir significativamente sua liberação para o ar, água e solo 12.5 Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reutilização</p> <p>Ações: Minimizar o uso de recursos e resíduos - Minimizar a produção de resíduos, efluentes, emissões e uso de produtos químicos</p>	<p>Processos mais verdes estão sendo desenvolvidos</p> <p>ETRs podem ser recuperados de depósitos alternativos</p>

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Objetivo 15 - Vida Terrestre

Apesar dos ITRs contribuírem com os ODS apresentados até agora, a sua produção pode prejudicar o alcance do ODS 15, uma vez que os processos causam consequências ambientais negativas (Quadro 17).

A eficiência de materiais e processos é uma questão chave no REM, devido ao uso intensivo de produtos químicos e energia (SPRECHER et al., 2014; MARX et al., 2018). Além disso, os REEs são considerados materiais críticos, exigindo o uso eficiente desse recurso natural.

De acordo com Sprecher et al. (2014), 64% de neodímio é perdido ao longo da cadeia produtiva, e grandes impactos estão relacionados ao consumo de energia e produtos químicos na sua produção (MARX et al., 2018), além disso, a etapa de extração é crítica, devido ao produção de lama residual que é classificada como resíduo perigoso (AMATO et al., 2019). A eficiência do processo e o controle de emissões são fundamentais (SPRECHER et al., 2014).

Uma vez que grandes impactos estão relacionados ao uso de energia e queima de carvão duro em usinas de energia (SPRECHER et al., 2014), fontes de energia alternativas, como energia eólica e hidrelétrica são sugeridas para reduzir a pegada ambiental geral de NdFeB (JIN et al., 2018a).

Quadro 17. Consequências ambientais negativas

ODS e Metas	Fatos sobre ITRs
<p>ODS 15 - Vida Terrestre</p> <p>Meta Relacionada: 15.1 Até 2020, garantir a conservação, restauração e uso sustentável dos ecossistemas de água doce e seus serviços, em particular florestas, pântanos, montanhas e terras áridas</p> <p>Ações: Alcançar impactos positivos ou nenhum impacto negativo Preservar os serviços do ecossistema</p>	<p>Uso intensivo de produtos químicos</p> <p>Uso intensivo de energia</p> <p>Geração de resíduos tóxicos</p>

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Objetivo 3 - Saúde e Bem-Estar e Objetivo 8 – Trabalho Decente e Crescimento Econômico

A produção de ITR apresenta riscos sociais (SCHLÖR et al., 2018). Esses riscos referem-se às condições gerais de fabricação dos setores industriais que produzem ETRs. De acordo com Bailey et al. (2017), os ímãs permanentes também podem induzir conflitos geopolíticos e causar problemas de saúde para as comunidades onde são extraídos e processados.

Nenhum dos estudos analisados traz soluções práticas sobre como resolver essas consequências sociais, e isso pode ser considerado uma ameaça para o alcance dos ODS 3 e 8, que apontam a necessidade de garantir vidas saudáveis e promover o bem-estar para promover o crescimento econômico com oportunidades e trabalho decente para todos (ONU, 2015). O Quadro 18 apresenta a relação entre as ODS 3 e 8 e as consequências sociais negativas da produção de ITR.

Quadro 18. Riscos Sociais.

ODS e Metas	Fatos sobre ITRs
<p>ODS 3 - Saúde e Bem-Estar</p> <p>Meta Relacionada: 3.9 Até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças causadas por produtos químicos perigosos e poluição e contaminação do ar, da água e do solo</p> <p>Ações: Promover a saúde e a segurança no local de trabalho</p>	<p>Risco de problemas de saúde perto de locais de extração e beneficiamento de ETRs</p> <p>Condições de trabalho insatisfatórias</p>
<p>ODS 8 - Trabalho Decente e Crescimento Econômico</p> <p>Meta Relacionada: 8.8 Proteger os direitos trabalhistas e promover ambientes de trabalho seguros e protegidos para todos os trabalhadores, incluindo trabalhadores migrantes, em particular mulheres migrantes e aqueles em empregos precários.</p> <p>Ações: Oferecer trabalho decente, colaborar para acabar com o trabalho infantil</p>	

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Objetivo 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura

Os ETRs para a fabricação de ímãs de NdFeB estão sujeitos a grandes incertezas e riscos de fornecimento devido ao fornecimento quase monopolístico da China (JIN et al., 2018b). Os preços destes elementos também são muito afetados pelas políticas domésticas chinesas, já que o país controla mais de 90% da oferta global (BAILEY et al., 2017).

Os ITRs são componentes essenciais em equipamentos elétricos de alta tecnologia (DUTTA et al., 2006) e esses riscos de fornecimento são uma ameaça para o cumprimento do ODS 9, que afirma a necessidade de desenvolvimento de tecnologia e industrialização sustentável (Quadro 19).

Para mitigar o risco, as empresas estão buscando ativamente a recuperação de valor dos ímãs pós uso (JIN et al., 2018a). Uma melhoria na taxa de recuperação pode reduzir significativamente as restrições do lado da oferta (SPRECHER et al., 2014). Outra estratégia que vem sendo adotada é o início de operações de mineração de ETR em outros países.

Quadro 19. Riscos de fornecimento e incertezas

ODS e Metas	Fatos sobre ITRs
<p data-bbox="357 304 879 338">ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura</p> <p data-bbox="357 371 595 405">Meta Relacionada:</p> <p data-bbox="240 405 1067 533">9.1 Desenvolver infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e resiliente, incluindo infraestrutura regional e transfronteiriça, para apoiar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano</p> <p data-bbox="357 573 440 607">Ações:</p> <p data-bbox="240 607 1067 667">Apoiar a aquisição local, fomentar o desenvolvimento de fornecedores locais</p>	<p data-bbox="1134 371 1394 432">Mercado de ETR concentrado na China</p> <p data-bbox="1134 472 1394 506">Volatilidade de preços</p> <p data-bbox="1134 546 1394 607">Riscos de abastecimento REE</p>

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Objetivo 17 - Parcerias e Meios de Implementação

O ODS de número 17 afirma a necessidade da revitalização da parceria global para o desenvolvimento sustentável, transparência de pensamento e compartilhamento de dados geográficos (Quadro 20). No entanto, os dados sobre ETR são na sua maioria obsoletos (Sprecher et al., 2014; MARX et al., 2018; OZOEMENA et al., 2018; SCHREIBER et al., 2019; ARSHI et al., 2018; al., 2018, WULF et al., 2017; H. SCHLÖR et al., 2018). Conforme mostrado por Wulf et al. (2017), há poucos dados disponíveis para avaliar a sustentabilidade do REM.

Para superar essa situação, as empresas de mineração podem promover a transparência, compartilhando dados para permitir análises estatísticas e pesquisas científicas. Isso reforça a confiança entre empresas, governos e sociedade (UNDP, 2016).

Quadro 20. Falta de dados atualizados

ODS e Metas	Fatos sobre ITRs
<p data-bbox="357 1547 812 1581">SDG 17 – Parcerias em prol das metas</p> <p data-bbox="357 1615 595 1648">Meta Relacionada:</p> <p data-bbox="240 1648 1031 1753">17.17 Incentivar e promover parcerias públicas, público-privadas e da sociedade civil eficazes, com base na experiência e nas estratégias de obtenção de recursos das parcerias</p> <p data-bbox="357 1787 440 1821">Ações:</p> <p data-bbox="240 1821 1031 1881">Melhorar o conhecimento nacional sobre a riqueza mineral, facilitar a confiança entre o governo e as comunidades.</p>	<p data-bbox="1066 1615 1422 1675">Obsolescência e incerteza dos dados</p> <p data-bbox="1066 1715 1422 1821">A falta de dados atrapalha a transparência da cadeia de abastecimento</p>

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Finalmente, pode-se afirmar que os ITRs contribuem fortemente para o alcance de quatro dos 17 ODS: sendo eles os de números 7, 11, 12 e 13. Outros cinco ODS merecem mais atenção dos atores da indústria de ITR, são eles os de números 3, 8, 9, 15, e 17.

Oito ODS ainda não estão diretamente cobertos pela literatura revisada: “ODS 01-Erradicação da Pobreza”, “ODS 02-Fome Zero e Agricultura Sustentável”, “ODS 04-Educação de Qualidade”, “ODS 05-Igualdade de Gênero”, “ODS 06 - Água Potável e Saneamento”, “ODS 10 – Redução das Desigualdades”, “ODS 14-Vida a água ”e“ ODS 16 - Paz, Justiça e Instituições Eficazes ”.

4.2 OBTENÇÃO DO CONJUNTO DE PRÁTICAS DA SUSTENTABILIDADE

Esta seção apresenta o conjunto de práticas para a gestão da sustentabilidade na produção de ITR. Este conjunto de práticas compõem a primeira parte do modelo de gestão da sustentabilidade proposto nesta tese, é de fundamental importância, uma vez que cada negócio deve ser analisado e suas particularidades devem ser levadas em conta para garantir que as ações em prol da sustentabilidade sejam assertivas.

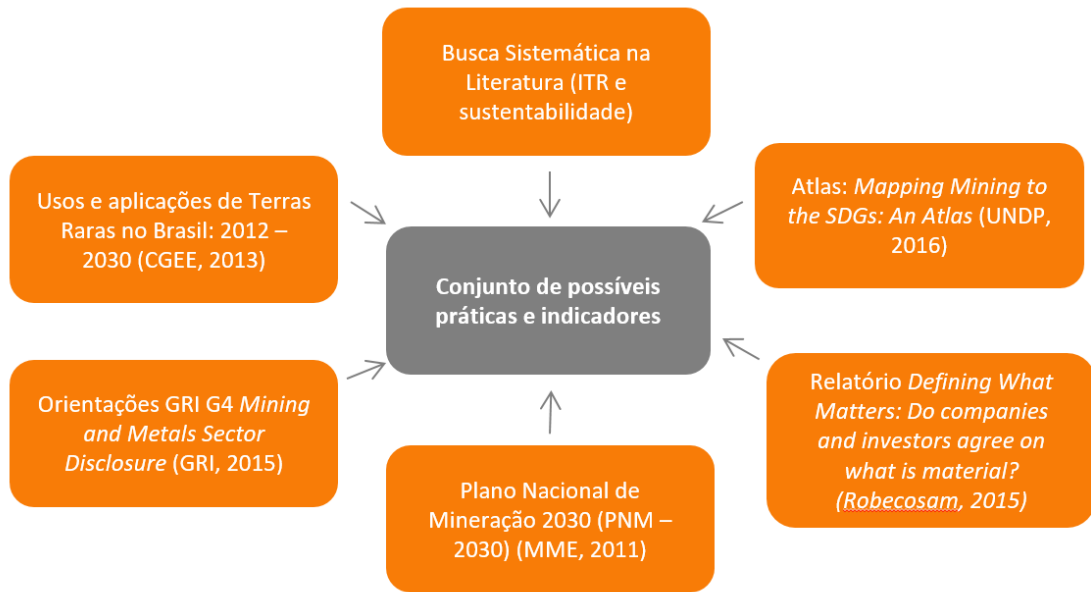
Conforme explicitado no Capítulo 3, o método multicritério AHP foi escolhido para a definição destas práticas. Para tanto, primeiramente foram definidos os componentes de avaliação (possíveis práticas) e então construída a estrutura hierárquica. Segundo Veisi, Liaghati e Alipour (2016), a estruturação de um problema de decisão em formato de hierarquia contribui com a identificação dos componentes principais do problema, para esta etapa não há uma estrutura hierárquica geral única, o AHP é flexível o suficiente para permitir a construção de uma hierarquia que atenda necessidades específicas.

4.2.1 Hierarquia dos componentes de avaliação

A hierarquia foi definida de acordo com diferentes níveis, seguindo a ordenação de critérios, sub critérios e fatores específicos, de acordo com a metodologia AHP. A Figura 21 apresenta o conjunto bibliográfico utilizado.

A partir da análise de conteúdo de tais documentos em conjunto com a interação com especialista foi obtido o conjunto apresentado no Quadro 21. A interação com os especialistas do LabFab e com os especialistas entrevistados de forma virtual (descrito no item 3.1.2.1) confirmou a relevância da hierarquia proposta e neste momento nenhuma prática foi adicionada.

Figura 21. Bibliografia utilizada para a definição dos componentes de avaliação.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Quadro 21. Visão geral dos critérios e subcritérios.

Continua

Critério	Subcritérios (Temáticas da sustentabilidade)	Fatores específicos (Práticas da Sustentabilidade)					
			A	B	C	D	E
Ambiental	Uso de materiais	A.1) Prevenção de resíduos e desperdícios					
		A.2) Reaproveitamento de resíduos gerados na produção					
		A.3) Uso de matéria prima de fonte secundária (reciclagem)					
	Efluentes, Emissões e Biodiversidade	A.4) Redução do uso de água					
		A.5) Redução do uso de energia					
		A.6) Redução da quantidade de resíduos tóxicos e perigosos gerados na produção					
		A.7) Utilização de matriz energética limpa					
		A.8) Redução das emissões dos gases do efeito estufa gerados na produção e transporte					
		A.9) Redução das emissões fugitivas no processo					
	Uso e Fim de Vida	A.10) Apoio aos clientes para projetar para a desmontagem (<i>design for disassembly</i>)					
		A.11) Ações para gerir o destino final do produto					

Quadro 21. Visão geral dos critérios e subcritérios.

Critério	Subcritérios (Temáticas da sustentabilidade)	Fatores específicos (Práticas da Sustentabilidade)	Conclusão				
			A	B	C	D	E
Social	Saúde e segurança	S.1) Redução do uso de materiais tóxicos (câncer e doenças ocupacionais)					
		S.2) Preparo para emergências					
		S.3) Redução de acidentes de trabalho e medidas tomadas após o acidente					
	Desenvolvimento dos funcionários e da comunidade	S.4) Atuação junto a escolas e oferecer capacitação para a comunidade					
		S.5) Capacitação para os funcionários					
		S.6) Contratação de trabalhadores locais					
	Relações de trabalho	S.7) Ações a favor da equidade de gênero e diversidade em cargos de gestão e salários					
		S.8) Taxas de regresso ao trabalho e de retenção após a licença parental, por sexo					
		S.9) Benefícios oferecidos a funcionários					
Governança	Gestão da cadeia	G.1) Avaliação dos impactos ambientais negativos na cadeia de suprimentos e ações tomadas					
		G.2) Seleção de novos fornecedores utilizando critérios de práticas trabalhistas, direitos humanos e impactos ambientais					
		G.3) Desenvolvimento de fornecedores locais					
		G.4) Avaliação dos impactos de fornecedores em áreas com Restrição Legal em terras indígenas					
	Transparência	G.5) Transparência de pagamentos para governo (risco de corrupção)					
		G.6) Comunicação das ações de sustentabilidade					
		G.7) Código de conduta e ética alinhado com a sustentabilidade					
	Envolvimento dos Stakeholders	G.8) Atendimento das expectativas de clientes e investidores					
		G.9) Atendimento das expectativas dos funcionários e comunidade local					

Legenda: A: (GRI e ROBECOSAM, 2016), B: (CGEE, 2013) e (MME, 2011), C: (GRI, 2015), D: (UNDP 2016) e E: RBS. Fonte: Elaborada pela autora.

Em seguida cada critério é descrito e discutido com embasamento da literatura.

4.2.1.1 Ambiental

O primeiro critério global da hierarquia é referente ao aspecto ‘Ambiental’ da sustentabilidade, que engloba as atividades que têm interação com o meio ambiente, e podem causar impactos ambientais, positivos ou negativos.

A seguir são apresentados os três subcritérios relacionados com o aspecto ambiental: uso de materiais, efluentes, emissões e biodiversidade e uso e fim de vida.

4.2.1.1.1 Uso de materiais

A principal matéria-prima para a produção de ITR são os ETR, e conforme já explicado, estes elementos são classificados como materiais críticos, e apresentam impactos ambientais no seu processo produtivo, portanto, o uso de matéria-prima na produção de ITR deve ser reduzido (ARSHI, et al., 2018). A redução no uso de matérias-primas naturais na fabricação de ITR pode ser realizada pela redução de desperdícios ao longo do processo produtivo e por meio da utilização de matérias-primas secundárias.

A redução de desperdícios na produção de ITR pode ser alcançada através do maior controle da qualidade, evitando desperdícios por não conformidade, e pela adoção de novas tecnologias de fabricação, como as *netshape*, que evitam etapas de retirada de material para a obtenção do formato final do produto.

Matérias-primas de origem secundária, advindas da reciclagem, apresentam menor impacto ambiental (Jin et al., 2018b). Portanto o reaproveitamento interno de resíduos da produção deve ser praticado, como por exemplo, o reaproveitamento do cavaco da etapa de usinagem e até mesmo do fluido de corte desta mesma etapa.

Apesar de não apresentar diretrizes ambientais específicas para a produção de ETR e ITR, o Plano Nacional de Mineração (PNM, 2011) aborda a produção sustentável e a reciclagem de metais como um desafio para o setor mineral brasileiro, diminuindo a demanda por recursos naturais e o consumo de energia, reduzindo assim impactos ambientais e custos.

A importância da reciclagem de metais é enfatizada pela PNM (2011), o qual afirma que atualmente a reciclagem de metais no Brasil gera mais de 500 mil empregos, e ainda existe a necessidade de adequação do setor à Política Nacional dos Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 de 12 de agosto de 2010, em que o setor mineral deve estabelecer uma clara diretriz quanto à reciclagem de metais e de outros minérios.

Além disso, o descarte inadequado de equipamentos contendo ETRs contamina o meio ambiente, o que pode se tornar um grande problema quando se observa que a cada ano, a indústria de eletrônicos gera até 41 milhões de toneladas de resíduo eletrônico, o número de consumidores tem aumentado e a vida útil dos dispositivos diminuído para atender o desejo do “mais novo e melhor” (BALARAM, 2019).

O guia GRI para o setor de metais aconselha o relato da porcentagem de materiais utilizados que são advindos de reciclagem, visando a comunicação da capacidade da organização de usar insumos reciclados. De acordo com o GRI, (2013) o uso de materiais reciclados também pode contribuir para a redução dos custos operacionais da empresa, e reduzir a dependência da organização por recursos naturais.

Além disso, o relatório desenvolvido pela GRI e Robecosam (2016) aponta que na visão dos investidores é muito importante aumentar o uso de matéria prima reciclada, o relatório mostra também que as indústrias analisadas têm relatado os impactos dos materiais utilizados.

O reaproveitamento de resíduos, a mineração urbana, a reciclagem e a minimização do uso e desperdício de recursos também são estratégias apontadas para o alcance dos ODS (UNDP, 2016). Os resíduos metálicos valiosos podem se tornar economicamente viáveis por meio da sua recuperação e retorno para a cadeia de fornecimento, colaborando com a transformação de cidades mais sustentáveis (UNDP, 2016). Além disso, a minimização do uso e desperdício de recursos propicia a transformação da produção sustentável (UNDP, 2016).

Portanto, tais considerações podem ser englobadas pelas seguintes práticas:

- A.1) Prevenção de resíduos e desperdícios
- A.2) Reaproveitamento de resíduos gerados na produção
- A.3) Uso de matéria prima de fonte secundária (reciclagem)

4.2.1.1.2 Emissões gasosas, Efluentes líquidos e Resíduos sólidos:

Como emissões entende-se a liberação de gases na atmosfera. Na produção de ITR, as emissões mais significativas ocorrem na queima de combustíveis fósseis para o transporte da matéria prima e do produto acabado e na queima de combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica para a produção. Também podem ocorrer emissões fugitivas quando os gases são lançados na atmosfera sem controle, como no caso de vazamentos e abertura de reservatórios que contenham substâncias voláteis. Segundo Fernandes (2019), as emissões fugitivas podem ocorrer em diversos processos.

Portanto, as emissões estão presentes em todos os processos de transporte dos insumos e do produto acabado, além de ser significativa dependendo do tipo de fonte energética que alimenta a fábrica. Neste último ponto o LabFab apresenta uma vantagem ambiental em relação às empresas em países que têm a matriz energética baseada na queima de combustíveis. De acordo com Fernandes (2019), no caso da produção de ITR no Brasil, as emissões geradas no transporte de matéria prima é um dos impactos mais significativos, portanto deve-se reduzir as distâncias de transporte, principalmente optando por fornecedores nacionais de matéria-prima.

De acordo com o relatório elaborado pela Robecosam (2015), dentre os aspectos mais relatados pelas empresas do setor de metais e mineração estão o consumo energético, as reduções de consumo alcançadas e as emissões resultantes das operações. Dentre os aspectos considerados pelas empresas como muito importantes está a estratégia climática, que está diretamente relacionada às emissões. De acordo com o mesmo relatório, na visão dos investidores é fundamental que os produtos gerados promovam a eficiência energética na fase de uso, pois apresentam oportunidades de crescimento no mercado e colaboram com a estratégia climática.

Conforme o Plano Nacional da Mineração (PNM, 2013), o Ministério de Minas e Energia deve contribuir para que o setor mineral do país seja proativo na chamada descarbonização, por meio do Plano Nacional de Mudanças Climáticas. A lei Lei nº 12.187/09, de 29 de dezembro de 2009, instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), estabelecendo seus princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos. É importante ressaltar que o cumprimento deste plano está diretamente ligado ao aumento na utilização de aplicações de ITRs, seja para geração de energia limpa, por meio de ímãs aplicados em geradores eólicos, seja para um maior controle de emissões atmosféricas, por meio da utilização de motores elétricos eficientes, carros elétricos e equipamentos mais eficientes (CGEE, 2013).

Durante o processo produtivo de ITR também são gerados efluentes líquidos e resíduos sólidos, os efluentes industriais, segundo a ABNT – NBR 9800/1987, são “*despejos líquidos provenientes das áreas de processamento industrial, incluindo os originados nos processos de produção, as águas de lavagem de operação de limpeza e outras fontes, que comprovadamente apresentem poluição por produtos utilizados ou produzidos no estabelecimento industrial.*”. Já os resíduos são sobras de materiais advinda da produção que não podem ser descartadas sem controle. A usinagem gera efluentes líquidos e o processo de usinagem gera o principal resíduo sólido, o cavaco composto por NdFeB oxidado e fluido de corte. Além, disso há uso intensivo de água nos processos de refrigeração, principalmente no Strip Casting.

O Plano Nacional de Mineração (PNM, 2013) visa o apoio a medidas que promovam a utilização mais eficiente dos recursos hídricos nos processos produtivos, incluindo o tratamento de efluentes e o aumento da recirculação da água. A redução do consumo de água, a aplicação de medidas de eficiência energética e a redução de resíduos ou até seu reaproveitamento também são citadas como fundamentais para o alcance dos ODS (UNDP, 2016), assim como são reportadas nos relatórios de sustentabilidade de empresas do setor de metais e considerados fundamentais pelos investidores (REBECOSAM, 2015).

Além disso, a literatura recente sobre sustentabilidade e Terras Raras apontam uma tendência no desenvolvimento de tecnologias para redução de resíduos nas etapas de mineração, separação e redução, que são as etapas com maior impacto devido a resíduos perigosos. Nesta pesquisa tais etapas estão compreendidas nos impactos dos fornecedores, trada adiante.

As considerações expostas são englobadas pelas seguintes práticas:

A.4) Redução do uso de água

A.5) Redução do uso de energia

A.6) Redução da quantidade de resíduos tóxicos e perigosos gerados na produção

A.7) Utilização de matriz energética limpa

A.8) Redução das emissões dos gases do efeito estufa gerados na produção e transporte

A.9) Redução das emissões fugitivas no processo

4.2.1.1.3 Uso e fim de vida do produto

Além das etapas de produção, as fases de uso do produto e de fim de vida também são muito significativas, englobando desta forma, todo o conceito de ciclo de vida do produto (UNDP, 2016).

Tanto as recomendações do UNDP (2016), quanto o relatório criado pela GRI e Robecosam (2016) enfatizam a importância de os produtos promoverem a eficiência energética. Na visão dos investidores, por exemplo, os produtos que contribuem para a redução do peso de veículos têm grandes oportunidades de crescimento no mercado, pois diminuem as emissões de gases de efeito estufa (GRI E ROBECOSAM, 2016).

Na fase de uso, os ITR são capazes de promover eficiência energética, quando utilizado em motores elétricos eficientes e equipamentos eletrônicos mais leves. Além disso, os ITR também têm um importante papel na transformação energética durante o seu uso, quando

utilizados em geradores eólicos, colaborando assim com a diminuição das emissões (CGEE, 2013)

O relato sobre a responsabilidade pelo ciclo de vida do produto é especialmente recomendado para empresas do setor de metais, uma vez que empregam cadeias de suprimentos complexas e grandes volumes de materiais (GRI, 2013b). É importante ressaltar que práticas de responsabilidade por todo o ciclo de vida do produto (mineração, produção uso e descarte) geram oportunidades para viabilizar a reciclagem e implementação da economia circular como um todo ((GRI, 2013b)

De acordo com o PNM (2011), apesar das atividades de reciclagem de metais serem importantes economicamente no Brasil, existem grandes desafios relacionados aos processos de desmantelamento, coleta e transporte dos materiais. Tais dificuldades têm atrasado e limitado a adoção da Política Nacional dos Resíduos Sólidos.

Apesar disso, a colaboração entre diversos atores da cadeia produtiva de ITR, como fabricantes de ITR, fabricantes de equipamentos e recicladores, pode alavancar a construção de um sistema circular.

Portanto, tais considerações podem ser englobadas pelas seguintes práticas:

A.10) Apoio aos clientes para projetar para a desmontagem (*design for disassembly*)

A.11) Ações para gerir o destino final do produto

4.2.1.2 Social

O segundo critério global da hierarquia é referente ao aspecto Social da sustentabilidade, que engloba as atividades que têm interação com a sociedade, e visam melhorar a qualidade de vida da população como um todo.

A seguir são apresentados os três subcritérios relacionados com o aspecto social: saúde e segurança, desenvolvimento dos funcionários e da comunidade, e relações de trabalho.

4.2.1.2.1 Saúde e segurança

A segurança e saúde ocupacional constam entre os desafios apontados pelo PNM (2011) para o alcance da sustentabilidade na cadeia produtiva mineral brasileira. De acordo com o estudo feito por Fernandes (2019), 82% dos elementos utilizados como insumos e matéria prima na produção de ITR são classificados como perigosos pela ANTT (Tabela 3).

Tabela 3. Classificação dos materiais utilizados na transformação de óxido de didímio até o ímã pronto

Substância	Classificação	
Óxido De Didímio	Sólidos Inflamáveis	4.1
Fluoreto de didímio (PrNdF ₃)	Substâncias Tóxicas ou Infectantes	6.1
Fluoreto de lítio (LiF)	Substâncias Tóxicas ou Infectantes	6.1
Gás Carbônico	Gases	2.2
Ácido Fluorídrico (Hf)	Substâncias Tóxicas ou Infectantes	6.1
Óxido de Didímio (Particulado Fino)	Sólidos Inflamáveis	4.1
Ferro (Fe)	Sólidos Inflamáveis	4.2
Nd,Pr Particulado Fino	Sólidos Inflamáveis	4.1
Gás nitrogênio	Gases	2.2
Gás Hidrogênio	Gases	2.1
Gás Argônio	Gases	2.2
Nd,Pr metálico (particulado fino)	Sólidos Inflamáveis	4.1
Gás Argônio	Gases	2.2
Fluído de Corte	Líquidos Inflamáveis	3.0
Hidróxido de Sódio	Substâncias Corrosivas	8.0
Sulfato de Níquel	Substâncias e Artigos Perigosos Diversos	9.0
Cloreto de Níquel	Substâncias Corrosivas	8.0
Sulfato de Cobre	Substâncias e Artigos Perigosos Diversos	9.0

Fonte: Fernandes (2019)

O processo produtivo apresenta risco de combustão, o óxido de didímio, principal matéria prima para a fabricação da liga, tem risco de explosão em contato com oxigênio, portanto seu processamento é realizado em ambiente inerte, com atmosfera de Argônio. Ainda de acordo com Fernandes (2019), o processo produtivo libera gases e resíduos tóxicos, como o caso do Cloreto de Níquel, Gás Carbônico, Fluido de Corte entre outros. A autora analisou o processo desde a redução até a finalização do ímã, porém, o projeto atualizado do LabFab não abrange as etapas identificadas por ela como de maior risco, pois a redução do óxido e o revestimento do ímã será feito fora do LabFab. Apesar destes riscos não estarem mais associados diretamente aos funcionários do LabFab, eles ainda existem ao longo da cadeia e devem ser monitorados na avaliação de fornecedores. Além disso, a GRI (2015) recomenda que as empresas do ramo de metais forneçam uma descrição de cada acidente que resulte em fatalidade e as medidas tomadas após o acidente.

Para o cumprimento do ODS3: *Boa Saúde e Bem-Estar*, as empresas devem melhorar a saúde ocupacional e segurança e devem prevenir a emissão de substâncias tóxicas para o meio ambiente. (UNDP, 2016). De acordo com o relatório criado pela GRI e Robecosam (2013), a segurança e saúde ocupacional é um dos aspectos mais relatados pelas empresas e também um

dos aspectos considerados mais importantes pelos investidores, uma vez que um bom desempenho de saúde e segurança no ambiente de trabalho melhora a lucratividade por meio da redução de custos de produção e penalidades, assim como reduz os riscos.

O guia GRI tem foco em toda a cadeia produtiva dos metais e alerta sobre a importância da aplicação da Convenção sobre segurança e saúde nas minas (IOT 176). A literatura científica consultada também aponta riscos sociais na etapa de mineração, pois podem induzir conflitos geopolíticos e causar problemas de saúde para as comunidades onde os ETR são extraídos e processados (BAILEY, MANCHERI e VAN ACKER, 2017), e o relatório desenvolvido por CGEE (2013), aponta o risco causado pelos elementos radioativos associados à produção de TR. Porém, esta pesquisa tem a fase de produção de ímãs como escopo, sendo assim, a segurança e saúde nas minas deve ser tratada na avaliação de fornecedores.

O processo produtivo de ITR apresenta riscos para a saúde e segurança, principalmente pelo risco de explosão do Nd metálico. Portanto, as seguintes práticas devem ser realizadas:

- S.1) Redução do uso de materiais tóxicos (câncer e doenças ocupacionais)
- S.2) Preparo para emergências
- S.3) Redução de acidentes de trabalho e medidas tomadas após o acidente

4.2.1.2.2 Desenvolvimento dos funcionários e da comunidade

Um negócio comprometido com a sustentabilidade deve colaborar com o desenvolvimento da comunidade local e seus funcionários, atendendo o ODS 4 *Educação de Qualidade*. O LabFab trabalha com um processo produtivo bastante especializado, englobando tecnologias recentes, desta forma há necessidade de que os trabalhadores também sejam altamente capacitados. Por se tratar de processos que não são usuais na região, o LabFab precisa contratar especialistas de diversas regiões e para que também possa empregar trabalhadores locais deverá realizar programas de capacitação, analisando e preenchendo as lacunas de capacitação da região.

De acordo com UNDP (2016), as empresas podem colaborar com grupos comunitários, escolas e universidades para a implementação de grades curriculares adequadas e conectá-los a oportunidades de emprego em toda a cadeia, uma vez que a formação e educação lideradas pela empresa podem construir habilidades técnicas específicas necessárias para o desempenho do trabalho.

Desta forma, deve-se incentivar as seguintes práticas:

- S.4) Atuação junto a escolas e oferecer capacitação para a comunidade
- S.5) Capacitação para os funcionários

S.6) Contratação de trabalhadores locais

4.2.1.2.3 Relações de trabalho

Além do cumprimento das leis trabalhistas vigentes no país, as empresas devem ter ações discricionárias em prol das boas relações de trabalho, que colaboram com a saúde e bem estar dos funcionários.

Ações em prol do tópico de igualdade de gênero, representado pelo ODS 5, colaboram com a construção de uma sociedade mais justa e trazem benefícios econômicos, uma vez que um ambiente com diversidade é mais propício a inovação, empresas que têm mulheres em cargos de gestão tendem a ser mais lucrativas. A GRI (2015) sugere o monitoramento de indicadores como diversidade, oportunidades e a não discriminação. Além da equidade salarial, deve-se promover posições de liderança para mulheres, proporcionando o desenvolvimento de carreiras (UNDP, 2016).

Este tópico de relações de trabalho é mais presente nos documentos desenvolvidos pela GRI (2015) e UNDP (2016). A literatura sobre ITR encontrada nas bases de dados científicos citam as relações de trabalho apenas pelos riscos de saúde, já tratado no tópico anterior.

Desta forma, as práticas a serem implementadas são:

S.7) Taxas de regresso ao trabalho e de retenção após a licença parental, por sexo

S.8) Ações a favor da equidade de gênero e diversidade em cargos de gestão e salários

S.9) Benefícios oferecidos a funcionários

4.2.1.3 Governança

Conforme já citado, as ações de sustentabilidade dentro da esfera corporativa são conhecidas pelo termo ESG. É interessante destacar que diferentemente do conceito clássico de sustentabilidade, que considera os âmbitos ambiental, social e econômico, a sigla ESG contempla também a Governança.

Refletindo a forma como a empresa é dirigida e monitorada, a governança é fundamental para que a sustentabilidade esteja no centro da estratégia e das ações das empresas. A governança corporativa “*envolve os relacionamentos entre sócios, conselho de administração, diretoria, órgãos de fiscalização e controle e demais partes interessadas*” (IBGC, 2015). Esta dimensão trata dos temas que orientam a empresa a alinhar sua gestão aos

conceitos de responsabilidade social empresarial e sustentabilidade, por meio de leis e regras que regem o que deve ser considerado nas tomadas de decisão (Ethos, 2020). Desta forma, a governança se diferencia da gestão, a governança estabelece as diretrizes, considerando fatores inter organizacionais e a gestão planeja e executa as ações dentro da organização.

A seguir são apresentados os três subcritérios relacionados com a governança: transparência, envolvimento dos *stakeholders* e gestão da cadeia.

4.2.1.3.1 Gestão da cadeia

A gestão da cadeia foi enquadrada no aspecto de governança uma vez que o desenvolvimento da cadeia de ITR no país faz parte do propósito do LabFab, sendo que este foi concebido para fomentar o desenvolvimento de uma cadeia de alto valor agregado no Brasil.

As empresas de mineração e metalurgia podem ter um papel ativo na promoção da indústria nacional (PNM, 2013) e para tanto deve-se fortalecer as cadeias de valor locais (UNDP, 2016). Ao mesmo tempo, o LabFab tem o compromisso de prezar pela sustentabilidade. Desta forma, as práticas a serem monitoradas são:

G.1) Avaliação dos impactos ambientais negativos na cadeia de suprimentos e ações tomadas

G.2) Seleção de novos fornecedores utilizando critérios de práticas trabalhistas, direitos humanos e impactos ambientais

G.3) Desenvolvimento de fornecedores locais

G.4) Avaliação dos impactos de fornecedores em áreas com Restrição Legal em terras indígenas

4.2.1.3.2 Transparência:

A transparência é a matéria prima para a governança. De acordo com o Instituto Brasileiro Governança Corporativa (IBCG, 2015) a transparência baseia-se na intenção de fornecer informações discricionárias aos *stakeholders*, ou seja, disponibilizar informações de seu interesse além daquelas exigidas por leis e regulamentações. Estas informações não devem se limitar ao desempenho econômico, podendo abranger fatores intangíveis e aqueles que direcionam a ação gerencial da empresa.

Por se tratar de uma empresa de capital misto, identificou-se a necessidade de haver transparência dos pagamentos realizados ao governo, como impostos, taxas, juros entre outros.

O compromisso com a sustentabilidade também deve ser comunicado de forma transparente por meio da própria comunicação das ações de sustentabilidade e do código de conduta e ética. Desta forma, as práticas a serem monitoradas são:

G.5) Transparência de pagamentos para governo (risco de corrupção)

G.6) Comunicação das ações de sustentabilidade

G.7) Código de conduta e ética alinhado com a sustentabilidade

4.2.1.3.3 Envolvimento dos *Stakeholders*

O envolvimento dos *stakeholders* diz respeito ao atendimento das expectativas e necessidades dos diversos atores como clientes, investidores, fornecedores, colaboradores, governo e a sociedade em geral. Este é um diferencial das empresas atentas às ações sustentáveis, pois representa um compromisso de que a tomada de decisões considera fatores além do lucro. Portanto, as seguintes práticas devem ser monitoradas:

G.8) Atendimento das expectativas de clientes e investidores

G.9) Atendimento das expectativas dos funcionários e comunidade local

4.2.2 Julgamentos paritários e obtenção da matriz de julgamento

A partir do conjunto de práticas descrito anteriormente, realizou-se a formatação delas em forma de questionário, e este então foi submetido à avaliação dos *stakeholders*.

No questionário, apresentado no Apêndice B, os respondentes foram convidados a avaliar os fatores específicos (práticas), e posteriormente realizar o julgamento paritário dos subcritérios (grupos temáticos). Estas entrevistas foram realizadas com a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisas da Universidade Federal de Santa Catarina CAAE 31116920.8.0000.0121.

Na Avaliação dos fatores específicos, os respondentes indicaram quais práticas são consideradas relevantes para a gestão da sustentabilidade na produção de ITR. O Quadro 22 apresenta os resultados obtidos.

Quadro 22. Avaliação dos fatores específicos

Subcritérios (Grupos temáticos)	Fatores específicos (Práticas)	Votos
Uso de materiais	A.1) Prevenção de resíduos e desperdícios	10
	A.2) Reaproveitamento de resíduos gerados na produção	9
	A.3) Uso de matéria prima de fonte secundária (reciclagem)	11
Emissões, Efluentes e Resíduos	A.4) Redução do uso de água	8
	A.5) Redução do uso de energia	9
	A.6) Redução da quantidade de resíduos tóxicos e perigosos gerados na produção	7
	A.7) Utilização de matriz energética limpa	7
	A.8) Redução das emissões dos gases do efeito estufa gerados na produção e transporte	8
Uso e Fim de Vida	A.9) Redução das emissões fugitivas no processo	7
	A.10) Apoio aos clientes para projetar para a desmontagem (<i>design for disassembly</i>)	10
Saúde e segurança	A.11) Ações para gerir o destino final do produto	8
	S.1) Redução do uso de materiais tóxicos (câncer e doenças ocupacionais)	10
	S.2) Preparo para emergências	8
Desenvolvimento dos funcionários e da comunidade	S.3) Redução de acidentes de trabalho e medidas tomadas após o acidente	19
	S.4) Atuação junto a escolas e oferecer capacitação para a comunidade	7
	S.5) Capacitação para os funcionários	11
Relações de trabalho	S.6) Contratação de trabalhadores locais	8
	S.7) Ações a favor da equidade de gênero e diversidade em cargos de gestão e salários	7
	S.8) Taxas de regresso ao trabalho e de retenção após a licença parental, por sexo	7
Gestão da cadeia	S.9) Benefícios oferecidos a funcionários	9
	G.1) Avaliação dos impactos ambientais negativos na cadeia de suprimentos e ações tomadas	7
	G.2) Seleção de novos fornecedores utilizando critérios de práticas trabalhistas, direitos humanos e impactos ambientais	10
	G.3) Desenvolvimento de fornecedores locais	8
	G.4) Avaliação dos impactos de fornecedores em áreas com Restrição Legal e terras indígenas e ações tomadas	9
Transparência	G.5) Transparência de pagamentos para governo (risco de corrupção)	9
	G.6) Comunicação das ações de sustentabilidade	9
	G.7) Código de conduta e ética alinhado com a sustentabilidade	10
Envolvimento dos Stakeholders	G.8) Atendimento das expectativas de clientes e investidores	9
	G.9) Atendimento das expectativas dos funcionários e comunidade local	8

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Todos os fatores específicos foram, em algum momento, marcados como relevante, portanto considerou-se que todos são relevantes para a sustentabilidade da produção de ITR.

Os respondentes (R) puderam fazer observações livremente e a maioria focou na necessidade de apoio a economia circular, como as sugestões de redução do uso de materiais, pela substituição de TR pesadas por leves e pelo projeto de componentes que utilizam menos material; de reaproveitando matérias-primas e de apoio ao uso de ímãs advindos da reciclagem.

R1:

“Há que se considerar muito a necessidade de práticas voltadas à manufatura reversa e economia circular. Em diversas práticas de reciclagem é evidente que a reciclagem não irá acompanhar a demanda de produção e portanto é necessário não apenas apoiar os projetos de desmontagem, mas também o reaproveitamento máximo de matérias primas.”

R2:

“Help the customer to design magnetic system according magnetic properties of recycles magnets”

R3:

“Reduce Rare Earth especially HRE in our products by driving producers to innovation in R&D and involving dedicated Universities”

R4:

“Design of permanent magnet circuits that need less permanent magnet material”

Além disso, um respondente fez uma observação relacionada ao aspecto social:

A partir de tais observações a prática “Apoio aos clientes para projetar para a desmontagem (design for disassembly)” foi substituída por **“Cooperação para a economia circular (ex: apoio aos clientes para projetar para a desmontagem)”**, abrangendo a economia circular e não apenas uma das recomendações propostas por ela.

Outro respondente comentou sobre a importância do aspecto de treinamento e segurança, já cobertos pelas práticas listadas acima.

R5:

“Imprescindível a capacitação máxima de mão de obra para o manuseio de materiais tóxicos, maioria presente nos produtos em questão. A valorização da comunidade em torno do negócio também requer atenção.”

Outra questão levantada foi quanto ao impacto positivo que os ITR têm ao serem aplicados para geração de energia limpa e em motores elétricos eficientes. A partir de tal observação foi adicionado prática **“Aplicação dos ITR produzidos em energias renováveis e**

motores eficientes”. O monitoramento do tipo de aplicação em os ITR produzidos no LabFab é importante para garantir que o empreendimento está realmente colaborando com a descarbonização da economia.

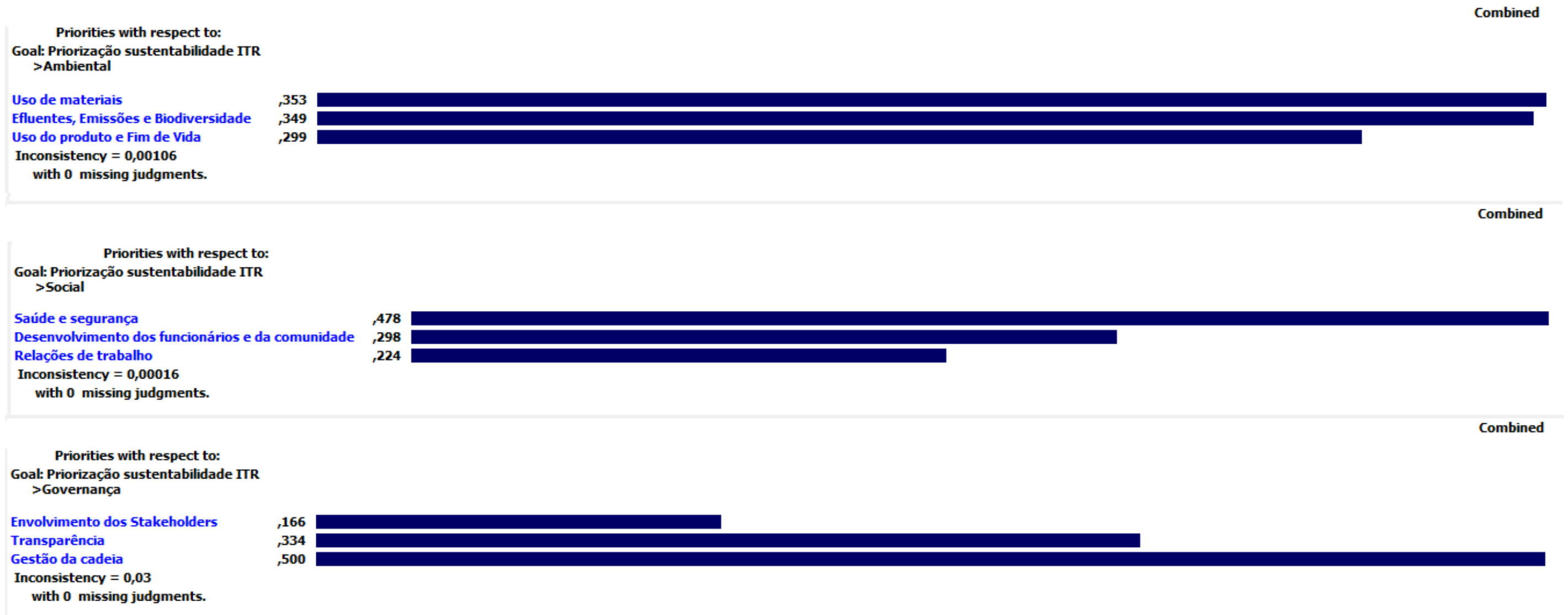
A fim de evitar repetições, o conjunto final de práticas, com as adições acima, será apresentado na seção 4.5.1, após a verificação de consistência, etapa em que mais práticas foram adicionadas.

4.2.3 Síntese dos resultados

Na última etapa para a obtenção do conjunto de práticas prioritárias, os julgamentos paritários foram compilados no software *expert choice*. O software realiza o cálculo do vetor peso, ou vetor prioridade a partir de uma matriz resultante da comparação par a par dos elementos de avaliação.

É também nesta fase que a medida de consistência é verificada, permitindo a identificação de possíveis erros ou inconsistências nos julgamentos dos respondentes. Conforme citado no item 3.1.2 a RC deve ser menor que 0,1. A Figura 22 apresenta a tela do software indicando que todas as análises apresentaram inconsistência menor que 0,10.

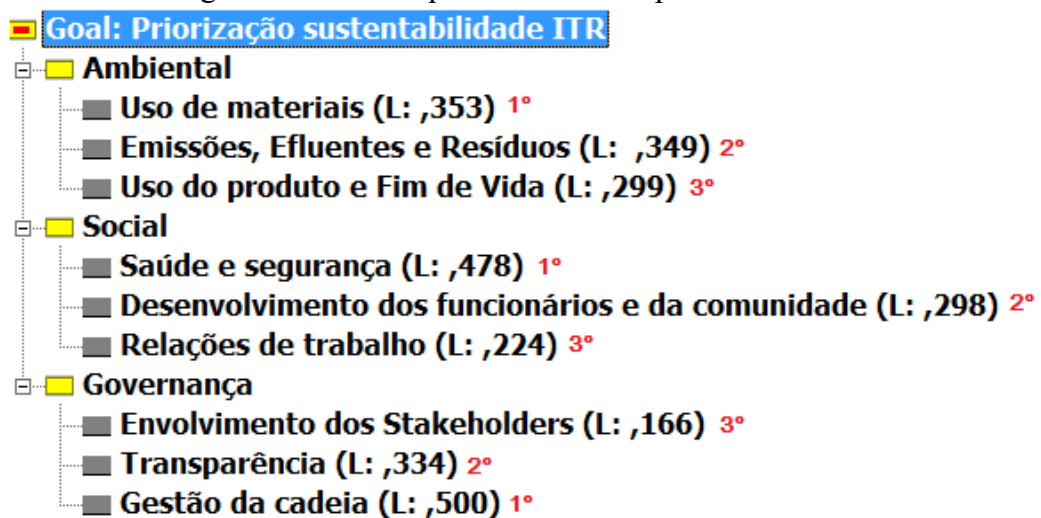
Figura 22. Resultados na tela do *software* Expert Choice



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A Figura 23 apresenta a tela do *software* com os resultados priorizados de acordo com as vetores peso obtidos. A temática “Uso de Materiais” foi considerado o grupo de práticas mais relevante no aspecto ambiental, “Saúde e Segurança” foi considerado o grupo de práticas mais relevante no aspecto Social e a “Gestão da Cadeia” foi considerado o grupo de práticas mais relevante no aspecto. Estes resultados indicam, de acordo com a percepção dos *stakeholders*, quais ações devem ser priorizadas na gestão da sustentabilidade na fabricação de ITR.

Figura 23. Vetores peso e resultados priorizados.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Um grande desafio na criação do conjunto de práticas ESG foi compilar as informações contidas em documentos dispersos, de forma adequada a abranger todos os pilares da sustentabilidade. Para tanto foi necessário um conhecimento profundo do processo produtivo de ITR. O estudo da sustentabilidade na produção de ITR é um tema recente, portanto, exigiu a construção da base de conhecimento.

A partir das buscas bibliográficas em literatura científica encontrou-se abundância de informações sobre os impactos ambientais negativos nas etapas produtivas de ITR e equipamentos que utilizam ITR, como motores elétricos, turbinas eólicas, aparelhos de ar-condicionado mesmo que, conforme afirmado por Wulf et al. (2017), estas análises utilizando a técnica ACV têm como fonte bases de dados obsoletos, que não representam a realidade produtiva de ETR e ITR da atualidade.

Apesar da grande quantidade de informação sobre os impactos ambientais negativos, pouca ou nenhuma informação foi obtida na literatura científica sobre os aspectos Social e de Governança. Por não haver literatura suficiente sobre o tema “sustentabilidade e ITR” foi

preciso recorrer a manuais e documentos que fizessem uma ligação com o setor mineral para a obtenção das diretrizes da sustentabilidade para o LabFab.

A avaliação das práticas da sustentabilidade por parte dos *Stakeholders* complementou os achados na literatura, trazendo uma visão mais ampla sobre o tema. A abordagem *multi-stakeholder*, em que diversos atores das partes interessadas participam do processo de seleção das temáticas relevantes para a sustentabilidade de um negócio é bastante aplicada justamente por seu potencial de convergência de opiniões de pessoas que atuam em diferentes pontos da cadeia (CEBDS, 2015).

Participaram *stakeholders* que representaram os grupos de clientes nacionais e internacionais, pesquisadores internacionais da área de ITR, fornecedores de matéria-prima para ITR e fabricantes de ITR. Infelizmente não se obteve resposta dos membros do governo nem dos membros de bancos e fundos de investimento convidados para a pesquisa.

A partir da avaliação destes *stakeholders* a temática ambiental “Uso de materiais” foi a considerada mais relevante corroborando com Ciacci et al. (2019) que enfatiza a necessidade de reduzir e reaproveitar o uso de ITR.

As práticas A.1) Prevenção de resíduos e desperdícios, A.2) Reaproveitamento de resíduos gerados na produção, e A.3) Uso de matéria prima de fonte secundária (reciclagem) convergem com a necessidade de reduzir o uso de Nd, uma vez que é um material crítico e a redução do seu uso reduz os impactos associados à sua extração e processamento.

A temática “Emissões, efluentes e resíduos” foi considerada como segunda temática mais importante do aspecto ambiental. Autores como Fernandes (2019) e Fernandes (2021) apontam que as emissões geradas pelo consumo de energia elétrica é um dos maiores causadores de impacto na fase de fabricação do ímã e este fator varia de acordo com a matriz energética do local de produção. Os resíduos ácidos também são críticos na etapa de produção de ITR, estando associados à etapa de redução do óxido de TR (Da Silva, 2021)

O setor mineral afeta diretamente o aspecto Social uma vez que é capaz de trazer oportunidades econômicas, mas também desafios para a subsistência, recursos e direitos das comunidades locais (UNDP, 2017). No aspecto social, a temática “Saúde e Segurança” foi considerada a mais relevante, e isto está de acordo com os achados da literatura que apontam os riscos associados a exploração de ETR, como a liberação de poeira radioativa (WENG et al., 2016) e os riscos de explosão nas etapas de manipulação da liga.

O “Desenvolvimento dos funcionários e da comunidade” foi considerada a segunda temática mais importante de acordo com a criação de negócios que tragam prosperidade para o

entorno, que sejam duradouros e não apenas baseados na exploração do local para benefício próprio (UNDP, 2017).

O último aspecto avaliado trata da governança corporativa, que é *o sistema pelo qual as empresas e demais organizações são dirigidas, monitoradas e incentivadas, envolvendo os relacionamentos entre sócios, conselho de administração, diretoria, órgãos de fiscalização e controle e demais partes interessadas* (IBCG, 2015).

No aspecto da Governança a temática “Gestão da Cadeia” foi a considerada a mais relevante em concordância com a estrutura da cadeia em que grandes impactos são ocasionados nas etapas de extração e obtenção de ETR. A aplicação das práticas de governança é uma oportunidade de garantir que as ações de sustentabilidade sejam executadas.

Dentre a temática prioritária da gestão da cadeia as empresas de mineração podem ter um papel ativo na promoção da indústria nacional (UNDP, 2017), alinhado com a prática G.1) Desenvolvimento de fornecedores locais. As práticas G.2) Avaliação dos impactos ambientais negativos na cadeia de suprimentos e ações tomadas, G.3) Seleção de novos fornecedores utilizando critérios de práticas trabalhistas, direitos humanos e impactos ambientais e G.4) Avaliação dos impactos de fornecedores em áreas com Restrição Legal em terras indígenas corroboram com a implementação da responsabilidade de origem, em que as empresas podem integrar considerações e exigências ambientais e sociais em seus processos de aquisição (UNDP, 2017), realizando a seleção de fornecedores deve ser realizada de forma sistematizada (Sarkis; Dhavale, 2015).

A temática sobre o uso de elementos extraídos em áreas com Restrição Legal em terras indígenas tem muita relevância no contexto nacional do Brasil, sendo que os povos indígenas têm laços culturais e espirituais únicos vinculados às suas terras ancestrais e os direitos especiais articulados na Declaração da ONU sobre os Direitos dos Povos Indígenas (UNDP, 2017). Esta também é uma questão em evidência e constante vigilância internacional.

É importante destacar que as temáticas prioritárias para a sustentabilidade devem ser revisadas e atualizadas todo ano, considerando a natureza evolutiva ESG, que depende do contexto social, político e econômico em que está inserido. Além disso, a indicação deste conjunto de práticas não esgota as possibilidades de ações sustentáveis que podem ser adotadas pelo LabFab em prol das ODS, as recomendações aqui apresentadas visaram fornecer a base inicial sobre o tema. Cabe ressaltar que os temas prioritários foram comparados dentro do mesmo critério, não houve comparação entre uma prática ambiental em relação a uma social, por exemplo, considera-se que os três aspectos ESG têm igual relevância.

4.3 OBTENÇÃO DO MÉTODO DE APLICAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO

A decisão de iniciar a mudança rumo a sustentabilidade em uma empresa traz muitos desafios, usualmente a primeira pergunta é “como começar?”. Posteriormente, é preciso que haja uma indicação das etapas a serem seguidas e executadas. Portanto, nesta seção é apresentada a estrutura de gestão para colocar em prática as ações sustentáveis descritas anteriormente.

Essa estrutura é composta por quatro fases obtidas tomando-se como base os modelos de gestão apresentados no item 2.3. Embora tenham sido colocados como premissas para o desenvolvimento da teoria inicial, a metodologia foi adaptada à realidade do LabFab e complementada a partir dos modelos de gestão da sustentabilidade existentes na literatura científica. A primeira versão das fases que compõem o método de aplicação é apresentada no quadro 23 e é baseada puramente na literatura. Posteriormente, na fase de verificação de consistência, os gestores do LabFab puderam contribuir para a obtenção da versão final do modelo de gestão, portanto, para evitar repetições, nesta seção será apresentada apenas a estrutura geral da primeira versão contendo as quatro fases do método de aplicação, e na seção 4.5.2 cada fase e suas etapas adicionais serão detalhadas.

Quadro 23. Fases para a gestão da sustentabilidade

Fase	Objetivo	Inspiração em
1. Entender e Liderar	Alinhar a estratégia da empresa e o compromisso da alta administração com a sustentabilidade, aumentar a conscientização dos funcionários	Azapagic (2003); Cramer (2005); Maon, Lindgreen, e Swaen (2009); Kuei & Lu (2013); Asif e Searcy (2014); Maas & Reniers (2014); Rebelo, Santos, e Silva, (2016); Mustapha, Manan, e Wan Alwi, (2017); Nawaz e Koç (2018); Bastas e Liyanage (2019)
2. Identificar oportunidades e metas	Compreender as oportunidades da empresa para alcançar os ODS. Definir a equipe de trabalho, prioridades e metas para a sustentabilidade	Cramer (2005); Maon, Lindgreen, e Swaen (2009);; Loorbach (2010) Asif et al. (2011); Asif e Searcy (2014); Maas & Reniers (2014); Rebelo, Santos e Silva, (2016)
3. Integrar a sustentabilidade	Transformar metas em planos de ação, implementar e monitorar os planos de ação	Azapagic (2003) Cramer (2005) Maon, Lindgreen, e Swaen (2009) Loorbach (2010) Asif et al. (2011) Kuei & Lu (2013) Asif e Searcy (2014) Maas & Reniers (2014) (Rebelo, Santos, & Silva, 2016)
4. Comunicar e aprender	Divulgar ações e resultados de forma transparente e reflexão sobre o que foi realizado	Azapagic (2003) Cramer (2005) Maon, Lindgreen, e Swaen (2009) Asif e Searcy (2014)

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

4.4 CONSISTÊNCIA DO MODELO PROPOSTO

Esta fase teve como objetivo a obtenção da versão final do modelo de gestão da sustentabilidade a partir da verificação de consistência. Para tanto, o modelo completo foi apresentado aos gestores do LabFab seguindo a metodologia descrita no item 3.1.4. É importante destacar que nesta etapa o modelo de gestão já estava desenvolvido, porém, para evitar repetições no texto ele será apresentado apenas na sua versão final, no item 4.5. Caso o leitor sinta necessidade de visualizar o modelo completo primeiro, poderá avançar para o item 4.5 e depois retornar para a leitura da verificação da consistência.

A verificação de consistência ocorreu em um *workshop* em que após a apresentação detalhada do funcionamento do modelo os participantes foram convidados a realizar uma simulação de aplicação de duas fases do modelo, compreendidas pelas etapas: (1) Entender e Liderar e (2) Identificar oportunidades e metas. Estas etapas foram escolhidas pois foram consideradas as atividades possíveis de serem reproduzidas no estágio de implementação do LabFab.

O grupo foi então dividido em quatro pares e cada par simulou a tomada de decisão de prioridades da sustentabilidade para o LabFab (Figura 24).

Figura 24. Verificação de consistência do modelo proposto



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

As duplas avaliaram as práticas de sustentabilidade, atribuindo notas de um a três para os fatores: importância, viabilidade e urgência. Sendo o número um menos importante, menos viável e menos urgente e o número três mais importante, mais viável e mais urgente.

Após a finalização desta etapa, cada dupla expôs quais práticas foram consideradas prioritárias pela sua avaliação. O Quadro 24 apresenta os grupos de práticas que foram selecionados pelas duplas e o Quadro 25 detalha todas as respostas do grupo participante.

Quadro 24. Práticas selecionadas

Aspecto	Práticas selecionadas como prioritárias	Vezes citada como prioritária
Ambiental	Prevenção de resíduos e desperdícios	1
	Redução da quantidade de resíduos tóxicos e perigosos gerados na produção	1
	Utilização de matriz energética limpa	1
	Aplicação dos ITRs produzidos em energias renováveis e motores eficientes	2
	Apoio aos clientes para projetar para a desmontagem (design for disassembly)	1
Social	Preparo para emergências	4
	Redução de acidentes de trabalho e medidas tomadas após o acidente	3
	Capacitação para os funcionários	3
	Contratação de trabalhadores locais	1
	Benefícios oferecidos a funcionários	1
Governança	Transparência de pagamentos para governo (risco de corrupção)	2
	Comunicação das ações de sustentabilidade	2
	Código de conduta e ética alinhado com a sustentabilidade	4
	Avaliação dos impactos ambientais negativos na cadeia de suprimentos e ações tomadas	1
	Seleção de novos fornecedores utilizando critérios de práticas trabalhistas, direitos humanos e impactos ambientais	1

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Quadro 25. Respostas detalhadas.

Critério	Subcritérios	Fatores específicos	Quantas vezes citado como prioritário					Importância					Viabilidade					Urgência					I x V x U					decisão							
			Importância	Viabilidade	Urgência	I x V x U	decisão	Importância	Viabilidade	Urgência	I x V x U	decisão	Importância	Viabilidade	Urgência	I x V x U	decisão	Importância	Viabilidade	Urgência	I x V x U	decisão	Importância	Viabilidade	Urgência	I x V x U	decisão								
Ambiental	Uso de materiais	Prevenção de resíduos e desperdícios	1	3	2	3	18	2	2	2	8	3	2	3	18	1°	3	1	2	6	3	1	2	6	3	1	2	6	3	1	2	6			
		Reaproveitamento de resíduos gerados na produção	-	3	2	3	18	3	1	3	9	3	1	3	9	3	1	3	9	3	1	3	9	3	1	3	9	3	1	3	9				
		Uso de matéria prima de fonte secundária (reciclagem)	-	3	1	3	9	3	1	2	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
	Efluentes, Emissões e Biodiversidade	Redução do uso de água	-	1	2	1	2	3	1	2	6	2	2	2	8	3	2	3	18	1°	3	2	3	18	3	2	3	18	3	2	3	18			
		Redução do uso de energia	-	3	1	2	6	3	1	2	6	2	2	2	8	3	2	3	18	1°	3	2	3	18	3	2	3	18	3	2	3	18			
		Redução da quantidade de resíduos tóxicos e perigosos gerados na produção	1	2	1	1	2	2	2	1	4	3	2	3	18	1°	3	2	3	18	3	2	3	18	3	2	3	18	3	2	3	18			
		Utilização de matriz energética limpa	1	3	3	2	18	3	2	3	18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
		Redução das emissões dos gases do efeito estufa gerados na produção e transporte	-	1	1	1	1	3	3	2	18	2	1	2	4	2	1	2	4	2	1	2	4	2	1	2	4	2	1	2	4	2	1	2	4
	Uso e Fim de Vida	Redução das emissões fugitivas no processo	-	2	2	2	8	2	1	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Aplicação dos ITRs produzidos em energias renováveis e motores eficientes	2	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°	2	2	2	8	2	2	2	8	2	2	2	8	2	2	2	8	2	2	2	8		
Apoio aos clientes para projetar para a desmontagem (design for disassembly)		1	3	2	2	12	3	3	3	27	1°	2	2	1	4	2	2	1	4	2	2	1	4	2	2	1	4	2	2	1	4				
Social	Saúde e segurança	Ações para gerir o destino final do produto	-	3	2	3	18	3	2	2	12	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2
		Redução do uso de materiais tóxicos (câncer e doenças)	-	2	1	2	4	3	1	3	9	3	1	2	6	3	2	3	18	3	2	3	18	3	2	3	18	3	2	3	18				
		Preparo para emergências	4	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°		
	Desenvolvimento dos funcionários e da comunidade	Redução de acidentes de trabalho e medidas tomadas após o acidente	3	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°		
		Atuação junto a escolas e oferecer capacitação para a comunidade	-	2	2	2	8	3	3	2	18	2	2	2	8	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3				
	Relações de trabalho	Capacitação para os funcionários	3	3	2	3	18	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°			
		Contratação de trabalhadores locais	1	2	1	3	6	3	3	3	27	1°	2	3	2	12	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2			
Ações a favor da equidade de gênero e diversidade em cargos de		-	2	3	2	12	3	2	2	12	3	2	2	12	3	2	2	12	2	2	1	4	2	2	1	4	2	2	1	4					
Taxas de regresso ao trabalho e de retenção após a licença parental, por sexo		-	2	3	1	6	3	3	2	18	3	2	2	12	3	2	2	12	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2					
Governança	Envolvimento dos Stakeholders	Benefícios oferecidos a funcionários	1	2	2	2	8	3	3	3	27	1°	3	2	2	12	2	2	1	4	2	2	1	4	2	2	1	4	2	2	1	4			
		Atendimento das expectativas de clientes e investidores	-	1	2	1	2	2	1	2	4	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
	Transparência	Atendimento das expectativas dos funcionários e comunidade local	-	3	3	2	18	3	2	2	12	2	2	2	8	2	2	1	4	2	2	1	4	2	2	1	4	2	2	1	4				
		Transparência de pagamentos para governo (risco de corrupção)	2	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°	3	1	1	3	3	3	1	9	3	3	1	9	3	3	1	9						
		Comunicação das ações de sustentabilidade	2	3	2	0	3	3	3	27	1°	3	2	2	12	1°	2	2	2	8	2	2	2	8	2	2	2	8							
	Gestão da cadeia	Código de conduta e ética alinhado com a sustentabilidade	4	3	3	3	27	1°	3	3	3	27	1°	3	2	2	12	1°	3	2	2	12	1°	3	2	2	12	1°	3	2	2	12	1°		
		Avaliação dos impactos ambientais negativos na cadeia de suprimentos e ações tomadas	1	3	1	3	9	3	2	2	12	3	2	2	12	1°	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2							
		Seleção de novos fornecedores utilizando critérios de práticas trabalhistas, direitos humanos e impactos ambientais	1	3	1	3	9	3	2	3	18	3	2	2	12	1°	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2							
Desenvolvimento de fornecedores locais		-	3	1	3	9	3	2	3	18	3	1	3	9	3	1	3	9	3	1	3	9	3	1	3	9									
Avaliação dos impactos de fornecedores em áreas com Restrição Legal e terras indígenas	-	2	1	3	6	3	2	2	12	3	1	2	6	2	3	1	6	2	3	1	6	2	3	1	6										

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Ainda na etapa de simulação da utilização do modelo, cada dupla de participantes foi convidada a criar um plano de ação para uma das práticas selecionadas como prioritárias utilizando a ferramenta de *Storyboard*. A Figura 25 ilustra um exemplo de plano de ação simulado.

Figura 25. Storybord de um plano de ação

Título: <i>Recuperação de Resíduos</i>		Líder: <i>Picardo</i>
Time: <i>Produção / Usinagem / P&D</i>		Orçamento: <i>U\$ 50.000,00</i>
Processos: <i>Produção</i>	Prazo: <i>Trimestre</i>	Indicadores: <i>fotos de kg/kg</i>
<p>Condição atual:</p> <ol style="list-style-type: none"> ① Geração de Resíduos Usinagem 30% do kg imersão ② Produção resíduos 5%/etapa ③ Não reutilização / retorno 	<p>Condição alvo:</p> <ol style="list-style-type: none"> ① Redução de 1% na Usinagem ② Redução de 0,2% no prod. ③ Desenvolver tecnologia utilizando resíduos 	<p>Ciclos PDCA</p> <p>→ Melhorar indicadores de desperdício → Manter o processo → Implementação dos métodos</p>

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Após a simulação do uso da ferramenta, finalmente participantes realizaram uma avaliação do modelo exposto a partir do formulário apresentado no Apêndice C. Após a obtenção das respostas sobre a avaliação do modelo apresentado o espaço foi aberto a discussões.

Na primeira questão, o grupo opinou em uma escala de 1 a 10 o quanto o modelo de gestão apresentado atendeu as suas expectativas, as respostas obtidas foram as seguintes:

- **Quatro respondentes assinalaram 10**
- **Dois respondentes assinalaram 9**
- **Dois respondentes assinalaram 8**

Na discussão o grupo concluiu que o modelo atendeu às suas necessidades e expectativas, necessitando de algumas modificações pontuais discutidos a seguir.

Ao serem questionados quanto a observação da falta de algum elemento essencial, as respostas obtidas foram as seguintes:

R1: *Alinhamento com a alta gestão/planejamento estratégico*

R2: *Relações entre fornecedores e clientes: um pode usar o passivo do outro*

R3: *Ações preventivas e articulação governamental*

Durante a discussão a R1 foi esclarecida a R1, sendo que o alinhamento com a alta gestão está contido no eixo entender, em que a alta gestão é sensibilizada, identifica oportunidades para o negócio e também dispõem de recursos para a sustentabilidade (tanto financeiros quanto de pessoas). O Eixo definir também apresenta uma etapa de anúncio do compromisso com a sustentabilidade, feito pela alta gestão, e no quadro de práticas de governança propõe-se que a seguinte deve ser monitorada “Código de conduta e ética alinhado com a sustentabilidade”.

A partir da R2, observou-se a necessidade de expandir a prática “*Apoio aos clientes para projetar para a desmontagem (design for disassembly)*” contida na grupo de Uso e Fim de Vida – Ambiental para: “*Cooperação para a economia circular (ex: apoio aos clientes para projetar para a desmontagem (design for disassembly))*”

Concluiu-se que a parte social de “ações preventivas” da R3 está contida em nas práticas de *Redução do uso de materiais tóxicos (câncer e doenças ocupacionais)*, *Preparo para emergências* e *Redução de acidentes de trabalho e medidas tomadas após o acidente*. Em relação à manutenção preventiva o grupo concluiu que não cabe neste momento estar na lista de prioridades da sustentabilidade pois trata-se de um processo já incorporado na operação. Quanto à parte de “articulação governamental” da R3, referente à incentivos fiscais e outros vindo da esfera governamental não deve ser tratada neste momento pelo negócio.

Ao serem questionados se alguma etapa gerou dúvida, dois respondente responderam que tiveram dúvidas nas seguintes etapas:

R4: *Eixo Definir e Integrar: abrangência do modelo, níveis de articulação (estadual, federal, internacional)*

R5: *Eixo Entender: Resultado do entendimento alta gestão (avaliação indicador)*

Na seção de sugestões a seguinte resposta foi obtida:

R6: *Como seriam as relações de sustentabilidade quando a cadeia se tornar super desenvolvida ex: reciclagem interna ou como empresa independente? Em temas de difícil*

resolução, envolver colégios técnicos e universidades, Promover o uso dos ITR em novos projetos, quem poderia fomentar?

Em relação a R4, foi explicado que a maior parte das ações se dá dentro da abrangência da empresa (*Gate to Gate*), expandindo em alguns pontos para a cadeia de fornecimento como é o caso de práticas de seleção e avaliação de fornecedores ou até de incentivo à economia circular. Porém, sendo que o LabFab tem a pretensão de influenciar a cadeia no país, o grupo conclui sobre a necessidade de acrescentar práticas de governança relacionadas a este âmbito. A mesma necessidade surgiu a partir da discussão da R6. Foram então adicionadas as seguintes práticas:

- **Parcerias público privadas com clientes e instituições de educação e pesquisa para fomentar novas aplicações para ITR**

A R5 identificou a necessidade de haver uma etapa relacionada à reflexão, melhoria contínua e acompanhamento. Portanto a seguinte prática foi adicionada:

- **Comprometimento por meio da criação do comitê da Sustentabilidade**

4.5 MODELO DE GESTÃO DA SUSTENTABILIDADE

A versão final do modelo de gestão foi obtida após a compilação das observações e sugestões levantadas na etapa de verificação de consistência. O modelo para a gestão da sustentabilidade desenvolvido nesta tese apresenta etapas a serem seguidas no processo de aprendizagem e implementação da sustentabilidade no LabFab. A aplicação de tais etapas visa:

- a) Que os envolvidos no processo de fabricação de ITR no LabFab (gestores e demais colaboradores) entendam os princípios dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, como estão relacionados ao negócio e identifiquem oportunidades;
- b) Que as temáticas mais relevantes para a sustentabilidade no contexto do LabFab sejam priorizadas e metas sejam estabelecidas;
- c) Que os planos de ação sejam desenvolvidos para o alcance das metas de sustentabilidade
- d) Que a busca pela sustentabilidade se torne um processo contínuo no LabFab

O modelo proposto possui dois elementos, o primeiro componente do modelo é referente ao conjunto de práticas da sustentabilidade (apresentado na Seção 4.2), e o segundo componente do modelo é referente ao método de aplicação (apresentado na Seção 4.3). A Figura 26 ilustra o modelo que é descrito nas seções seguintes.

Figura 26. Elementos do Modelo de gestão da sustentabilidade



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

4.5.1 Conjunto de Práticas da Sustentabilidade

O conjunto final de temáticas e práticas ESG é apresentado na Figura 27. Nesta figura é feita também a associação das temáticas aos ODS. As práticas ambientais contribuem com o ODS 12 Consumo e Produção Sustentáveis, ODS 13 Ação contra Mudança Climática e ODS 7 Energia Limpa e Acessível. As práticas sociais contribuem com o ODS 8 Trabalho Decente e Crescimento Econômico e ODS Saúde e Bem Estar. Já as práticas de governança contribuem com o ODS 12 Consumo e Produção Sustentáveis, e ODS 16 Paz, Justiça e Instituições Eficazes.

Figura 27. Temáticas da sustentabilidade e os ODS.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O Quadro 26 apresenta o conjunto final de práticas, de acordo com a codificação final, as práticas destacadas em negrito são as que foram adicionadas para complementar as práticas teóricas apresentadas na seção 4.2.1.

Quadro 26. Quadro de práticas.

Continua

Critério	Subcritérios	Fatores específicos
Ambiental	1º Uso de materiais	A.1) Prevenção de resíduos e desperdícios
		A.2) Reaproveitamento de resíduos gerados na produção
		A.3) Uso de matéria prima de fonte secundária (reciclagem)
	2º Emissões, Efluentes e Resíduos	A.4) Redução do uso de água
		A.5) Redução do uso de energia
		A.6) Redução da quantidade de resíduos tóxicos e perigosos gerados na produção
		A.7) Utilização de matriz energética limpa
		A.8) Redução das emissões dos gases do efeito estufa gerados na produção e transporte
		A.9) Redução das emissões fugitivas no processo

Quadro 26. Quadro de práticas.

Critério	Subcritérios	Fatores específicos
Ambiental	3º Uso e Fim de Vida	A.10 Aplicação dos ITRs produzidos em energias renováveis e motores eficientes
		A.11 Cooperação para a economia circular (ex: apoio aos clientes para projetar para a desmontagem)
		A.12) Ações para gerir o destino final do produto
Social	1º Saúde e segurança	S.1) Redução do uso de materiais tóxicos (câncer e doenças ocupacionais)
		S.2) Preparo para emergências
		S.3) Redução de acidentes de trabalho e medidas tomadas após o acidente
	2º Desenvolvimento dos funcionários e da comunidade	S.4) Atuação junto a escolas e oferecer capacitação para a comunidade
		S.5) Capacitação para os funcionários
		S.6) Contratação de trabalhadores locais
	3º Relações de trabalho	S.7) Ações a favor da equidade de gênero e diversidade em cargos de gestão e salários
		S.8) Taxas de regresso ao trabalho e de retenção após a licença parental, por sexo
		S.9) Benefícios oferecidos a funcionários
Governança	1º Gestão da cadeia	G.1) Avaliação dos impactos ambientais negativos na cadeia de suprimentos e ações tomadas
		G.2) Seleção de novos fornecedores utilizando critérios de práticas trabalhistas, direitos humanos e impactos ambientais
		G.3) Desenvolvimento de fornecedores locais
		G.4) Avaliação dos impactos de fornecedores em áreas com Restrição Legal em terras indígenas
		G.5) Parcerias público privadas com clientes e instituições de educação e pesquisa para fomentar novas aplicações para ITR
	2º Transparência	G.6) Transparência de pagamentos para governo (risco de corrupção)
		G.7) Comunicação das ações de sustentabilidade
		G.8) Código de conduta e ética alinhado com a sustentabilidade
		G.9) Comprometimento por meio da criação do comitê da Sustentabilidade
	3º Envolvimento dos <i>Stakeholders</i>	G.10) Atendimento das expectativas de clientes e investidores
		G.11) Atendimento das expectativas dos funcionários e comunidade local

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

4.5.2 Método de Aplicação do Modelo de Gestão da Sustentabilidade

O método de aplicação é composto por quatro fases. Cada uma das quatro fases é dividida em uma série de passos adicionais, conforme descrito a seguir e ilustrado na Figura 28. A gestão da sustentabilidade na empresa começa pela fase 1 avançando até a fase 4 ao longo de um ano. As informações obtidas na saída da fase 4 garantem os insumos para iniciar um novo ciclo no próximo ano. Por se tratar de um empreendimento em implementação a gestão da sustentabilidade no LabFab começa na fase 1, sem dados dos períodos anteriores.

Figura 28. Fases da gestão da sustentabilidade



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Fase 1) Entender e Liderar

Na primeira fase, a empresa deve entender profundamente os conceitos da sustentabilidade e dos ODS. O compromisso com os desafios globais deve fazer parte do propósito da empresa, abordando lucrativamente as questões das pessoas e do planeta. Os negócios não podem ter sucesso em sociedades que fracassam (CEBDS, 2015). Nesta primeira fase, a empresa deve desenvolver a visão de sustentabilidade de longo prazo. Portanto, os seguintes passos devem ser realizados:

Passo 1.1 Mobilizar a liderança e ter comprometimento

Passo 1.2 Sensibilizar sobre os ODS

Descrição dos passos:

Passo 1.1 Mobilizar a liderança e ter comprometimento

Em primeiro lugar, a alta gestão deve estar comprometida. Integrar a sustentabilidade na estrutura organizacional não é uma tarefa trivial e requer visão, compromisso e liderança (Azapagic, 2003). A alta administração deve fornecer as condições e orientações necessárias para que a organização atinja o sucesso e garanta que ela melhore continuamente (Rocha, Searcy, & Karapetrovic (2007).

Neste primeiro momento a empresa deve demonstrar comprometimento por meio da alocação de recursos para as ações de sustentabilidade. Deve-se criar um comitê da sustentabilidade com membros de diversos setores e inclusive da alta gestão. Um líder da sustentabilidade também deve ser definido a fim de fortalecer a liderança interna.

Passo 1.2 Sensibilização sobre os ODS

Nesta etapa deve-se visar o engajamento dentro da empresa, todos os níveis de funcionários devem participar de ações de sensibilização e educação. Isso pode ser realizado por um time da própria empresa ou por consultoria externa.

Vencida esta etapa, que garante os recursos e suporte para a mudança rumo a sustentabilidade, é preciso entender as oportunidades da empresa em aumentar seu impacto positivo e minimizar os negativos.

Fase 2) Identificar oportunidades e definir metas

Nem todos os ODS são igualmente relevantes para todas as empresas. De acordo com Salzmann et al. (2005), a mesma estratégia de sustentabilidade corporativa não é sempre adequada a todas as indústrias, o tipo de produto, processos e políticas demandam estudos específicos para cada setor. Portanto, na segunda fase, a empresa deve cumprir os seguintes passos:

Passo 2.1 Identificar as oportunidades do negócio

Passo 2.2 Definir as Metas

Passo 2.3 Anunciar o compromisso

Descrição dos passos:

Passo 2.1 Identificar as oportunidades do negócio

A equipe multidisciplinar que será responsável pela sustentabilidade deve ser treinada e estar bem informada sobre os conceitos dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. A etapa de identificação de oportunidades é o momento em que a empresa alinhará sua estratégia visando aumentar seu impacto positivo e minimizar os negativos.

Posteriormente, tendo em mente que a cada ano a empresa deve repetir o ciclo de gestão, o time deve definir as prioridades da sustentabilidade levando em conta a priorização de temas apresentados no quadro de práticas da sustentabilidade (Quadro 19). O time deve realizar uma análise considerando a importância, a viabilidade e a urgência de cada prática. O grupo deve estabelecer notas de 1 a 3 para cada fator em cada prática. Ao se multiplicar o valor das notas obtidas, aquelas que obtiverem maior valor são as práticas recomendadas a serem priorizadas. A Figura 28 apresenta um exemplo de ficha de tomada de decisão.

Figura 29. Exemplo da ficha de tomada de decisão de prioridades.

			Importância	Viabilidade	Urgencia	I x V x U	Decisão
Critério	Subcritérios	Fatores específicos					
Ambiental	Uso de materiais	Prevenção de resíduos e desperdícios					
		Reaproveitamento de resíduos gerados na produção					
		Uso de matéria prima de fonte secundária (reciclagem)					
	Efluentes, Emissões e Biodiversidade	Redução do uso de água					
		Redução do uso de energia					
		Redução da quantidade de resíduos tóxicos e perigosos gerados na produção					
		Utilização de matriz energética limpa					
		Redução das emissões dos gases do efeito estufa gerados na produção e transporte					
		Redução das emissões fugitivas no processo					

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Passo 2.2 Definir as Metas

Uma vez que as ações prioritárias foram estabelecidas, o time deve definir metas expressas em termos numéricos, por exemplo, “aumentar em 15% o uso de resíduos provindos de reciclagem” ou reduzir em 10% as emissões no transporte. Deve-se também estabelecer prazos para que estas metas sejam cumpridas.

É fundamental que sejam definidas metas para aquele período que cubram os três pilares ESG, e não apenas um ou dois.

Passo 2.3 Anunciar o compromisso

O anúncio do compromisso com a sustentabilidade é uma etapa em que a empresa se compromete perante seus funcionários, clientes e sociedade. Esta ação transmite seriedade com o tema e pode ser feito por meio de informativos.

Fase 3) Integrar a sustentabilidade

A integração da sustentabilidade nos procedimentos diários da empresa é o maior desafio. É neste momento que a visão da sustentabilidade é traduzida em ações. Para tanto, os seguintes passos devem ser executados:

Passo 3.1 Planejar da melhoria:

Passo 3.2 Executar as ações


Descrição dos passos:

Passo 3.1 Planejar a melhoria

As metas estabelecidas precisam ser desdobradas em planos de ação. Para isso o time definido deve fazer uma análise da condição atual e da condição alvo almejada e a partir disso estabelecer os ciclos de execução. A Figura 30 apresenta um exemplo de aplicação do *storyboard* desenvolvido para esta etapa. O uso de *storyboard* é inspirado nas ferramentas de manufatura enxuta e auxiliam a gestão de forma visual.

É importante que sejam estabelecidos os indicadores de monitoramento da execução do plano de ação para que o progresso possa ser monitorado.

Figura 30. *Storyboard* do planejamento da melhoria

Título: Redução de 10% do consumo de energia		Líder: xxxx
Time: xxxx		Orçamento: xxxx
Processos: Todos	Prazo: 12 meses	Indicadores: Kw/kg produzido
<p>Condição atual:</p> <p>Alto consumo energético na planta: x Kw/kg</p>	<p>Condição alvo:</p> <p>Redução de 10% no consumo</p>	<p>Ciclos PDCA</p> <p>Mapeamento do consumo</p> <p>Identificação Desperdício</p> <p>Instalação de sensores</p> 

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Passo 3.2 Executar as ações

Cada plano de ação se desdobra em diversas ações menores, executadas em ciclos curtos de PDCA. O *storyboard* apresentado na Figura 31 apresenta um exemplo para auxiliar o registro dos passos a serem executados e a checagem da evolução.

Figura 31. *Storyboard* dos ciclos PDCA.

REGISTROS DOS CICLOS PDCA	
Título: Mapeamento do consumo	Responsável: xxx
Passos: <ul style="list-style-type: none"> Contratação estagiário Identificação de kw por etapa Benkmarketing com fabricante do equipamento xxx 	Cronograma: <ul style="list-style-type: none"> 1 mês 3 meses 3 semanas xxx

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Fase 4) Comunicar e aprender

A última fase do ciclo de passos para a gestão da sustentabilidade é referente à comunicação das ações de sustentabilidade para os *stakeholders* externos e internos e a aprendizagem. Portanto, na quarta fase, a empresa deve cumprir os seguintes passos:

Passo 4.1 Comunicar e relatar as ações

Passo 4.2 Refletir

Descrição dos passos:

Passo 4.1 Comunicar e relatar as ações

A comunicação para os *stakeholders* externos geralmente é feita por meio dos Relatórios de Sustentabilidade, que têm como objetivo prestar contas para a sociedade

anualmente. Estes relatórios são feitos de forma voluntária e apresentam os impactos positivos e negativos que a empresa teve ao longo de um período. É importante destacar que deve-se focar nos temas materiais para a empresa, relatando de forma transparente suas ações. Até pouco tempo atrás as empresas tendiam a relatar apenas as ações com impacto positivo, mas nos últimos anos os *stakeholders* têm cobrado e exigido também o relato dos impactos negativos.

Estes relatórios podem ser criados de forma livre, porém, o recomendado é que sigam o padrão da GRI, que é o mais adotado e respeitado atualmente. O relato das ações por meio de Relatórios de Sustentabilidade traz benefícios para a empresa como a melhoria da sua reputação, ressaltando seu compromisso com a sustentabilidade perante clientes e investidores. É também uma forma de elevar os padrões de sustentabilidade e transparência de todo o setor, uma vez que os relatórios apresentam indicadores de monitoramento das ações de um ano em relação ao outro. De acordo com Kuei e Lu (2013), apartir do acompanhamento por meio de relatórios os gerentes podem garantir que organização está atingindo níveis cada vez mais elevados de sustentabilidade. Estes relatórios podem ser criados por uma equipe interna da empresa ou uma consultoria externa pode ser contratada para auxiliar.

A comunicação da sustentabilidade também deve ser feita no ambiente interno da organização. Os colaboradores devem ser informados e devem acompanhar o progresso das ações e metas da sustentabilidade, desta forma cria-se uma cultura de responsabilidade compartilhada no dia a dia. Esta comunicação pode ser feita por meio da criação de painéis informativos, *newsletter* por e-mail, jornais internos, entre outras formas.

Passo 4.2 Refletir

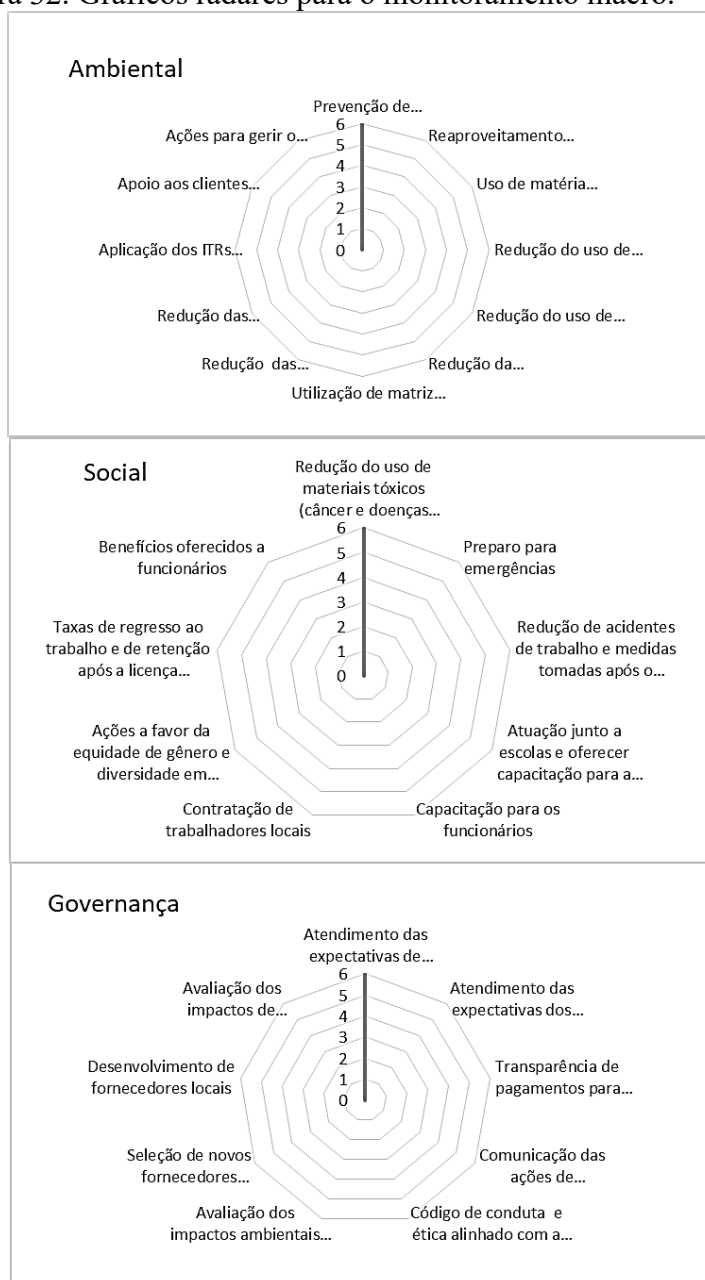
A gerência organizacional e o comitê da sustentabilidade devem dedicar atenção especial a estes relatos pois cabe a eles avaliar o progresso das ações e realizar a reflexão sobre as metas alcançadas ou não. O monitoramento macro deve ser realizado por meio de gráficos radares que tornam o processo visual e acessível (Figura 32). Recomenda-se que para cada prática da sustentabilidade seja realizada a reflexão sobre seu nível de implementação, de acordo com o Quadro 27.

Quadro 27. Níveis de implementação

Nível	Descrição
6	Os processos são gerenciados sistematicamente por meio de melhoria contínua. Pode-se dizer que há uma liderança da sustentabilidade
5	A sustentabilidade se tornou um conceito totalmente integrado medidas proativas estão sendo tomadas
4	Existem planos de ação para que as metas sejam implementadas
3	As metas da sustentabilidade foram definidas e o time está formado
2	Existem ações mas estão desconectadas da estratégia da sustentabilidade
1	Não há nenhuma ação em prol desta prática da sustentabilidade

Fonte: Adaptado de Reefke et al. (2010).

Figura 32. Gráficos radares para o monitoramento macro.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Este diagnóstico alimenta a aprendizagem para o início de um novo ciclo da gestão. Para as práticas identificadas nos níveis 1 deve-se aumentar a consciência da sustentabilidade. Para as identificadas como nível 2 deve se dedicar esforços para que as ações se tornem mais consistentes, para as de nível 3 deve-se estabelecer os planos de ação, para as de nível 4 deve-se alocar recursos para o alcance das metas. Para as práticas identificadas com níveis 5 e 6 deve-se continuar otimizando o processos e garantir a liderança.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as considerações finais desta tese. Nele são apresentadas as contribuições do estudo, bem como suas limitações e direcionamentos para estudos futuros

5.1 CONTRIBUIÇÕES

Tendo em vista as duas lacunas identificadas, uma relacionada a inexistência de estudos acerca de práticas de sustentabilidade na indústria de ITR e a outra relacionada à ausência de uma ferramenta de gestão da sustentabilidade neste setor, foi desenvolvido um modelo baseado em práticas Ambientais, Sociais e de Governança (ESG).

Este modelo representa uma evolução no estado da arte, uma vez que o conhecimento sobre sustentabilidade na produção de ITR era até então fragmentado e limitado a estudos isolados, em sua maioria focados na identificação de impactos ambientais. O modelo desenvolvido nesta tese apresenta o conhecimento sobre ITR e sustentabilidade de forma estruturada e propositiva, uma vez que elucida os caminhos a serem seguidos para que a produção de ITR alcance patamares mais elevados de sustentabilidade.

Além do avanço do conhecimento no âmbito acadêmico, o modelo desenvolvido nesta tese contribui na esfera prática, tendo sido verificada sua consistência para apoiar a gestão da sustentabilidade no Laboratório Fabrica de Imãs de Terras Raras (LabFab).

Em relação ao atendimento dos objetivos específicos, destacam-se as seguintes contribuições:

- **Sistematizar o conhecimento acerca da produção de ITR e relacioná-lo aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável:** A partir da associação dos fatos sobre a produção de ITR, contidos em artigos científicos revisados, e os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável foi possível traçar um panorama de como os ITR podem contribuir, ou até mesmo prejudicar o alcance dos ODS. A sistematização deste conhecimento desdobrou-se na artigo intitulado *Achieving Sustainable Development Goals in rare earth magnets production: A review on state of the art and SWOT analysis*, publicado no periódico *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, referenciado nesta tese como Bonfante et al, (2021).

Identificou-se que a produção de ITR contribui fortemente com o Objetivo de número 7 Energia Limpa e Acessível e Objetivo 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima, uma vez que a partir da aplicação de ITR é possível obter turbinas eólicas capazes de gerar energia

limpa de forma eficaz e motores elétricos e equipamentos eletrônicos eficientes que reduzem as emissões de carbono se comparados com oss que não utilizam estes ímãs. Além disso, existem oportunidades em contribuir com o Objetivo de número 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis e Objetivo 12 - Consumo e Produção Responsáveis, principalmente pelo grande potencial de reciclagem e até de criação de uma cadeia circular. Por outro lado, a produção de ITR está associada a riscos ambientais e sociais que podem desacelerar o alcance dos objetivos de número 3 - Saúde e Bem-Estar e Objetivo 8 – Trabalho Decente e Crescimento Econômico.

Ao se colocar em perspectiva a relação ente os ITRs e os ODS é possível identificar oportunidades para este setor contribuir com as metas globais, fomentando a transição energética e a inovação, porém atentando aos clássicos problemas ambientais e sociais causados pela mineração.

• Definir as práticas de sustentabilidade ESG prioritárias para a produção de ITR no LabFab, com base na literatura, manuais técnicos e entrevistas com especialista:

Um conjunto prioritário e relevante de práticas ESG foi definido especialmente para o caso da produção de ITR, em particular aplicado ao LabFab. As práticas definidas nesta pesquisa também representam uma ampliação no conhecimento sobre ITR e sustentabilidade, uma vez que anteriormente ao desenvolvimento desta tese não existiam estudos nesta temática.

Este conjunto de práticas direciona às ações mais importantes que devem ser executadas e direciona a quais indicadores de desempenho da sustentabilidade devem ser acompanhados, contribuindo para que o projeto INCT PATRIA e o projeto REGINA de fato alcancem a produção de “ímãs verdes” no Brasil. A expressão “ímã verde” foi cunhada por estes projetos para representar um ímã mais sustentável em relação aos produzidos na China.

Cabe destacar que apesar de muito conhecida no ambiente corporativo, a sigla ESG, que considera a governança além dos aspectos ambientais e sociais é ainda pouco utilizada na literatura, exemplo disso é o fato de que dentre os 15 artigos consultados sobre modelos de gestão de sustentabilidade, apenas um abordava a governança. Na prática, a governança garante que as ações em prol dos aspectos ambientais e sociais se concretizem, portanto é importante que a literatura acadêmica também passe a considerá-la ao se tratar de sustentabilidade, e esta também é uma contribuição desta tese.

• Propor etapas para a condução da gestão da sustentabilidade no Labfab:

Conforme identificado na revisão de literatura sobre modelos de gestão da sustentabilidade é sabido que não há uma ferramenta única para a gestão da sustentabilidade nas empresas. Muitos

dos modelos existentes na literatura são derivados de sistemas de gestão mais robustos e muitas vezes são considerados complexos e pouco práticos. O Guia ODS para empresas é um dos modelos que mais se aproxima de uma ferramenta possível de ser utilizada em uma organização, mas ainda assim foi desenhada para grandes empresas, portanto seria necessário fazer adequações para sua utilização no LabFab. Portanto uma nova sequência de etapas foi proposta, construída com base na literatura e com forte participação dos gestores do LabFab. O método de aplicação proposto primou pela objetividade e utilizou ferramentas bem conhecidas na indústria como *storyboards* e ciclo PDCA. Novamente, além da contribuição teórica, o resultado obtido nesta etapa contribui com a aplicação e gestão da sustentabilidade no LabFab.

5.2 LIMITAÇÕES

Em relação às limitações da pesquisa desenvolvida nesta tese pode-se destacar a falta de referências de empresas do setor que são consideradas sustentáveis que poderiam contribuir com *benckmarking* e o fato de não ter sido possível aplicar e acompanhar a gestão da sustentabilidade além da simulação, uma vez que o LabFab ainda encontra-se em fase de implementação. Quanto ao conjunto de práticas, considera-se como limitação o fato da natureza evolutiva do que é considerado prioridade da sustentabilidade variar conforme ao longo do tempo, indicando que em breve uma revisão deste conjunto deve ser feita, além disso a indicação deste conjunto de práticas não esgota as possibilidades de ações sustentáveis que podem ser adotadas pelo setor em prol das ODS.

O modelo de gestão da sustentabilidade apresentado nesta tese é a primeira ferramenta desenvolvida para este setor, em especial o LabFab, portanto melhorias e evoluções podem ser acrescentadas no futuro.

5.3 DIRECIONAMENTO PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados e limitações do modelo de gestão da sustentabilidade desenvolvido nesta tese podem esclarecer os direcionamentos para trabalhos futuros descritos em forma de perguntas:

Como considerar de forma mais ampla o papel estratégico do LabFab no fomento da cadeia de ITR no Brasil? Atualmente o LabFab é central no sucesso do desenvolvimento da cadeia de ITR no país, protagonizando como primeiro empreendimento do setor. A estratégia

do desenvolvimento da cadeia produtiva tem especial relevância no contexto do LabFab, uma vez que a promoção da tecnologia nacional é um dos seus propósitos.

Como ter mais interação com a esfera governamental, por meio de incentivos e ações estratégicas para o país? O setor mineral tem grande relevância na economia do Brasil e os benefícios do estabelecimento de uma cadeia produtiva de alto valor agregado são sabidos. Devido aos grandes desafios e extensão das ações, a esfera pública pode contribuir com o sucesso e longevidade da produção de ETR e ITR no país.

Como garantir o estabelecimento de uma cadeia sustentável de ITR no Brasil? As diretrizes das ações prioritárias para a sustentabilidade do LabFab foram discutidas nesta tese, porém, o estabelecimento da cadeia como um todo exige uma articulação de governança mais ampla entre os diversos atores, incluindo transparência entre os fornecedores e ações em prol da economia circular.

Como será o estabelecimento da mineração de ETR no Brasil? Como garantir sua sustentabilidade em especial conservando terras indígenas e áreas de preservação? A etapa de extração de recursos minerais deve seguir padrões a fim de garantir a segurança ambiental e social. O “Plano Nacional de Mudanças Climáticas e a Indústria Mineral do Brasil” visa reduzir os impactos do setor, porém até o momento não há um programa no âmbito governamental, que definam ou acompanhem metas de sustentabilidade no setor mineral. As ações existentes são resultantes de iniciativas individuais de empresas do setor.

Quais os padrões de excelência para as ações de sustentabilidade? Como conectá-las aos índices de sustentabilidade como o ISE (Índice de Sustentabilidade Empresarial) e o Índice Dow Jones de Sustentabilidade? O ITR são de interesse internacional e o alcance de padrões de sustentabilidade pode garantir a competitividade do ímã brasileiro. Além disso a figuração em índices de sustentabilidade pode levar ao acesso a investimentos. Desta forma também se questiona se é possível criar uma rede global de benchmarking da sustentabilidade do setor.

Quais as técnicas de produção e novas tecnologias podem ser incorporadas para tornar o processo produtivo mais sustentável? A redução da extração de ETR e a adoção de processos menos impactantes são caminhos para a obtenção de um processo produtivo mais sustentável, para tanto, novas tecnologias e sua viabilidade devem ser avaliadas.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas / Coord. Geral Osvaldo Barbosa Ferreira Filho; Equipe Técnica por Marina Dalla Costa et al.; – Brasília: ANM, 2019. 34 p.: il.
- ALI, S. H. Social and Environmental Impact of the Rare Earth Industries. *Resources*, v. 3, p. 123–134, 2014.
- AMATO, A. et al. Sustainability analysis of innovative technologies for the rare earth elements recovery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 41–53, 2019.
- APERGIS, E.; APERGIS, N. The role of rare earth prices in renewable energy consumption: The actual driver for a renewable energy world. *Energy Economics*, v. 62, 2017.
- ARSHI, P. S.; VAHIDI, E.; ZHAO, F. Behind the Scenes of Clean Energy: The Environmental Footprint of Rare Earth Products. *ACS SUSTAINABLE CHEMISTRY & ENGINEERING*, v. 6, n. 3, p. 3311–3320, mar. 2018.
- ASHBY, A.; LEAT, M.; HUDSON-SMITH, M. Making connections: A review of supply chain management and sustainability literature. *Supply Chain Management*, v. 17, n. 5, p. 497–516, 2012.
- ASIF, M. et al. An integrated management systems approach to corporate social responsibility. *Journal of Cleaner Production*, v. 56, p. 7–17, 2013.
- ASIF, M. et al. Including sustainability in business excellence models. *Total Quality Management and Business Excellence*, v. 22, n. 7, p. 773–786, 2011.
- ASIF, M.; SEARCY, C. Towards a standardised management system for corporate sustainable development. *TQM Journal*, v. 26, n. 5, p. 411–430, 2014.
- AZAPAGIC, A. Systems Approach to Corporate Sustainability. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 81, n. 5, p. 303–316, 2003.
- B LAB. SDG Action Manager Disponível em: <https://app.bimpactassessment.net/get-started/partner/ungc>. Acesso em mar. 2020.
- BAILEY, G.; MANCHERI, N.; VAN ACKER, K. Sustainability of Permanent Rare Earth Magnet Motors in (H)EV Industry. *Journal of Sustainable Metallurgy*, v. 3, n. 3, p. 611–626, 2017.
- BALARAM, V. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. *Geoscience Frontiers*, v. 10, n. 4, p. 1285–1303, 2019.
- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Planejamento estratégico - Plano Trienal 2020-2022. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/quem-somos/planejamento-estrategico/plano-trienal-2020-2022>. Acesso em jan. 2020.

BARAKOS, G.; MISCHO, H.; GUTZMER, J. An outlook on the rare earth elements mining industry. *AusIMM Bulletin*, n. 2, 2016.

BASTAS, A.; LIYANAGE, K. Setting a framework for organisational sustainable development. *Sustainable Production and Consumption*, v. 20, p. 207–229, 2019.

BAUMGARTNER, R. J. Managing corporate sustainability and CSR: A conceptual framework combining values, strategies and instruments contributing to sustainable development. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, v. 21, n. 5, p. 258–271, 2014.

BINNEMANS, K. et al. Recycling of rare earths: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, v. 51, p. 1–22, 2013.

BONFANTE, M. C. et al. Achieving Sustainable Development Goals in rare earth magnets production: A review on state of the art and SWOT analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 137, n. October 2020, 2021.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. Live proferida no evento online Conversations with Global Leaders: Leading on Sustainable Development. *SDGAcademyX*, 2020. Disponível em: <https://learning.edx.org/course/course-v1:SDGAcademyX+LSD001+1T2020/home>. Acesso em fev. 2020.

BURRELL, G.; MORGAN, G. *Sociological paradigms and organisational analysis*. London: Heinemann, 1979.

BUSCH, J.; DAWSON, D.; ROELICH, K. Closing the low-carbon material loop using a dynamic whole system approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 149, p. 751–761, 2017.

CAPLAN, S. Using focus group methodology for ergonomic design. *Ergonomics*, v. 33, n.5, p. 527-33, 1990.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). *Usos e aplicações de Terras Raras no Brasil: 2012-2030*. Brasília. 2013. 254 p.; il, 24 cm. ISBN 978-85-60755-64-6.

CIACCI, L. et al. Recovering the “new twin”: Analysis of secondary neodymium sources and recycling potentials in Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, p. 143–152, 2019.

CODEMGE. www.codemge.com.br. Disponível em: <http://www.codemge.com.br/a-codemge/perfil/> Acesso em: dez. 2020.

COMISSÃO EUROPEIA (CE). Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the implementation of the Circular Economy Action Plan. Bruxelas: 2019. Disponível em:<https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/report_implementation_circular_economy_action_plan.pdf>. Acesso em: mar. 2020.

CONEXÃO MINERAL. Mineração Serra Verde já tem compradores para sua produção de concentrado de terras-raras. Disponível em:

<https://www.conexaomineral.com.br/noticia/2027/mineracao-serra-verde-ja-tem-compradores-para-sua-producao-de-concentrado-de-terras-raras.html>. Acesso em mai. 2021.

CONEXÃO MINERAL. Serra Verde recebe Licença de Instalação para projeto de terras raras em Minaçu (GO). Disponível em: <https://www.conexaomineral.com.br/noticia/1625/serra-verde-recebe-licenca-de-instalacao-para-projeto-de-terras-raras-em-minacu-go.html>. Acesso em ago. 2020.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). Guia dos ODS para as Empresas - Diretrizes para implementação dos ODS na estratégia dos negócios. 2015. Disponível em: <https://cebds.org/wp-content/uploads/2015/11/Guia-dos-ODS.pdf>. Acesso em jul. 2019.

CORREIA, E. et al. Maturity Models in Supply Chain Sustainability: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, v. 9, n. 1, p. 64, 2017.

CRAMER, J. Experiences with structuring corporate social responsibility in Dutch industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 13, n. 6, p. 583–592, 2005.

Da Silva, André Luiz Nunis. Sustentabilidade da cadeia produtiva dos ímãs de terras raras. In: Seminário Brasileiro de Terras Raras, 5, 2021, Belo Horizonte. Disponível em https://www.cdtm.br/images/eventos/material/slides_sbtr/14-16h20-Sustentabilidade_na_cadeia_produtiva_dos_imas_de_terras_raras-Andra_L_N_da_Silva_IPT.pdf. Acesso em 15 Abr. 2021.

DAS, N.; DAS, D. Recovery of rare earth metals through biosorption: An overview. *Journal of Rare Earths*, v. 31, n. 10, p. 933–943, 2013.

DENT, P. C. Rare earth elements and permanent magnets (invited). *Journal of Applied Physics*, v. 111, n. 7, p. 1–7, 2012.

DIAS, C. A. (2000). GRUPO FOCAL: técnica de coleta de dados em pesquisas qualitativas. *Informação & Sociedade: Estudos*, 10(2). Disponível em <https://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/ies/article/view/330>

DONG, S. et al. The status of Chinese permanent magnet industry and R&D activities. *AIP Advances*, v. 7, n. 5, 2017.

DRUSCHE, O.; KRAUSE, S.; NISKI, A. The “green magnet” - Research team at THGA bochum analyzes the marketability of a sustainable product [Der “Green Magnet” - Die THGA Bochum analysiert die Vermarktungsfähigkeit eines nachhaltigen Produkts]. *World of Metallurgy - ERZMETALL*, v. 72, n. 1, p. 39–47, 2019.

DUTTA, T. et al. Global demand for rare earth resources and strategies for green mining. *Environmental Research*, v. 150, p. 182–190, 2016.

ENGERT, S.; BAUMGARTNER, R. J. Corporate sustainability strategy - Bridging the gap between formulation and implementation. *Journal of Cleaner Production*, v. 113, p. 822–834, 2016.

FATHOLLAHZADEH, H. et al. Role of microorganisms in bioleaching of rare earth elements from primary and secondary resources. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 103, n. 3, p. 1043–1057, 2019.

FERNANDES, I. B.; ABADÍAS LLAMAS, A.; REUTER, M. A. Simulation-Based Exergetic Analysis of NdFeB Permanent Magnet Production to Understand Large Systems. *Jom*, v. 72, n. 7, p. 2754–2769, 2020.

FERNANDES, Suelen. Método para a Avaliação da Sustentabilidade Ambiental da Produção de Ímãs De Terras Raras no Brasil: um Estudo no Laboratório Fábrica. Dissertação. Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

FISHMAN, T.; GRAEDEL, T. E. Impact of the establishment of US offshore wind power on neodymium flows. *Nature Sustainability*, v. 2, n. 4, p. 332–338, 2019.

GLOBAL REPORTING INITIATIVE (GRI). Sector Disclosures G4 – Mining and Metals. 2013.

GOTO, MÁRCIO. Terras-Raras - Visão Geral do Mercado Global, Desafios e Oportunidades. In: Seminário Brasileiro de Terras Raras, 5, 2021, Belo Horizonte. Disponível em: https://www.cdn.br/images/eventos/material/slides_sbtr/12-17h10_Roskill-Terras_Raras-Visao_geral_do_mercado_global_desafios_e_oportunidades-Marcio_Goto_Roskill.pdf. Acesso em 15 Abr. 2021.

Governo do Brasil (GOV). Desempenho do setor mineral em 2020 supera expectativas. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2021/02/desempenho-do-setor-mineral-em-2020-supera-expectativas#:~:text=O%20aumento%20foi%20de%2031,%24%2032%20bilh%C3%B5es%2C%20em%202020>. Acesso em jul. 2021.

GUTFLEISCH, O. et al. Magnetic Materials and Devices for the 21st Century: Stronger, Lighter, and More Energy Efficient. *ADVANCED MATERIALS*, v. 23, n. 7, p. 821–842, 2011.

HABIB, K. A product classification approach to optimize circularity of critical resources – the case of NdFeB magnets. *Journal of Cleaner Production*, v. 230, p. 90–97, 2019.

HARRIS, I. R.; JEWELL, G. W. Rare-earth magnets: properties, processing and applications. *Functional materials for sustainable energy applications*, p. 600–639, 2012.

HERNANDEZ, M. et al. Environmental impact of traction electric motors for electric vehicles applications. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 22, n. 1, p. 54–65, 2017.

HOLGER, S. et al. The social footprint of permanent magnet production based on rare earth elements-a social life cycle assessment scenario. (Y. J. Li H. Wu J., Ed.) *Energy Procedia*. Anais...Elsevier Ltd, 2017 Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0.85041506245&doi=10.1016%2Fj.egypro.2017.12.157&partnerID=40&md5=a5280cc75e8b6c0747e7fc0317d79900>>

ILYAS, S. et al. Bio-reclamation of strategic and energy critical metals from secondary resources. *Metals*, v. 7, n. 6, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). Mineradoras devem ser ‘companhias verdes’ para ter sucesso no mercado de capitais. Disponível em: <http://portaldaminerao.com.br/ibram/mineradoras-devem-ser-companhias-verdes-para-ter-sucesso-no-mercado-de-capitais/>. Acesso em nov. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO GOVERNANCA CORPORATIVA. (IBCG). Código das melhores práticas de governança corporativa. 5ª Edição, 2015. Disponível em: <https://conhecimento.ibgc.org.br/Paginas/Publicacao.aspx?PubId=21138>. Acesso em jun. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (INCT). INCT – Terras Raras. Disponível em: <https://inct-terras-raras.prp.usp.br/linhas-de-pesquisa>. Acesso em jul. 2021.

JIN, H. et al. Comparative Life Cycle Assessment of NdFeB Magnets: Virgin Production versus Magnet-to-Magnet Recycling. (Seliger, G and Kruger, J, Ed.)23RD CIRP CONFERENCE ON LIFE CYCLE ENGINEERING. Anais...: Procedia CIRP.2016

JIN, H. et al. Life Cycle Assessment of Neodymium-Iron-Boron Magnet-to-Magnet Recycling for Electric Vehicle Motors. Environmental Science and Technology, v. 52, n. 6, p. 3796–3802, 2018b.

JIN, H. et al. Sustainable Value Recovery of NdFeB Magnets: A Multi-Objective Network Design and Genetic Algorithm. ACS Sustainable Chemistry and Engineering, v. 6, n. 4, p. 4767–4775, 2018a.

Kitchenham, B. Procedures for performing systematic reviews. Keele, UK, Keele University, 2004. 33(TR/SE-0401), 28. <http://doi.org/10.1.1.122.3308>

KUEI, C. H.; LU, M. H. Integrating quality management principles into sustainability management. Total Quality Management and Business Excellence, v. 24, n. 1–2, p. 62–78, 2013.

LACERDA et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. Gest. Prod. 20 (4) 2013.

LOORBACH, D. Transition management for sustainable development. Governance: an international journal of policy, administration and institutions, v. 23, n. 1, p. 161–183, 2010.

LOYALL. Carta Loyall junho 2019. Disponível em: <https://loyall.com.br/2019/06/02/carta-junho-2019/>. Acesso em out. 2019.

MAAS, S.; RENIERS, G. Development of a CSR model for practice: Connecting five inherent areas of sustainable business. Journal of Cleaner Production, v. 64, p. 104–114, 2014.

MANCHERI, N. A. et al. Effect of Chinese policies on rare earth supply chain resilience. Resources, Conservation and Recycling, v. 142, n. July 2018, p. 101–112, 2019.

MAON, F.; LINDGREEN, A.; SWAEN, V. Designing and implementing corporate social responsibility: An integrative framework grounded in theory and practice. Journal of Business Ethics, v. 87, n. SUPPL. 1, p. 71–89, 2009.

MARX, J. et al. Comparative Life Cycle Assessment of NdFeB Permanent Magnet Production from Different Rare Earth Deposits. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, v. 6, n. 5, p. 5858–5867, 2018.

Ministério de Minas e Energia (MME). Plano Nacional de Mineração 2030 -Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília, 2011.

MONFARED, B.; FURBERG, R.; PALM, B. Magnetic vs. vapor-compression household refrigerators: A preliminary comparative life cycle assessment. *International Journal of Refrigeration*, v. 42, p. 69–76, 2014.

MORGAN, D. L. Focus group as qualitative research. London: Sage, 1997.

MUSTAPHA, M. A.; MANAN, Z. A.; WAN ALWI, S. R. Sustainable Green Management System (SGMS) – An integrated approach towards organisational sustainability. *Journal of Cleaner Production*, v. 146, p. 158–172, 2017.

Nações Unidas (NU). Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: jan.2021

NAWAZ, W.; KOÇ, M. Development of a systematic framework for sustainability management of organizations. *Journal of Cleaner Production*, v. 171, p. 1255–1274, 2018.

NLEBEDIM, I. C.; KING, A. H. Addressing Criticality in Rare Earth Elements via Permanent Magnets Recycling. *Jom*, v. 70, n. 2, p. 115–123, 2018.

NORDELÖF, A. et al. Life cycle assessment of permanent magnet electric traction motors. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 67, p. 263–274, 2019.

NORDELÖF, A.; TILLMAN, A.-M. A scalable life cycle inventory of an electrical automotive traction machine—Part II: manufacturing processes. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 23, n. 2, p. 295–313, 2018.

OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL (ODS). Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/>. Acesso em jan. 2021.

OBSERVATÓRIO DE TENDÊNCIAS EM SUSTENTABILIDADE (OTS). ESTUDO NEXT Ferramentas de gestão para a sustentabilidade: cinco grandes desafios. *Revista Ideia Sustentável*, 38, São Paulo, ISSN 2238-1287, 2015. Disponível em: <http://www.ideiasustentavel.com.br/wp-content/uploads/2015/09/NEXT-38-Ferramentas-de-Gest%C3%A3o.pdf>. Acesso em: jan. 2019.

OZOEMENA, M.; CHEUNG, W. M.; HASAN, R. Comparative LCA of technology improvement opportunities for a 1.5-MW wind turbine in the context of an onshore wind farm. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 20, n. 1, p. 173–190, 2018.

REBELO, M. F.; SANTOS, G.; SILVA, R. Integration of management systems: towards a sustained success and development of organizations. *Journal of Cleaner Production*, v. 127, p. 96–111, 2016.

RIDDLE, M. et al. Global critical materials markets: An agent-based modeling approach. *Resources Policy*, v. 45, p. 307–321, 2015.

ROBECOSAM. *Global Sustainable Impact Equities*. Disponível em: <https://www.robecosam.com/en/strategies/impact-equities/global-sustainable-impact-equities.html>. Acesso em setembro de 2018.

ROCHA, M.; SEARCY, C.; KARAPETROVIC, S. Integrating sustainable development into existing management systems. *Total Quality Management and Business Excellence*, v. 18, n. 1–2, p. 83–92, 2007.

RÖNNLUND, I. et al. Eco-efficiency indicator framework implemented in the metallurgical industry: part 1—a comprehensive view and benchmark. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 21, n. 10, p. 1473–1500, 2016.

SAATY, T. L. *Método de Análise Hierárquica*. São Paulo: McGraw-Hill, 1991.

SACHS, JEFFREY, D. Palestra proferida no curso How to Achieve the Sustainable Development Goals, SDGAcademyX, 2020. Disponível em: <https://www.edx.org/course/how-to-achieve-the-sustainable-development-goals>. Acesso em 30 mai. 2020.

SAGAWA, M. et al. Permanent magnet materials based on the rare earth-iron-boron tetragonal compounds (invited). *IEEE Transactions on Magnetics*, v. 20, n. 5, p. 1584–1589, 1984.

SAHOO, P. K. et al. Recovery of metals and other beneficial products from coal fly ash: a sustainable approach for fly ash management. *International Journal of Coal Science and Technology*, v. 3, n. 3, p. 267–283, 2016.

SAUER, P. C.; SEURING, S. Sustainable supply chain management for minerals. *Journal of Cleaner Production*, v. 151, p. 235–249, 2017.

SCHLOER, H. et al. The energy-mineral-society nexus - A social LCA model. *APPLIED ENERGY*, v. 228, p. 999–1008, 2018.

SCHLOER, H. et al. The social footprint of permanent magnet production based on rare earth elements - a social life cycle assessment scenario. (Yan, J and Wu, J and Li, H, Ed.) *PROCEEDINGS OF THE 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED ENERGY*. Anais...: Energy Procedia.2017

SCHREIBER, A.; MARX, J.; ZAPP, P. Comparative life cycle assessment of electricity generation by different wind turbine types. *Journal of Cleaner Production*, v. 233, p. 561–572, 2019.

SCHULZE, R. et al. An Ex-ante LCA Study of Rare Earth Extraction from NdFeB Magnet Scrap Using Molten Salt Electrolysis. *JOURNAL OF SUSTAINABLE METALLURGY*, v. 4, n. 4, p. 493–505, 2018b.

SCHULZE, R. et al. Recycling and its effects on joint production systems and the environment – the case of rare earth magnet recycling – Part I — Production model. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 134, p. 336–346, 2018a.

STINDT, D. A generic planning approach for sustainable supply chain management - How to integrate concepts and methods to address the issues of sustainability? *Journal of Cleaner Production*, v. 153, p. 146–163, 2017.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). Mapping Mining to the Sustainable Empowered lives. Resilient nations. Development Goals: an Atlas. 2017. Disponível em: <https://www.undp.org/publications/mapping-mining-sdgs-atlas>. Acesso em jun. 2019.

US DEPARTMENT OF COMMERCE. *The International Trade Administration and The U.S. Department of Commerce's definition for Sustainable Manufacturing*. Disponível em: http://www.trade.gov/competitiveness/sustainablemanufacturing/how_doc_defines_SM.asp. Acesso em outubro de 2017.

US DEPARTMENT OF ENERGY (USDE). Critical Material Strategy. Disponível em: https://www.energy.gov/sites/prod/files/DOE_CMS2011_FINAL_Full.pdf. 2011. Acesso em: mar. 2019.

VALOR INVESTE. GRI cria conselho no Brasil com presença de grandes investidores. Disponível em: <https://valorinveste.globo.com/mercados/renda-variavel/empresas/noticia/2020/03/03/gri-cria-conselho-no-brasil-com-presenca-de-grandes-investidores.ghtml>. Acesso em mai. 2020.

VEISI, H.; LIAGHATI, H.; ALIPOUR, A. Developing an ethics-based approach to indicators of sustainable agriculture using analytic hierarchy process (AHP). *Ecological Indicators*, v. 60, p. 644–654, 2016.

VOGEL, H.; FRIEDRICH, B. Reducing Greenhouse Gas Emission from the Neodymium Oxide Electrolysis. Part II: Basics of a Process Control Avoiding PFC Emission. *International Journal of Nonferrous Metallurgy*, v. 06, n. 03, p. 27–46, 2017.

WENG, Z. et al. Assessing the energy requirements and global warming potential of the production of rare earth elements. 2016.

WINTER, M.; KNEMEYER, A. M. Exploring the integration of sustainability and supply chain management: Current state and opportunities for future inquiry. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, v. 43, n. 1, p. 18–38, 2013.

WULF, C. et al. Lessons Learned from a Life Cycle Sustainability Assessment of Rare Earth Permanent Magnets. *Journal of Industrial Ecology*, v. 00, n. 0, p. 1–13, 2017.

YANG, Y. et al. REE Recovery from End-of-Life NdFeB Permanent Magnet Scrap: A Critical Review. *Journal of Sustainable Metallurgy*, v. 3, n. 1, p. 122–149, 2017.

Zhang, M.; Daly, Tom. UPDATE 2-China hikes H1 rare earth output quota as industry grapples with vírus. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/china-rareearths/update-1-china-hikes-first-half-2020-rare-earth-mining-output-quota-by-10-idUSL4N2AJ1J4>. Acesso em: Abr. 2020.

ZHOU, B.; LI, Z.; CHEN, C. Global potential of rare earth resources and rare earth demand from clean technologies. *Minerals*, v. 7, n. 11, 2017.

ZHUANG, W.-Q. et al. Recovery of critical metals using biometallurgy. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 33, p. 327–335, 2015.

APÊNDICE A – PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO

Autor(es)	Título	Jornal
Fishman and Graedel (2019)	Impact of the establishment of US offshore wind power on neodymium flows	Nature Sustainability
Schreiber et al. (2019)	Comparative life cycle assessment of electricity generation by different wind turbine types	Journal of Cleaner Production
(Habib, 2019)	A product classification approach to optimize circularity of critical resources – the case of NdFeB magnets	Journal of Cleaner Production
Amato et al. (2019)	Sustainability analysis of innovative technologies for the rare earth elements recovery	Renewable and Sustainable Energy Reviews
Ciacchi et al. (2019)	Recovering the “new twin”: Analysis of secondary neodymium sources and recycling potentials in Europe	Resources, Conservation and Recycling
Nordelöf et al. (2019)	Life cycle assessment of permanent magnet electric traction motors	Transportation Research Part D: Transport and Environment
Schulze et al. (2018b)	Recycling and its effects on joint production systems and the environment – the case of rare earth magnet recycling – Part I — Production model	Resources, Conservation and Recycling
Schulze et al. (2018a)	An Ex-ante LCA Study of Rare Earth Extraction from NdFeB Magnet Scrap Using Molten Salt Electrolysis	Journal of Sustainable Metallurgy
Schlör et al. (2018)	The energy-mineral-society nexus – A social LCA model	Applied Energy
Marx et al. (2018)	Comparative Life Cycle Assessment of NdFeB Permanent Magnet Production from Different Rare Earth Deposits	ACS Sustainable Chemistry and Engineering
Jin et al. (2018b)	Sustainable Value Recovery of NdFeB Magnets: A Multi-Objective Network Design and Genetic Algorithm	ACS Sustainable Chemistry and Engineering
Jin et al. (2018a)	Life Cycle Assessment of Neodymium-Iron-Boron Magnet-to-Magnet Recycling for Electric Vehicle Motors	Environmental Science and Technology
Arshi et al. (2018)	Behind the Scenes of Clean Energy: The	ACS Sustainable Chemistry

	Environmental Footprint of Rare Earth Products	and Engineering
Nlebedim and King (2018)	Addressing Criticality in Rare Earth Elements via Permanent Magnets Recycling	JOM
Nordelöf and Tillman (2018)	A scalable life cycle inventory of an electrical automotive traction machine—Part II: manufacturing processes	International Journal of Life Cycle Assessment
Ozoemena et al. (2018)	Comparative LCA of technology improvement opportunities for a 1.5-MW wind turbine in the context of an onshore wind farm	Clean Technologies and Environmental Policy
Nordelöf et al. (2018)	A scalable life cycle inventory of an electrical automotive traction machine—Part I: design and composition	International Journal of Life Cycle Assessment
Yang et al. (2017)	REE Recovery from End-of-Life NdFeB Permanent Magnet Scrap: A Critical Review	Journal of Sustainable Metallurgy
Wulf et al. (2017)	Lessons Learned from a Life Cycle Sustainability Assessment of Rare Earth Permanent Magnets	Journal of Industrial Ecology
Busch et al. (2017)	Closing the low-carbon material loop using a dynamic whole system approach	Journal of Cleaner Production
Hernandez et al. (2017)	Environmental impact of traction electric motors for electric vehicles applications	International Journal of Life Cycle Assessment
Bailey et al. (2017)	Sustainability of Permanent Rare Earth Magnet Motors in (H)EV Industry	Journal of Sustainable Metallurgy
Sprecher et al. (2014)	Life cycle inventory of the production of rare earths and the subsequent production of NdFeB rare earth permanent magnets	Environmental Science and Technology
Monfared et al. (2014)	Magnetic vs. vapor-compression household refrigerators: A preliminary comparative life cycle assessment	International Journal of Refrigeration
Binnemans et al. (2013)	Recycling of rare earths: A critical review	Journal of Cleaner Production

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO

30/04/2021

Práticas de Sustentabilidade na produção de Ímãs de Terras Raras

Práticas de Sustentabilidade na produção de Ímãs de Terras Raras

A presente pesquisa constitui uma etapa no desenvolvimento de uma tese de doutorado no Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina. Esta tese visa o desenvolvimento de um modelo de gestão da sustentabilidade corporativa, aplicado à produção de Ímãs de Terras Raras.

Esta pesquisa tem como objetivo captar a percepção de diversos stakeholders (fornecedores, investidores, governantes, clientes e comunidade) sobre a priorização de ações na gestão da sustentabilidade.

As práticas avaliadas neste questionário foram sistematizadas a partir da análise dos seguintes documentos: Guias da Global Reporting Initiative (GRI); Guia dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS); Plano Nacional de Mineração e documentos da literatura sobre Ímãs de Terras Raras e sustentabilidade.

Tais práticas de sustentabilidade abrangem três aspectos:

Ambiental

Social

Governança

*Obrigatório

1. Tempo de experiência na área *

Marcar apenas uma oval.

- Menos de 2 anos
- Entre 2 e 5 anos
- Mais de 5 anos

2. e-mail, caso queira receber o resultado da pesquisa

Ambiental

30/04/2021

Práticas de Sustentabilidade na produção de Ímãs de Terras Raras

3. Assinale as práticas relacionados(as) à temática Ambiental que você considera relevantes para a avaliação e gestão da sustentabilidade na produção de Ímãs de Terras Raras *

Marque todas que se aplicam.

- Todas as alternativas
- Prevenção de resíduos e desperdícios
- Reaproveitamento de resíduos gerados na produção
- Uso de matéria prima de fonte secundária (reciclagem)
- Redução do uso de água
- Redução do uso de energia
- Redução da quantidade de resíduos tóxicos e perigosos gerados na produção
- Utilização de matriz energética limpa
- Redução das emissões dos gases do efeito estufa gerados na produção e transporte
- Redução das emissões fugitivas no processo
- Ações para gerir o destino final do produto
- Apoio aos clientes para projetar para a desmontagem (design for disassembly)

4. Comentários

Você tem algum comentário ou sugestão sobre o aspecto Meio Ambiente? Alguma prática a acrescentar?

Social

30/04/2021

Práticas de Sustentabilidade na produção de Ímãs de Terras Raras

5. Assinale as práticas relacionados(as) à temática Social que você considera relevantes para a avaliação e gestão da sustentabilidade na produção de Ímãs de Terras Raras *

Marque todas que se aplicam.

- Todas as alternativas
- Redução do uso de materiais tóxicos (câncer e doenças ocupacionais)
- Preparo para emergências
- Redução de acidentes de trabalho e medidas tomadas após o acidente
- Atuação junto a escolas e oferecer capacitação para a comunidade
- Capacitação para os funcionários
- Contratação de trabalhadores locais
- Ações a favor da equidade de gênero e diversidade em cargos de gestão
- Taxas de regresso ao trabalho e de retenção após a licença parental, por sexo
- Benefícios oferecidos a funcionários

6. Comentários

Você tem algum comentário ou sugestão sobre o aspecto Social? Alguma prática a acrescentar?

Governança

30/04/2021

Práticas de Sustentabilidade na produção de Ímãs de Terras Raras

7. Assinale as práticas relacionados(as) à Governança que você considera relevantes para a avaliação e gestão da sustentabilidade na produção de Ímãs de Terras Raras *

Marque todas que se aplicam.

- Todas as alternativas
- Atendimento das expectativas de clientes e investidores
- Atendimento das expectativas dos funcionários e comunidade local
- Transparência de pagamentos para governo (risco de corrupção)
- Comunicação das ações de sustentabilidade
- Código de conduta e ética alinhado com a sustentabilidade
- Avaliação dos impactos ambientais negativos na cadeia de suprimentos e ações tomadas
- Seleção de novos fornecedores utilizando critérios de práticas trabalhistas, direitos humanos, impactos ambientais
- Desenvolvimento de fornecedores locais
- Avaliação dos impactos de fornecedores em áreas com Restrição Legal e terras indígenas

8. Comentários

Você tem algum comentário ou sugestão sobre o aspecto Governança? Alguma prática a acrescentar?

Hierarquia

Nesta etapa o objetivo é definir uma hierarquia entre as temáticas da sustentabilidade na produção de ímãs de terras raras. Para tanto, para cada par de comparação atribua qual o grau de importância de uma temática da sustentabilidade em relação à outra utilizando a escala abaixo:

30/04/2021

Práticas de Sustentabilidade na produção de Ímãs de Terras Raras

Escala numérica	Definição	Explicação
1	Igualmente importante	As duas temáticas são igualmente importantes
3	Moderadamente importante	A temática é moderadamente superior à outra
5	Muito importante	A temática é muito mais importante que a outra
7	Muito fortemente importante	A temática é fortemente mais importante que a outra
9	Extremamente importante	A temática é extremamente mais importante que a outra

Exemplo

Neste exemplo a temática "Saúde e Segurança" é considerado extremamente mais importante que a temática "Relações de Trabalho":

Saúde e segurança x Relações de trabalho *

Atribua o grau de importância de uma temática em relação à outra

9 Saúde e segurança 7 Saúde e segurança 5 Saúde e segurança 3 Saúde e segurança 1 3 Relações de trabalho 5 Relações de trabalho 7 Relações de trabalho

Deslize a barra para ver mais opções de respostas →

Ambiental

Detalhamento do aspecto Ambiental:

(1) Ambiental	Uso de materiais	Prevenção de resíduos e desperdícios
		Reaproveitamento de resíduos gerados na produção
		Uso de matéria prima de fonte secundária (reciclagem)
		Redução da quantidade de resíduos não reaproveitáveis (sólidos, gasosos e líquidos)
	Efluentes, Emissões e Biodiversidade	Redução do uso de água
		Redução do uso de energia
		Redução da quantidade de resíduos tóxicos e perigosos gerados na produção
		Utilização de matriz energética limpa
		Redução das emissões dos gases do efeito estufa gerados na produção e transporte
		Redução das emissões fugitivas no processo
	Uso e Fim de Vida	Ações para gerir o destino final do produto
		Apoio aos clientes para projetar para a desmontagem (design for disassembly)

9. 2.1 Uso de Materiais x Efluentes, Emissões e Biodiversidade *

Atribua o grau de importância de uma temática em relação à outra

Marcar apenas uma oval por linha.

	9 Uso de Materiais	7 Uso de Materiais	5 Uso de Materiais	3 Uso de Materiais	1	3 Efluentes, Emissões e Biodiversidade	5 Efluentes, Emissões e Biodiversidade
-	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Deslize a barra para ver mais opções de respostas →

10. 2.2 Uso de Materiais x Uso do produto e Fim de Vida *

Atribua o grau de importância de uma temática em relação à outra

Marcar apenas uma oval por linha.

	9 Uso de Materiais	7 Uso de Materiais	5 Uso de Materiais	3 Uso de Materiais	1	3 Uso e Fim de Vida	5 Uso e Fim de Vida	7 Uso e Fim de Vida	9 Fim de Vida
-	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Deslize a barra para ver mais opções de respostas →

30/04/2021

Práticas de Sustentabilidade na produção de Ímãs de Terras Raras

11. 2.5 Efluentes, Emissões e Biodiversidade x Uso do produto e Fim de Vida *

Atribua o grau de importância de uma temática em relação à outra

Marcar apenas uma oval por linha.

	9 Efluentes, Emissões e Biodiversidade	7 Efluentes, Emissões e Biodiversidade	5 Efluentes, Emissões e Biodiversidade	3 Efluentes, Emissões e Biodiversidade	1	3 Uso e Fim de Vida	5
-	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Deslize a barra para ver mais opções de respostas →

Social

Detalhamento do aspecto Social:

(2) Social	Saúde e segurança	Redução do uso de materiais tóxicos (câncer e doenças ocupacionais)
		Preparo para emergências
		Redução de acidentes de trabalho e medidas tomadas após o acidente
	Desenvolvimento dos funcionários e da comunidade	Atuação junto a escolas e oferecer capacitação para a comunidade
		Capacitação para os funcionários
		Contratação de trabalhadores locais
	Relações de trabalho	Ações a favor da equidade de gênero e diversidade em cargos de gestão e salários
		Taxas de regresso ao trabalho e de retenção após a licença parental, por sexo
		Benefícios oferecidos a funcionários

12. 3.1 Saúde e segurança x Desenvolvimento dos funcionários e da comunidade *

Atribua o grau de importância de uma temática em relação à outra

Marcar apenas uma oval por linha.

	9 Saúde e segurança	7 Saúde e segurança	5 Saúde e segurança	3 Saúde e segurança	1	3 Desenvolvimento dos funcionários e da comunidade	5
-	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Deslize a barra para ver mais opções de respostas →

30/04/2021

Práticas de Sustentabilidade na produção de Ímãs de Terras Raras

13. 3.1 Saúde e segurança x Relações de trabalho *

Atribua o grau de importância de uma temática em relação à outra

Marcar apenas uma oval por linha.

	9 Saúde e segurança	7 Saúde e segurança	5 Saúde e segurança	3 Saúde e segurança	1	3 Relações de trabalho	5 Relações de trabalho	Relações de trabalho
-	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Deslize a barra para ver mais opções de respostas 

14. 3.1 Desenvolvimento dos funcionários e da comunidade x Relações de trabalho *

Atribua o grau de importância de uma temática em relação à outra

Marcar apenas uma oval por linha.

	9 Desenvolvimento dos funcionários e da comunidade	7 Desenvolvimento dos funcionários e da comunidade	5 Desenvolvimento dos funcionários e da comunidade	3 Desenvolvimento dos funcionários e da comunidade	1	Relações de trabalho
-	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Deslize a barra para ver mais opções de respostas **Governança**

Detalhamento do aspecto Governança:

30/04/2021

Práticas de Sustentabilidade na produção de Ímãs de Terras Raras

(3) Governança	Envolvimento dos Stakeholders	Envolvimento da comunidade local nas decisões
		Envolvimento dos Funcionários nas decisões
	Transparência	Transparência de pagamentos para governo (risco de corrupção)
		Comunicação das ações de sustentabilidade
		Código de conduta e ética alinhado com a sustentabilidade
	Gestão da cadeia	Avaliação dos impactos ambientais negativos na cadeia de suprimentos e ações tomadas
		Seleção de novos fornecedores utilizando critérios de práticas trabalhistas, direitos humanos e impactos ambientais
Desenvolvimento de fornecedores locais		
Avaliação dos impactos de fornecedores em áreas com Restrição Legal e terras indígenas		

15. 1.1 Envolvimento dos Stakeholders x Transparência *

Atribua o grau de importância de uma temática em relação à outra

Marcar apenas uma oval por linha.

	9	7	5	3	1	3
	Envolvimento dos Stakeholders	Envolvimento dos Stakeholders	Envolvimento dos Stakeholders	Envolvimento dos Stakeholders		Transparência
-	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Deslize a barra para ver mais opções de respostas →

16. 1.2 Envolvimento dos Stakeholders x Gestão da Cadeia *

Atribua o grau de importância de uma temática em relação à outra

Marcar apenas uma oval por linha.

	9	7	5	3	1	3	5
	Envolvimento dos Stakeholders	Envolvimento dos Stakeholders	Envolvimento dos Stakeholders	Envolvimento dos Stakeholders		Gestão da Cadeia	Gestã da Cadei
-	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Deslize a barra para ver mais opções de respostas →

30/04/2021

Práticas de Sustentabilidade na produção de Ímãs de Terras Raras

17. 1.5 Transparência x Gestão da Cadeia *

Atribua o grau de importância de uma temática em relação à outra

Marcar apenas uma oval por linha.

	9 Transparência	7 Transparência	5 Transparência	3 Transparência	1	3 Gestão da Cadeia	Ge c Ca
-	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Deslize a barra para ver mais opções de respostas 

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

APÊNDICE C – FICHA DE AVALIAÇÃO DO MODELO

Avaliação do modelo

a) De 1 a 10 assinale o quanto o modelo de gestão apresentado atende as expectativas

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10

b) Você observou a falta de algum elemento essencial?

- Não
- Sim

Quais? _____

c) Alguma etapa gerou dúvida?

- Não
- Sim, no Eixo Entender
- Sim, no Eixo Definir
- Sim, no Eixo Integrar
- Sim, no Eixo Comunicar

d) Se sim , quais? _____

e) Gostaria de colaborar com sugestões?
