

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE
GESTÃO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO
HÍDRICO:
APLICAÇÃO NO SEGMENTO MÍNERO-
METALÚRGICO NO BRASIL

Thaiza Clemente Couto Bissacot

Belo Horizonte

2016

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE
GESTÃO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO
HÍDRICO:
APLICAÇÃO NO SEGMENTO MÍNERO-
METALÚRGICO NO BRASIL**

Thaiza Clemente Couto Bissacot

Thaiza Clemente Couto Bissacot

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE
GESTÃO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO
HÍDRICO:
APLICAÇÃO NO SEGMENTO MÍNERO-
METALÚRGICO NO BRASIL**

Projeto de tese apresentado ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito à obtenção do título de doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Avaliação e Gerenciamento de Impactos e de Riscos Ambientais

Orientadora: Dr^a. Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira

**BELO HORIZONTE
2016**

B623d

Bissacot, Thaiza Clemente Couto.

Desenvolvimento de ferramenta de gestão para avaliação de risco hídrico [manuscrito] : aplicação no segmento mineiro-metalúrgico no Brasil / Thaiza Clemente Couto Bissacot. - 2016.
xiv, 71 f., enc.: il.

Orientadora: Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndice: f. 71.

Bibliografia: 67-70.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Meio ambiente - Teses. 3. Gestão ambiental - Teses. 4. Avaliação de riscos ambientais - Teses. 5. Recursos hídricos - Desenvolvimento - Teses. I. Oliveira, Sílvia Maria Alves Corrêa. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte - BRASIL
Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br
<http://www.smarh.eng.ufmg.br>

FOLHA DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE GESTÃO PARA
AVALIAÇÃO DE RISCO HÍDRICO: APLICAÇÃO NO SEGMENTO
MÍNERO-METALÚRGICO NO BRASIL

THAIZA CLEMENTE COUTO BISSACOT

Tese defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Prof.^ª SÍLVIA MARIA ALVES CORRÊA OLIVEIRA - Orientador

Prof. MÁRIO CICARELI PINHEIRO

Prof. RAUL ZANONI LOPES CANÇADO

Prof.^ª LILIANA PENA NAVAL

ANA LÚCIA SILVA TAVEIRA

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Versão Final aprovada por

Prof. Nilo de Oliveira Nascimento
Coordenador

Prof.^ª Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira
Orientadora

Belo Horizonte, 03 de novembro de 2016.

*Ao meu pai, meu maior orgulho,
Um exemplo de homem, de pai e de vida dedicada à família.*

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, professora *Sílvia Maria Alves Correa Oliveira*, exemplo de ser humano e profissional, pela oportunidade, confiança, apoio, trabalho conjunto e incentivo incondicional durante tantos anos. Hoje mais do que uma orientadora, uma grande amiga.

A toda minha FAMÍLIA (*aos presentes neste plano e aos eternamente presentes no coração*), pelo amor e apoio ao longo desses 33 anos. Sem vocês eu nada seria.

Ao meu marido, amigo e amor, *Leonardo*, pela compreensão, paciência, amor, incentivo e pelas contribuições técnicas para a conclusão do meu doutorado.

A professora *Liliana Pena Naval*, que guiou os meus primeiros passos na vida acadêmica, dando o incentivo e apoio necessário para a conclusão da minha graduação. Ter a sua participação na defesa de mestrado e doutorado é uma satisfação.

Aos amigos de trabalho, pelo incentivo, compreensão e torcida para a condução do trabalho, em especial o amigo *Angelino Maneskul* que trabalhou aos fins de semanas para apoiar o a informatização da FARH.

A todos dos membros das bancas de seminários, qualificação e em especial aos presentes na defesa, que contribuíram muito para o aprimoramento do trabalho.

E a Deus, que traçou uma plano de vida especial pra mim.

RESUMO

Embora a governança da água no setor industrial tenha evoluído muito nos últimos anos, motivado principalmente pela busca da redução de custos, garantia da licença social para operar e para prevenir os riscos associados ao suprimento de água, a gestão dos riscos hídricos no Brasil ainda é desafio. Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver uma Ferramenta de Gestão para Avaliação de Risco Hídrico (FARH) para unidades do segmento mineiro-metalúrgico no país. A formatação estrutural da FARH foi realizada com base em blocos de entradas, processamento e saída de dados com vistas à elaboração de um *dashboard* balizado pela caracterização da situação da bacia hidrográfica em relação ao grau de estresse hídrico (Eixo Y), caracterização do *status* de gestão hídrica do empreendimento (Eixo X) e pela definição do nível de dependência do empreendimento em relação ao recurso hídrico. A ferramenta foi aplicada em nível piloto em 09 (nove) empreendimentos localizados nos estados de Minas Gerais, Goiás e São Paulo, sendo que os critérios propostos foram considerados aderentes à realidade destas operações. Com a validação dos critérios da FARH, as plataformas de dados foram inseridas em “macro excel” para informatização da sua aplicação, o que possibilitou a geração de uma ferramenta para a exportação da análise do risco hídrico de forma automatizada. O *dashboard* gerado permitiu a visualização consolidada dos dados, proporcionando comparações entre diferentes operações e fornecendo base técnica para a priorização de ações e alocação de recursos dentro de uma organização. Adicionalmente, os resultados obtidos podem ser incorporados ao planejamento estratégico dos empreendimentos no âmbito da governança corporativa, servindo de subsídio para a implementação do plano de gestão e contingência hídrica dos empreendimentos do segmento.

Palavras chave: Ferramenta de Gestão; Segmento mineiro-metalúrgico; Avaliação de risco hídrico.

ABSTRACT

Although the governance of water in the industrial sector has evolved greatly in recent years, mainly due to efforts to decrease costs, ensuring social license to operate and to prevent the risks associated with water supply, management of water risk in Brazil is still a challenge. Thus, this project aims to develop a Water Risk Assessment Tool (FARH) for the metallurgical and mining sector. The structure of the FARH tool was developed based on input blocks, processing and output data. The objective is to generate a dashboard contemplating the characterization of the watershed in relation to the degree of water stress (Y-axis), characterization of the water management of the enterprise (X-axis) and the definition of the enterprise level of dependency in relation to water resources. The tool was applied on a pilot level in nine (09) projects located in the states of Minas Gerais, Goiás and São Paulo, with the proposed criteria considered adherent to the reality of these operations. With the validation of the FARH criteria, data platforms MS Excel macros was developed for computerization of its application, which will allow the analysis of water risk in an automated way. The dashboard make possible a consolidated view of the data, providing comparisons between different operations and providing technical basis for prioritizing actions and allocation of resources within the organization. Additionally, the results can be incorporated into the strategic planning of projects regarding the corporate governance, serving as a subsidy for the implementation of the water management and contingency plan on projects for the metallurgical and mining sector.

Key words: Management; Tool; Water risk assessment.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABELAS.....	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	XIV
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 JUSTIFICATIVA	3
3 OBJETIVOS.....	5
3.1 OBJETIVO GERAL	5
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
4 REVISÃO DA LITERATURA	6
4.1 ASPECTOS GERAIS RELACIONADOS A GESTÃO DE RISCO.....	6
4.2 ASPECTOS TÉCNICOS RELACIONADOS À AVALIAÇÃO DE RISCO HÍDRICO NO SEGMENTO MÍNERO-METALÚRGICO	10
4.2.1 Aspectos relacionados à vulnerabilidade hídrica no Brasil.....	12
4.2.2 Contabilização hídrica como parte de ferramenta de avaliação do risco hídrico	16
4.2.3 Aspectos regulatórios para uso e proteção dos recursos hídricos	19
4.2.4 Uso da água e o relacionamento com partes interessadas.....	20
4.2.5 Nível de dependência operacional dos empreendimentos minero-metalúrgicos em relação aos recursos hídricos.....	21
4.3 PLANO DE GESTÃO HÍDRICA	22
5 ADAPTAÇÃO DA METODOLOGIA DE CONTABILIZAÇÃO HÍDRICA – WATER ACCOUNTING FRAMEWORK (WAF) – PARA APLICAÇÃO NO SEGMENTO MÍNERO-METALÚRGICO NO BRASIL	25
5.1 INTRODUÇÃO	25
5.2 METODOLOGIA	27
5.2.1 Identificação do fluxograma operacional avaliado pela Water Accounting Framework (WAF) e visão adaptada.....	27
5.2.2 Cálculo dos indicadores EN 8, EN 10 (GRI, 2015) e percentual de reutilização WAF (padrão e adaptada).....	29
5.2.3 Aplicação da WAF - Adaptada	30
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5.4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	37
6 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE GESTÃO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO HÍDRICO (FARH) PARA APLICAÇÃO NO SEGMENTO MÍNERO-METALÚRGICO NO BRASIL .	39
6.1 INTRODUÇÃO	39
6.2 METODOLOGIA	40
6.2.1 Formatação estrutural.....	40
6.2.2 Elaboração dos questionários e base (racional) de cálculo associada.....	42
6.2.3 Situação da bacia hidrográfica em relação ao grau de estresse hídrico – Eixo Y.....	43
6.2.4 Status da gestão hídrica do empreendimento – Eixo X	44
6.2.5 Dependência do empreendimento em relação ao recurso hídrico – Eixo Z.....	48
6.2.6 Classificação do risco hídrico.....	49
6.2.7 Validação e estruturação da FARH em base informatizada a partir de uma etapa piloto	51
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
6.3.1 Resultados da etapa piloto.....	52
6.3.2 Guia para elaboração do plano de gestão hídrica.....	53
6.3.3 Informatização da FARH.....	56
6.4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	65

7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
	REFERÊNCIAS	67
	APENDICE I	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1: Contribuição da avaliação de riscos para o processo de gestão de riscos.	8
Figura 4.2: Exemplo da classificação da situação da bacia hidrográfica do rio São Francisco, considerando a relação Demanda/Disponibilidade hídrica.....	13
Figura 4.3: Elementos essenciais para orientar o regime de extração de água sustentável.....	15
Figura 4.4: Modelo de <i>Input-Output</i> da WAF.....	17
Figura 4.5: Exemplo de fluxograma operacional simplificado representado na WAF.....	19
Figura 4.6: Vertentes da implementação estratégica do SINGREH.....	20
Figura 4.7: Complexidade de um plano de gestão de recursos hídricos.....	23
Figura 5.1: Modelo conceitual da WAF (SMI/MCA) e WAF – Adaptada.....	29
Figura 5.2: Fluxograma de processo do <i>Site 2</i> com a aplicação da WAF e WAF – Adaptada.....	32
Figura 5.3: Gráfico da aplicação da WAF – Padrão e WAF – Adaptada nos <i>Sites 1 e 2, respectivamente</i>	35
Figura 6.1: Fluxograma de operacionalização da FARH.....	40
Figura 6.2: <i>Dashboard</i> gerado após a consolidação da FARH.....	50
Figura 6.3: <i>Dashboard</i> gerado com a aplicação da FARH na etapa piloto.....	52
Figura 6.4: Tela de abertura da FARH – Menu inicial.....	57
Figura 6.5: Tela de caracterização do empreendimento.....	58
Figura 6.6: Tela parcial do questionário do Eixo Y.....	59
Figura 6.7: Tela parcial do questionário do Eixo X.....	60
Figura 6.8: Tela parcial do questionário do Eixo Z.....	61
Figura 6.9: Tela do <i>dashboard</i> (matriz de risco).....	62
Figura 6.10: Tela parcial do guia de apoio para elaboração do plano de gestão hídrica.....	63
Figura 6.11: Tela parcial do campo para preenchimento do plano de ação.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Ferramentas de avaliação de risco hídrico utilizadas por Mueller <i>et al.</i> (2015)	11
Tabela 4.2: Resultados obtidos por Mueller <i>et al.</i> (2015) com relação aos riscos físicos	11
Tabela 5.1: Sumário das premissas utilizadas para o cálculo dos indicadores relativos à contabilização de água nova e percentual de reutilização.....	30
Tabela 5.2: Descrição dos empreendimentos (sites) onde a WAF – Adaptada foi aplicada.....	30
Tabela 5.3: Sumário dos resultados obtidos com a aplicação da WAF padrão e adaptada	33
Tabela 5.4: Percentual de reutilização obtido com base nas diretrizes da WAF-Adaptada e do EN 10 (GRI, 2015)	34
Tabela 6.1: Objetivos e Ações da Entrada, Processamento e Saída de Dados.....	41
Tabela 6.2: Questionário para caracterização da situação da bacia hidrográfica em relação ao grau de estresse hídrico (Eixo Y).....	44
Tabela 6.3: Questionário para caracterização do <i>status</i> da gestão hídrica do empreendimento (Eixo X)	45
Tabela 6.4: Questionário para caracterização do nível de dependência do empreendimento em relação ao recurso hídrico (Eixo Z).....	49
Tabela 6.5: Escala de Risco – Situação da bacia hidrográfica <i>versus Status</i> da gestão hídrica.....	49
Tabela 6.6: Escala de Risco – Correlação com a pontuação obtida nos questionários da FARH.....	50
Tabela 6.7: Descrição dos empreendimentos (sites) onde a FARH foi aplicada	51
Tabela 6.8: Ações de prevenção e acompanhamento para a gestão hídrica em empreendimentos classificados na escala de risco hídrico baixo.....	54
Tabela 6.9: Ações de controle para a gestão hídrica em empreendimentos classificados na escala de risco hídrico moderado.....	54
Tabela 6.10: Ações de mitigação e correção para a gestão hídrica em empreendimentos classificados na escala de risco hídrico alto.....	55
Tabela 6.11: Ações de contingência para a gestão hídrica em empreendimentos classificados na escala de risco hídrico crítico	55

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABQUIM	Associação Brasileira da Indústria Química
ANA	Agência Nacional de Águas
AS/NZS Standards	Australia and Standards New Zealand
NBR	Norma Brasileira
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro de Desenvolvimento Sustentável
CERH/MG	Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais
EN 8	Indicador GRI - total de retirada de água por fonte
EN 9	Indicador GRI - fontes hídricas significativamente afetadas por retirada de água
EN 10	Indicador GRI – percentual e volume total de água reciclada e reutilizada
EN 22	Indicador GRI – descarte total de água, por qualidade e destinação
FAO	Food and Agriculture Organization
FARH	Ferramenta de Avaliação de Risco Hídrico
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
GRI	Global Reporting Initiative
GWT	Global Water Tool
IBGC	Instituto Brasileiro de Governança Corporativa
ISO	International Organization for Standardization
MCA	Mineral Council of Australia
NA	Não Aplicável
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONG	Organização Não Governamental
PDCA	Plan, Do, Check and Act
PUA	Plano de Utilização de Água na Mineração
SMI	Sustainable Mineral Institute
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
UNDESA	United Nations Population Division
WAF	Water Accounting Framework
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WEF	World Economic Forum
WEI	Water Exploitation Index
WFN	Water Footprint Network
WRF	Water Risk Filter
WRI	World Resources Institute
WWF	World Wide Fund for Nature
%	Percentual

1 INTRODUÇÃO

O efeito que as organizações sofrem de influências e fatores internos e externos que tornam incerto se, e quando, elas atingirão seus objetivos é chamado de "risco" (ABNT, 2009).

Nos últimos anos, como as organizações passaram a sofrer pressões cada vez maiores para redução dessas incertezas, a necessidade de gerenciar riscos, incluindo-se os de natureza ambiental, passou a ser reconhecida como um elemento essencial para a boa prática da governança corporativa (IBGC, 2007).

Um dos grandes problemas com que se defrontam as organizações reside no fato de que a visão da maioria é extremamente segmentada, o que leva a conflitos e divergências operacionais que minimizam a resultante dos esforços. Desta forma, o que se deve procurar adotar é uma visão sistêmica, abrangente e holística (TACHIZAWA & ANDRADE, 2008).

Embora a governança da água no setor industrial tenha evoluído nos últimos anos, motivado principalmente pela busca da redução de custos, garantia da licença social para operar e para prevenir os riscos associados ao suprimento de água (CEBDS, 2015), a gestão dos riscos hídricos no país ainda é desafio.

A crise hídrica associada à escassez e à falta de acesso à água potável é considerada pelo Fórum Econômico Mundial como o maior risco que deverá ser enfrentado pela humanidade na próxima década (WEF, 2015).

Os eventos climáticos extremos, os problemas de escassez e o nível de maturidade das instituições envolvidas, fazem com que a gestão do risco hídrico ainda seja um processo complexo, adaptativo e oneroso. Neste sentido, as ferramentas de gerenciamento de risco ambiental, incluindo as de gestão de riscos hídricos, têm se constituído em instrumentos cada vez mais essenciais para a caracterização, redução e mitigação dos potenciais riscos associadas às operações industriais.

É importante destacar que, embora existam instrumentos referenciados para a avaliação de risco hídrico (WBCSD Global Water Tool – GWT, WRI Aqueduct Toll, WWF/DEG Water Risk Filter -WWF), as ferramentas disponíveis fornecem subsídios apenas para avaliações iniciais, que precisarão ser aprofundadas para a elaboração de planos de ação de curto, médio

e longo prazo. Para que seja possível identificar os riscos é preciso conhecimento das condições locais, mas a base de dados disponível nestas ferramentas não permite esta avaliação, quer seja pela defasagem de dados, quer seja pela ausência de dados na escala requerida para esta análise (CEBDS, 2015; MUELLER *et al.*, 2015).

Dentro deste contexto, quando há a necessidade de detalhamento de fatores em um segmento específico, a exemplo do mineiro-metalúrgico, as ferramentas disponíveis ficam ainda mais superficiais, pois não permitem a inserção de peculiaridades destas operações.

A mineração é provavelmente, dentre as principais usuárias de água no Brasil, a que apresenta maiores peculiaridades, abrangendo desde empreendimentos complexos, com requerimento de áreas para o armazenamento de rejeitos e/ou com demanda para o desaguamento de mina, a empreendimentos com pequeno grau de processamento primário, como concentração, separação ou lavagem de minério (ANA, 2006).

Neste sentido, o segmento vem sendo alvo de pressões legais e sociais relacionadas ao gerenciamento dos recursos hídricos, sendo cada vez mais complexo ter acesso ao recurso, seja pela complexidade do processo de licenciamento ou dificuldade em se obter a licença social para operar.

Desta forma, a presente pesquisa teve como objetivo o desenvolvimento de uma Ferramenta de Gestão para Avaliação de Risco Hídrico (FARH) capaz de mapear, classificar e priorizar os riscos hídricos a serem geridos no âmbito do planejamento estratégico de unidades do segmento mineiro-metalúrgico no Brasil.

O texto está estruturado da seguinte forma: apresentação da justificativa no capítulo 2, os objetivos gerais e específicos da pesquisa no capítulo 3, a revisão da literatura sobre o tema no capítulo 4 e, dois capítulos autossuficientes, onde são abordados, na forma de artigos científicos, a “Adaptação da metodologia de contabilização hídrica – *Water Accounting Framework* (WAF) – para aplicação no segmento mineiro-metalúrgico no Brasil” (Capítulo 5) e “Desenvolvimento da Ferramenta de Gestão para Avaliação de Risco Hídrico (FARH) para aplicação no segmento mineiro-metalúrgico no Brasil” (Capítulo 6).

2 JUSTIFICATIVA

De acordo com Bichueti *et al.* (2014), a gestão do uso da água é um dos maiores desafios para o desenvolvimento seguro e econômico do segmento minero-metalúrgico, sendo considerada uma dualidade que varia de recurso extremamente necessário em diversas atividades e processos, à origem de muitas preocupações.

Existem vários potenciais problemas associados a água nas minerações, como a formação de drenagem ácida, a poluição da água subterrânea devido à disposição inadequada de rejeitos, descarga de água de mina em águas superficiais e competição pela água por outras indústrias e comunidade local (DANOUCARAS *et al.*, 2014).

Adicionalmente, a mineração tem estratégias de gerenciamento hídrico que são incomuns nas demais indústrias. Estes *sites* coletam água de chuva em grandes áreas de armazenamento, retiram água dos corpos de minério e recirculam grandes volumes de água para atender à demanda de processo. Neste sentido, ganha importância o conhecimento sobre a origem da água, em especial a natureza das fontes responsáveis pelo seu abastecimento na mineração, basicamente fontes subterrâneas, superficiais e as chamadas águas de reciclagem (ANA, 2006).

No Brasil, alguns estados com característica de mineração intrínseca ao seu desenvolvimento econômico, a exemplo do estado de Minas Gerais, vêm buscando mecanismos para regulamentar o Plano de Utilização de Águas na Mineração (PUA) no âmbito da Resolução CNRH n° 55/2005 (BRASIL, 2005) e estabelecer medidas de restrição hídrica para os casos de escassez, a exemplo da Deliberação Normativa CERH/MG n° 49/2015 publicada para o estado de Minas Gerais (CERH/MG, 2015).

Em países onde o segmento minero-metalúrgico tem forte atuação e há histórico de escassez hídrica, como no caso Australiano, o governo estabeleceu um verdadeiro mercado de uso da água (*water market*) com o objetivo de estabelecer regras de compra e venda de água para assegurar que o recurso escasso seja alocado de acordo com o uso mais valorizado (AUSTRALIAN GOVERNMENT, 2016). Exemplo que vem sendo debatido em fóruns de discussão estratégica de recursos hídricos no Brasil (ANA, 2015).

Neste sentido, torna-se cada vez maior a necessidade de conhecimento da gestão hídrica destes empreendimentos, incluindo avaliação de riscos relacionada à origem e natureza das fontes responsáveis pelo seu abastecimento (subterrâneas, superficiais, pluviais, águas de reuso), destino e qualidade dos efluentes gerados (ANA, 2006).

O processo de avaliação de riscos fornece aos tomadores de decisão e às partes responsáveis um entendimento aprimorado dos riscos que podem afetar o alcance dos objetivos, bem como a adequação e eficácia dos controles em uso. Isto fornece uma base para decisões sobre a abordagem mais apropriada a ser utilizada para tratar os riscos. A saída de uma avaliação de riscos é uma entrada para o processo de tomada de decisão da organização (ABNT, 2012). Dentro deste contexto, a gestão de riscos hídricos pode ser aplicada a toda uma organização como forma de estabelecer prioridades e planos de ação de curto, médio e longo prazo.

Aliada a esta gestão, o planejamento estratégico que pode ser definido como um processo contínuo de tomar decisões atuais que envolvem riscos (CHIAVENATO, 2003) pode ser projetado para longo prazo, em termos de efeitos e consequências, onde que o horizonte temporal pode ir de 3 (três) anos a algumas décadas (VERGARA, 2007).

Neste sentido, conforme exposto na introdução e detalhado na revisão de literatura, embora existam instrumentos referenciados para a avaliação de risco hídrico, as ferramentas disponíveis fornecem subsídios apenas para avaliações iniciais, não estabelecem elementos para a avaliação integrada e tampouco específica para o segmento mineiro-metalúrgico (MUELLER *et al.*, 2015).

Desta forma, o desenvolvimento de uma Ferramenta de Gestão para Avaliação de Risco Hídrico (FARH) capaz de identificar, classificar e priorizar riscos hídricos se justifica sob o ponto de vista técnico e acadêmico para sanar uma lacuna existente no mapeamento deste quesito no segmento mineiro-metalúrgico no país.

3 OBJETIVOS

3.1 *Objetivo geral*

Desenvolver uma Ferramenta de Gestão para Avaliação de Risco Hídrico (FARH) para o segmento minero-metalúrgico no Brasil.

3.2 *Objetivos específicos*

- Realizar e padronizar a adaptação da metodologia de contabilização hídrica, *Water Accounting Framework* – WAF, para aplicação no segmento minero-metalúrgico no Brasil (Capítulo 5).
- Estabelecer a arquitetura da ferramenta de avaliação de risco hídrico de forma a inserir os mecanismos de entrada, processamento e saída de dados necessários à classificação do risco hídrico (Capítulo 6).
- Definir premissas, critérios e conceitos e desenvolver módulos para a identificação, e classificação da escala de risco hídrico por meio da avaliação da situação da bacia hidrográfica, *status* da gestão sobre os recursos hídricos e grau de dependência do empreendimento deste recurso (Capítulo 6).
- Estabelecer um guia orientativo para a elaboração do plano de gestão hídrica dos empreendimentos do segmento minero-metalúrgico com base nas escalas de risco definidas pela FARH (Capítulo 6).

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Aspectos gerais relacionados a gestão de risco

A análise de riscos e perigos de processo compõem a gestão de riscos ambientais de uma organização e é considerada como item fundamental para garantir o sucesso dos projetos de segurança e operação de um sistema em plantas de processo e outras instalações (DUNJO *et al.*, 2010).

Sanchez (2013) define perigo como uma situação ou condição que tem potencial de acarretar consequências indesejáveis, enquanto o risco é conceituado como a contextualização de uma situação de perigo, ou seja, a possibilidade de materialização de um evento indesejado ocorrer. Assim risco, como definido pela *Society for Risk Analysis*, é o potencial de ocorrência de resultados adversos indesejados para a saúde ou vida humana, para o ambiente ou para bens materiais. Risco pode ser definido de modo mais formal como produto da probabilidade de ocorrência de um determinado evento pela magnitude (severidade) das consequências.

De acordo com Tixier *et al.* (2002) as metodologias utilizadas para a avaliação de risco podem ser classificadas em metodologias qualitativas, semi-quantitativas e quantitativas. O grau de detalhamento requerido dependerá da aplicação em particular, da disponibilidade de dados confiáveis e das necessidades de tomada de decisão da organização. Alguns métodos e o grau de detalhe da análise podem ser prescritos pela legislação (ABNT, 2012).

A avaliação qualitativa define consequência, probabilidade e nível de risco por níveis de significância tais como alto, médio e baixo, pode combinar consequência probabilidade e avalia o nível ou escala de risco resultante em comparação com os critérios qualitativos.

Os métodos semi-quantitativos utilizam escalas de classificação numérica para consequência e probabilidade e as combinam para produzir um nível de risco utilizando uma fórmula. As escalas podem ser lineares ou logarítmicas, ou podem ter alguma outra relação.

A análise quantitativa estima valores práticos para consequências e suas probabilidades, e produz valores do nível ou escala de risco em unidades específicas definidas quando se desenvolveu o contexto.

Em uma revisão de 62 métodos de análise de risco de processo incluindo alguns com natureza e/ou critérios ambientais utilizados em plantas industriais Tixier *et al.* (2002) identificaram que os métodos qualitativos são os mais empregados para avaliações de risco que envolvem diversos aspectos gerais. Os métodos quantitativos são desenvolvidos para situações onde existe a necessidade de avaliação de algum aspecto específico.

Tixier *et al.* (2002) também sumarizaram as limitações dos principais métodos de análise de risco utilizados em unidades industriais:

- Quanto mais geral é a metodologia, menos aplicável para casos específicos e quanto mais específica, menos aplicável para transposição em outras situações;
- O conhecimento técnico das pessoas que participam da análise de risco é extremamente importante, porque a classificação da severidade do risco é realizada de forma subjetiva e desta forma, toda análise fica susceptível a fatores humanos;
- A complexidade dos métodos que não estão automatizados requer esforços adicionais e treinamentos específicos para sua implementação.

De acordo com o Purdy (2010) até a publicação da ISO 31.000:2009 as pessoas que trabalhavam com o gerenciamento de riscos possuíam diferentes elementos, processos e até mesmo definições sobre a estratégia mais adequada para a avaliação dos riscos de suas organizações.

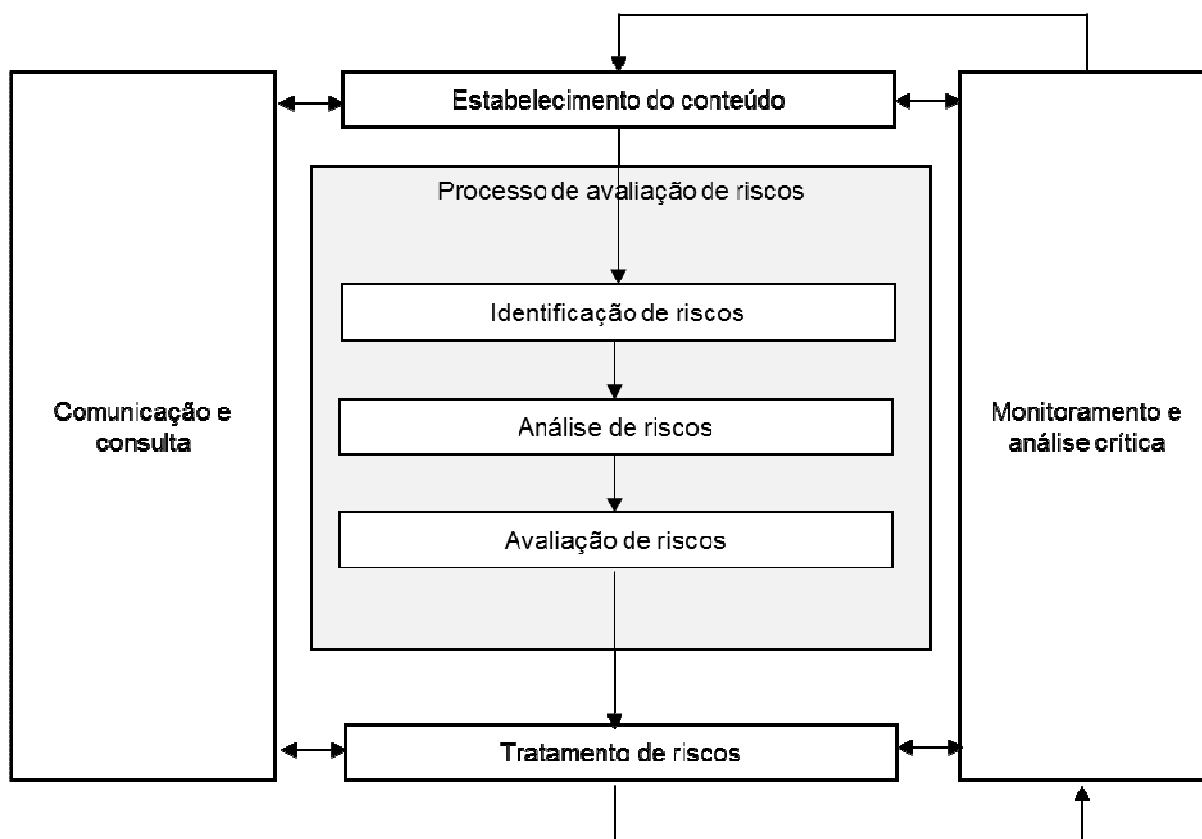
E desta forma, embora a AS/NZS 4.360:1999, tenha sido a primeira norma de gestão de riscos elaborada no mundo, a ISO 31.000:2009 (ABNT, 2009), que se baseou na revisão de 2004 da AS/NZS 4.360 (AS/NZS 2004), é atualmente a norma de referência aplicada em âmbito internacional para o gerenciamento de riscos, incluindo os ambientais.

A publicação da ABNT NBR ISO 31.000 foi fundamental para implementação dos seguintes aspectos no âmbito do gerenciamento de riscos: i) Padronização de um vocabulário direcionado; ii) Estabelecimento de critérios de desempenho; iii) Definição de um processo global comum para a identificação, análise, avaliação e tratamento dos riscos; iv) Apresentação de um guia para o processo de tomada de decisão em qualquer organização (PURDY, 2010).

De forma complementar, a ISO 31.010 (ABNT, 2012) apresenta as diretrizes para a escolha

das técnicas para o processo de avaliação de risco disponíveis. De acordo com a norma, o processo de avaliação de riscos é o processo global de identificação, análise e avaliação de riscos, conforme indicado na **Figura 4.1**.

Figura 4.1: Contribuição da avaliação de riscos para o processo de gestão de riscos.



Fonte: ABNT (2012).

A maneira como este processo é realizado depende não somente do contexto da gestão de riscos, mas também dos métodos e técnicas utilizados para conduzir a avaliação. E de acordo com a norma inclui: a identificação das causas e fontes do risco, eventos, situações ou circunstâncias que poderiam ter um impacto material sobre os objetivos e a natureza associada. Sendo que os métodos de identificação de riscos podem incluir:

- Métodos baseados em evidências, exemplos como listas de verificação e análise crítica de dados históricos;
- Abordagens sistemáticas de equipe onde especialistas segue um processo sistemático para identificar os riscos por meio de um conjunto estruturado de instruções ou perguntas;
- Técnicas de raciocínio indutivo como a *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) e

técnicas de apoio para melhorar a exatidão na identificação de riscos, com destaque para *brainstorming*, método Delphi e lista de verificações.

A *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) foi inicialmente desenvolvida como uma metodologia formal em 1960, pela indústria aeroespacial com o objetivo de avaliar riscos de segurança e confiabilidade. Desde então, o método vem sendo utilizado por uma vasta gama de indústrias, incluindo a automotiva, nuclear, biomédica, entre outras (GARGAMA & CHATURVEDI, 2011).

No âmbito da avaliação de riscos ambientais no Brasil, a análise FMEA vem sendo utilizada para identificação dos riscos que precisam ser priorizados com vistas ao atendimento da legislação ambiental, de requisitos corporativos e à obtenção de certificações ambientais, a exemplo da ISO 14001 (NOGUEIRA *et al.*, 2011; ZAMBRANO & MARTINS, 2007).

O *brainstorming* é utilizado para estimular e incentivar o livre fluxo de conversação entre um grupo de pessoas conhecedoras do tema ou processo para identificar os perigosos e riscos associados e os critérios para decisões. Pode ser utilizado em conjunto com outros métodos para o processo de avaliação de riscos, podendo ser realizado de maneira formal ou informal.

O método Delphi é um procedimento utilizado para obter um consenso confiável de opiniões de um grupo de especialistas. Pode ser aplicado em qualquer estágio do processo de gestão de riscos, sempre que um consenso de visões de especialistas for necessário. O procedimento de trabalho é realizado por meio do envio de um questionário semi-estruturado a um grupo de especialistas, com rodadas de retorno até que haja um consenso entre as avaliações.

A lista de verificações consiste na lista de perigos, riscos ou falhas de controle que foram desenvolvidas normalmente a partir da experiência, como resultado de um processo de uma avaliação de risco anterior. O trabalho é realizado por meio da aplicação da lista de verificação e avaliação da análise crítica dos itens que a compõem.

Destaca-se que, independentemente do método escolhido, o processo de avaliação de riscos de um empreendimento deve ser capaz de avaliar o processo de forma macro e de desenvolver ferramentas para avaliar itens específicos, que sejam identificados como estratégicos para o planejamento da companhia.

4.2 Aspectos técnicos relacionados à avaliação de risco hídrico no segmento minero-metalúrgico

Ao longo das últimas décadas, a indústria da mineração vem reconhecendo a importância da água para si mesma e para os outros (WOODLEY *et al.*, 2013). Enquanto a escassez de água é uma certeza global, prever a escala, natureza e a localização dos riscos associados ainda é um desafio (ORR *et al.*, 2009).

Os riscos associados com a escassez de água podem ser classificados em três categorias: (i) risco de recurso insuficiente para suprir necessidades básicas das pessoas e indústrias; (ii) riscos associados à implementação da cobrança pelo uso, aumento dos preços de energia, perda da competitividade, instabilidade política e econômica e migração populacional; e (iii) riscos da gestão inadequada baseada em falta de conhecimento de curto e longo prazo.

No âmbito industrial propriamente dito, o risco hídrico ainda pode ser dividido em quatro categorias: (i) riscos físicos, (ii) riscos financeiros, (iii) riscos regulatórios e (iv) riscos relacionados à imagem do empreendimento e, desta forma, as organizações passam a considerar a gestão hídrica como uma questão chave de negócios e não simplesmente como uma questão de conformidade ou responsabilidade social corporativa (ORR *et al.*, 2011).

Neste sentido, ferramentas de avaliação do risco hídrico vêm sendo desenvolvidas com o intuito de identificar as vulnerabilidades associadas ao recurso água nos locais de instalação e operação de unidades industriais.

Mueller *et al.* (2015), na busca de ferramentas capazes de mapear o risco hídrico de empreendimentos do segmento automobilístico, levantaram os principais mecanismos disponíveis, conforme apresentado na **Tabela 4.1**.

Tabela 4.1: Ferramentas de avaliação de risco hídrico utilizadas por Mueller *et al.* (2015)

Ferramenta	Escala	Fonte de dados	Tipologia industrial	Dados de saída	Desenvolvedor
Global Water Tool (GWT)	Nacional Bacia hidrográfica	Food and Agriculture Organization (FAO) Aquastat; Organização Mundial de Saúde (OMS); UN Population Division (UNDESA); Instituto Internacional de gerenciamento de água e conservação.	Sem distinção entre indústrias	Inventário hídrico; Relatório de Indicadores; Mapa global de instalações.	World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)
India Water Toll (IWT)	Local	Distrito administrativo local Indiano	Sem distinção entre indústrias	Mapa com avaliação da disponibilidade hídrica subterrânea	World Resources Institute (WRI)
Aqueduct Water Risk Atlas Tool (Aqueduct)	Bacia hidrográfica	FAO Aquastat; Banco Mundial; Water Footprint Network (WFN)	09 (nove) setores industriais	Mapa global de instalações com uma combinação de 12 (doze) indicadores globais de risco de água	World Resources Institute (WRI)
Water Risk Filter (WRF)	Nacional	FAO Aquastat; WFN; NASA; Organização Mundial de Saúde (OMS)	35 (trinta e cinco) setores industriais	Mapa global de instalações; Riscos físicos, regulatórios e reputacionais.	World Wide Fund for Nature (WWF) and Deutsche (DEG)

As ferramentas elencadas foram aplicadas em 09 (nove) sites distribuídos entre Índia, China, México, Espanha, Estados Unidos e Brasil. A **Tabela 4.2** apresenta os resultados obtidos.

Tabela 4.2: Resultados obtidos por Mueller *et al.* (2015) com relação aos riscos físicos

Avaliação Riscos Físicos	Global Water Tool (GWT)	India Water Toll (IWT)	Aqueduct Water Risk (Aqueduct)	Water Risk Filter (WRF)
Lucknow - Índia				
Jamshedpur - Índia				
Pune - Índia				
Sanand - Índia				
Chennai - Índia				
Dearborn - EUA		Não aplicável		
Chihuahua - México		Não aplicável		
Chongqing - China		Não aplicável		
Taubaté - Brasil		Não aplicável		
Valencia - Espanha	Sem dados	Não aplicável		

Suficiente  Escasso

Observa-se que os resultados obtidos entre as ferramentas apresentaram grande variabilidade quando comparados entre si, demonstrando que as especificidades regionais que não são consideradas em ferramentas globais geram interferência na avaliação final.

Dentro deste contexto, para que uma ferramenta de avaliação do risco hídrico seja considerada robusta, deve-se considerar: (i) aspectos relacionados à vulnerabilidade hídrica regional e local; (ii) contabilização hídrica; (iii) atendimento a aspectos regulatórios; (iv) relacionamento com demais usuários e (v) nível de dependência operacional do empreendimento em relação aos recursos hídricos.

Adicionalmente, as ferramentas desenvolvidas devem apresentar base de equiparação para correlação com as demais ferramentas de gestão de risco utilizadas pelo empreendimento. Neste sentido, os próximos itens apresentam a revisão dos aspectos técnicos necessários à composição de uma ferramenta de avaliação de risco hídrico, para aplicação no segmento minero-metalúrgico no Brasil.

4.2.1 Aspectos relacionados à vulnerabilidade hídrica no Brasil

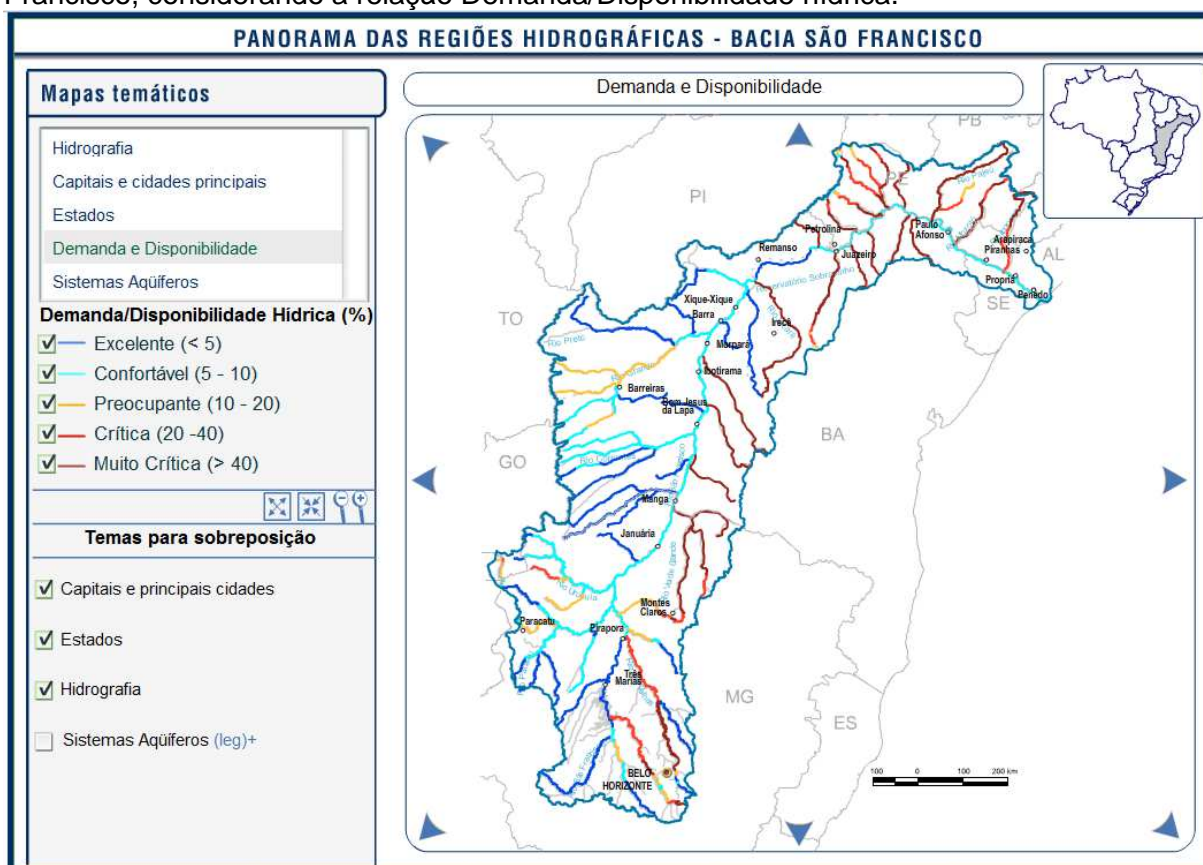
O Brasil possui, em termos gerais, uma grande oferta hídrica. Por outro lado, também possui uma diferença significativa entre suas regiões hidrográficas no que diz respeito à oferta e à demanda de água. Enquanto bacias localizadas em áreas com uma combinação de baixa disponibilidade e grande utilização dos recursos hídricos podem enfrentar situações de escassez e estresse hídrico, outras se encontram em situação confortável, com o recurso em abundância (ANA, 2014).

Neste contexto, ter conhecimento sobre a disponibilidade hídrica e nível de gestão desse recurso é essencial para se avaliar o risco hídrico destas áreas. Desta forma, as agências reguladoras e entidades privadas vêm buscando formas de mapear as áreas consideradas como vulneráveis para antecipar uma situação de crise hídrica. Neste sentido, a Agência Nacional de Águas (ANA) vem implementando estratégias de monitoramento com foco no refinamento do balanço hídrico das bacias e trechos críticos do país.

Um dos métodos utilizados para a classificação da situação da bacia hidrográfica se baseia na definição do Índice de Retirada de Água ou *Water Exploitation Index (WEI)* utilizado pela

European Environmental Agency, Nações Unidas e pela ANA no Brasil¹, que é igual ao quociente entre a retirada total anual e a vazão média de longo período (média das vazões anuais para toda a série de dados), estabelecendo a relação entre demanda e disponibilidade em termos percentuais. Este índice adota a seguinte classificação: i) Excelente (< 5%); ii) Confortável (5 a 10%); iii) Preocupante (10 a 20%); iv) Crítica (20 a 40%); v) Muito Crítica (> 40%). Este índice pode ser obtido tanto para a bacia hidrográfica quanto para a micro bacia. A **Figura 4.2** apresenta um exemplo dos resultados da classificação disponibilizada pela ANA(2016)².

Figura 4.2: Exemplo da classificação da situação da bacia hidrográfica do rio São Francisco, considerando a relação Demanda/Disponibilidade hídrica.



Fonte: ANA (2016).

A bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem

¹ <http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/estudos/sprtew/2/2-ANA.swf>
<http://www2.snirh.gov.br/atlasrh2013/>

² <http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/estudos/sprtew/2/2-ANA.swf>, acesso em 25/05/16.

até resultar em um leito único no exutório (TUCCI, 1997). Já a microbacia corresponde à área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia. A microbacia possui área inferior a 100 km².

Somado ao mapeamento da situação regional das bacias hidrográficas, o levantamento local das condições hidrológicas também é parte fundamental para a avaliação adequada do risco hídrico, associado à operação dos empreendimentos de forma individual, uma vez que o mapeamento regional disponibilizado pela ANA (2016) não apresenta características intrínsecas das microbacias.

Em âmbito internacional, para enfrentar situações de estresse hídrico, algumas experiências chamam a atenção, como a da Austrália, na bacia do rio Murray-Darling, e como a da cidade de Lubbock, no Texas, nos Estados Unidos. Essas duas experiências instituíram o sistema de gatilho para enfrentar a situação de estresse. Enquanto que na bacia do rio Murray-Darling foram estabelecidas duas fases de aplicação de gatilhos, em Lubbock foram quatro (ANA, 2015).

Gatilho da bacia do rio Murray-Darling na Austrália

As duas fases para disparar o gatilho do rio Murray-Darling são: i) para uma política de reserva; e ii) resposta para situação de emergência. A primeira refere-se a situações normais de indisponibilidade hídrica, em que são aplicados arranjos de alocação de água que podem resultar em redução do suprimento de água a alguns usos da água; a segunda refere-se a situações de emergência, e é aplicada em situações críticas sem precedentes, tanto em quantidade como em qualidade da água.

Os planos de recursos hídricos da Austrália se baseiam em três elementos inter-relacionados: i) Estabelecimento de uma faixa ótima de extração de água, incluindo uma meta volumétrica; ii) Probabilidade de se atingir a extração de água dentro da faixa ótima; e iii) Definição dos pontos a partir dos quais o gatilho deve ser acionado.

Assim, o regime de extração de água sustentável, precisa contemplar três elementos inter-relacionados conforme apresentado na **Figura 4.3** a faixa ótima de retirada de água, a probabilidade de atingimento dessa faixa ótima e os pontos de gatilho associados a níveis de risco aceitáveis.

Figura 4.3: Elementos essenciais para orientar o regime de extração de água sustentável.



(*) indica o nível de uso consuntivo acima do qual corre-se risco inaceitável comprometendo os resultados almejados pelo plano, exigindo intervenção de gestão.

Fonte: ANA (2015)

O acionamento do gatilho deve ser feito quando o nível de extração de água resulta em um risco inaceitável de comprometimento dos resultados esperados, considerando-se as dimensões: social-econômica, ambiental, e de restrições físicas do sistema

Gatilho da cidade de Lubbock – Texas Estados Unidos

Uma característica do plano de conservação de água de Lubbock é a previsão do atendimento da população nos próximos dez anos, por grupos de populações de 5.000 habitantes, considerando-se todas as variáveis que implicam em mau uso ou ineficiência no uso da água. Esse plano obrigatoriamente deve ser revisto e atualizado a cada cinco anos, reestabelecendo as metas para os cinco anos subsequentes e para os dez anos, incluindo o período de sua vigência.

Os quatro estágios ou sequência de gatilhos definidos para enfrentar os períodos de estresse em Lubbock são: i) Estágio 1 – escassez de água suave; ii) Estágio 2 – escassez de água moderada; iii) Estágio 3 – escassez de água severa; iv) Estágio 4 – escassez de água emergencial.

Essas fases foram estabelecidas de modo a conservar a disponibilidade do suprimento de água para proteger a integridade dos sistemas de oferta de água, com especial atenção para o uso

doméstico, saneamento, proteção contra incêndios, proteção e preservação da saúde pública, e bem estar.

No Brasil, embora as agências governamentais tenha trabalhado em definições de regulamentos que buscam o estabelecimento de planos de gestão das bacias hidrográficas (BRASIL, 2012) e em grupos de discussão estratégica para a gestão do recurso (ANA, 2015) ainda não existem políticas claras para a implementação de gatilhos, o que deixa tanto a população quanto os empreendimentos vulneráveis a decisões abruptas relacionadas ao abastecimento de água.

4.2.2 Contabilização hídrica como parte de ferramenta de avaliação do risco hídrico

O reporte dos aspectos relacionados à sustentabilidade é atualmente considerado como uma forma de resposta para as questões ambientais enfrentadas pelas organizações do segmento minero-metalúrgico (LODHIA & HESS, 2014). Atualmente, a *Global Reporting Initiative* (GRI) consiste na lista de indicadores de sustentabilidade, mais amplamente divulgada na indústria da mineração (FONSECA *et al.*, 2013).

Neste, contexto, as diretrizes GRI possuem quatro indicadores diretamente relacionados ao tema água, a saber: EN 8, total de retirada de água por fonte; EN 9, fontes hídricas significativamente afetadas por retirada de água (raramente reportado pelas companhias); EN 10, percentual e volume total de água reciclada e reutilizada e EN 22, descarte total de água, discriminado por qualidade e destinação (GRI, 2015).

Contudo, os dados publicados apresentam discrepâncias entre operações de mineração similares, uma vez que, embora as diretrizes do GRI padronizem os indicadores, a metodologia e critérios para a obtenção dos dados, fica a cargo do empreendedor. Neste sentido padronizar ferramentas de contabilidade hídrica se torna um mecanismo fundamental para balizar a comparação entre estes indicadores.

Estabelecer linhas de definições claras para separar água nova total retirada (captada) do meio ambiente, água nova total retirada e utilizada no processo, água total utilizada no processo e água reutilizada é essencial para a formulação da contabilidade hídrica de qualquer empreendimento (DANOUCARAS *et al.*, 2014).

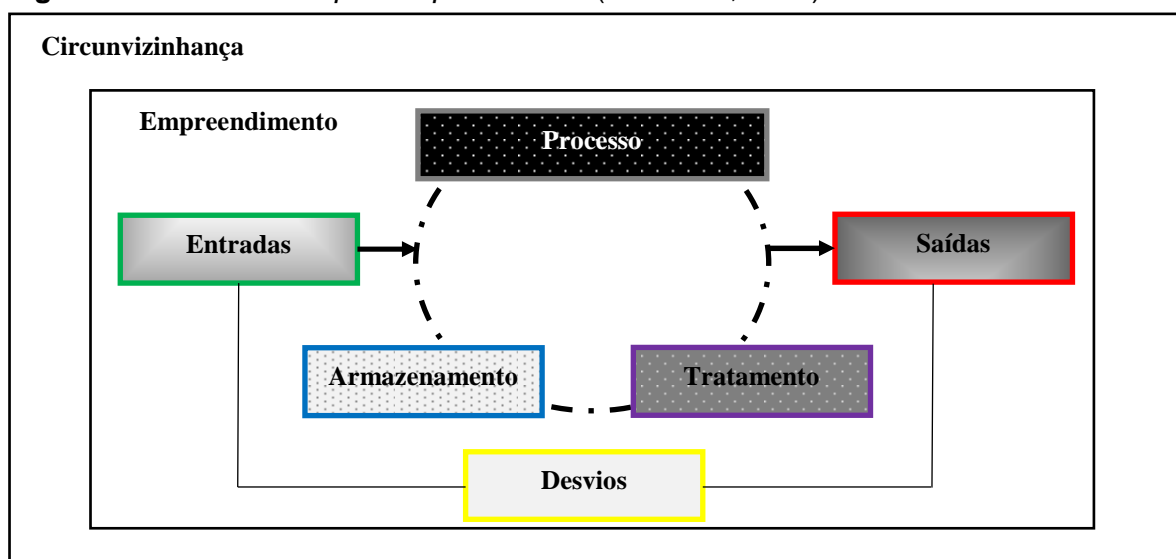
Dentro deste contexto, o uso da ferramenta de contabilidade hídrica, como a *Water Accounting Framework* – WAF, desenvolvida pelo Conselho de Mineração Australiano (MCA) em 2012, apresenta-se como metodologia adequada para a obtenção destes indicadores (WOODLEY *et al.*, 2013).

A implementação da WAF começou com a aplicação em 12 (doze) minas de carvão em Bowen Basin (MORAN *et al.*, 2006) e foi seguida por 9 (nove) minas adicionais em Hunter, ambas as regiões localizadas na Austrália (COTE & MORAN, 2009). E, desde então, vem sendo utilizada em inúmeras companhias (DANOUCARAS, *et al.*, 2013) e em minas de várias *commodities* ao redor do mundo, incluindo ouro, prata, ferro e cobre.

Ao longo dos anos, o MCA formulou adaptações e, em parceria com o Instituto de Mineração Sustentável da Universidade de Queensland, publicou o manual para uso da *Water Accounting Framework for the Minerals Industry* (SMI/MCA, 2014)³ e atualmente a WAF está conceitualmente desenhada com base em um modelo de entradas e saídas que representam as interações da água entre o *site* e o ambiente.

De acordo com Woodley (2013), a aplicação da WAF segue basicamente 3 (etapas): i) identificação da equipe responsável, ii) delimitação do escopo e circunvizinhança da contabilidade hídrica (fluxograma do processo); iii) definição e quantificação das entradas e saídas. A **Figura 4.4** apresenta o modelo de *Input-Output* da ferramenta.

Figura 4.4: Modelo de *Input-Output* da WAF (SMI/MCA, 2014)



³ http://www.minerals.org.au/leading_practice/water_accounting_framework_for_the_australian_minerals_industry

O perfil profissional ou equipe mais apropriada para aplicar a ferramenta de contabilidade hídrica em um empreendimento varia dentro do contexto operacional do *site*. Por exemplo, em uma mineração subterrânea, seriam profissionais da área de hidrogeologia, enquanto em um *site* com características de gerenciamento de água de superfície, a responsabilidade mais adequada seria dos profissionais da área ambiental e de processo. De posse destas informações, a aplicação do modelo consiste basicamente no preenchimento da planilha padrão, disponibilizada pelo *Mineral Council of Australia*.

A WAF, além de fornecer informações sobre a quantificação do volume de água das entradas (retirada de água) e saídas (descartes), gera informações sobre a qualidade dos dados medidos (assertividade da informação) e indicadores para o percentual de reutilização.

Embora a WAF padrão permita que o usuário faça a separação entre água reutilizada e recirculada, SMI/MCA (2014) e Tucci & Mendes (2006) sugerem adotar a unificação desta terminologia para reutilização, que corresponde à parcela de água que é utilizada em mais de uma etapa do processo produtivo dentro da mesma organização, independentemente de haver tratamento entre as mesmas (reuso + recirculação).

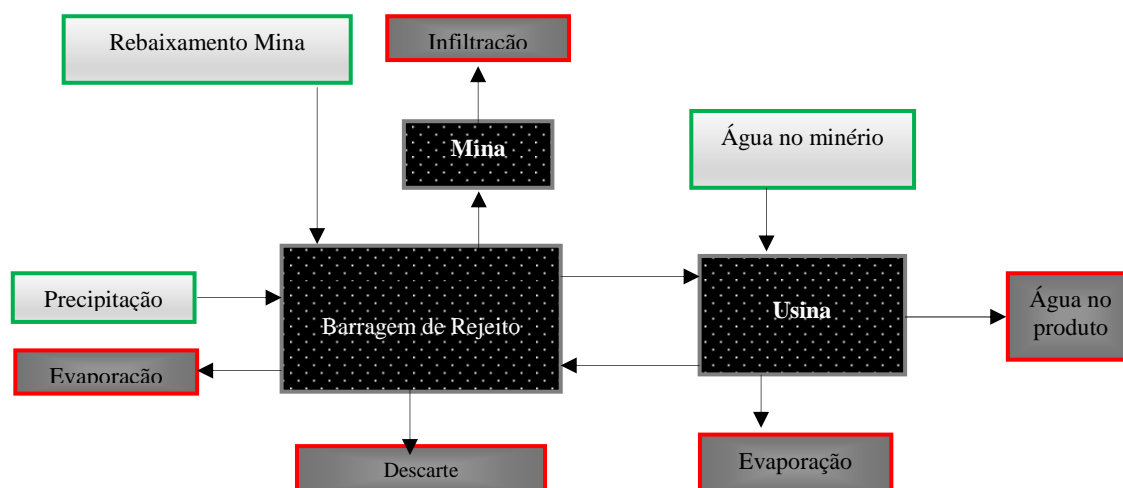
De acordo com o modelo da WAF, o percentual de reutilização é obtido de acordo com a Equação 4.1, sendo que a metodologia utiliza os dados consolidados anuais em base Megalitro (ML)⁴ por ano.

$$\text{Reutilização (\%)} = \frac{\sum \text{Água reutilizada nos processos}}{\sum \text{Todos dos fluxos usados nos processos}} \quad \text{Eq. 4.1}$$

A **Figura 4.5** apresenta um exemplo de como o fluxo operacional é representado na WAF. Dentro do fluxograma apresentado, o percentual de reutilização seria obtido pelo somatório de todos os fluxos de vão de processos a processo dividido pelo somatório de todos os fluxos que ingressam em processos.

⁴ 1ML = 10⁶ L.

Figura 4.5: Exemplo de fluxograma operacional simplificado representado na WAF



Legenda: **Entradas** – Rebaixamento Mina, Precipitação, Água no minério. **Saídas** – Infiltração, Evaporação, Descarte, Água no produto. **Processos** – Mina, Usina, Barragem de Rejeito.

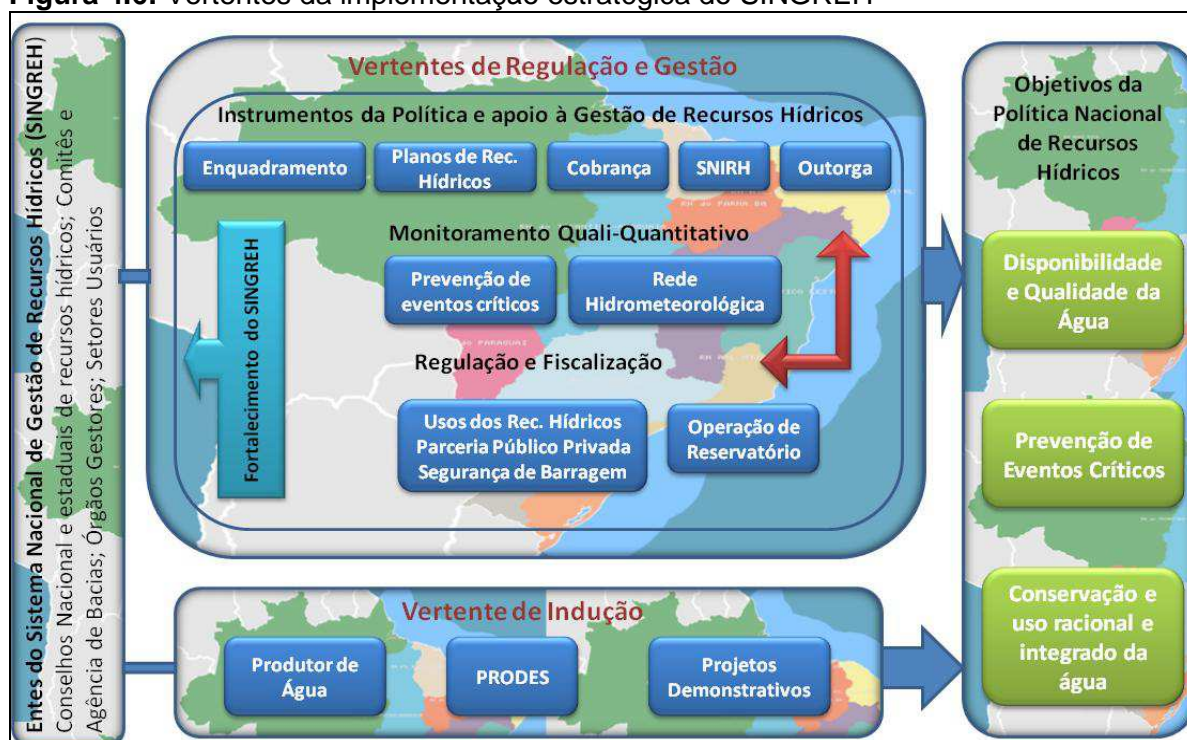
4.2.3 Aspectos regulatórios para uso e proteção dos recursos hídricos

A regulamentação sobre o uso e proteção dos recursos hídricos não é recente no país. A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) foi instituída pela Lei nº 9.533/97 (BRASIL, 1997), também conhecida como Lei das Águas, objeto institucional que criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH).

De acordo com a Lei das Águas, a Política Nacional de Recursos Hídricos deve se pautar nos seguintes fundamentos: i) a água é considerada um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, ii) a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar os usos múltiplos das águas, de forma descentralizada e participativa, contando com a participação do Poder Público, dos usuários e da comunidade, iii) em situações de escassez o uso prioritário da água é para consumo humano e para a dessedentação de animais, e, iv) a bacia hidrográfica é a unidade de atuação do SINGREH e de implementação da Política Nacional de recursos Hídricos.

Adicionalmente, a PNRH possui como instrumentos: i) o Plano de Recursos Hídricos; ii) mecanismo de enquadramento dos corpos d' água em classes, segundo os usos preponderantes da água; iii) outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; iv) cobrança pelo uso; e v) o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) (ANA, 2006). A **Figura 4.6** apresenta as vertentes da implementação estratégica do SINGREH.

Figura 4.6: Vertentes da implementação estratégica do SINGREH



Fonte: ANA (2011)

Neste sentido, regulamentos federais e estaduais são estabelecidos e devem ser cumpridos para assegurar o fornecimento de água em quantidade e qualidade necessárias para o abastecimento humano, animal, agrícola, industrial e para a conservação de ambientes naturais.

4.2.4 Uso da água e o relacionamento com partes interessadas

O uso global da água duplicou nos últimos cem anos. No ano 2000 cerca de 40% da população mundial vivia em áreas de escassez hídrica e estimava-se que mais da metade seria afetada até 2025 (REVENGA *et. al.*, 2000).

De acordo com o CEO *Water Mandate* (2014), adicionada a esta constatação, tem se observado a redução da disponibilidade de água de qualidade, sendo considerado que uma área com ampla disponibilidade hídrica, mas com água de má qualidade também está sujeita ao estresse hídrico, embora não haja escassez de água propriamente dita.

Dentro deste contexto e tendo-se em vista que o recurso hídrico é utilizado para o abastecimento municipal, agricultura, indústria, recreação e manutenção de ecossistemas, os aspectos relacionados à disponibilidade e estresse hídrico possuem interface direta com

diversas partes interessadas (MUELLER *et al.*, 2015).

Desta forma, cada vez mais se faz necessário reconhecer que as práticas de uso da água na indústria, incluindo o segmento minero-metalúrgico, tem impactos na comunidade e circunvizinhança que precisam ser geridos por uma estratégia robusta, que enderece os riscos hídricos e impactos ao longo da cadeia de valor. Neste contexto, o uso da água tem sido cada vez mais submetido à necessidade de aprovação da licença social para operar estes empreendimentos, sendo de fundamental importância a interface e o bom relacionamento com os demais usuários, comitês de bacia, organizações não governamentais (ONG) e com a comunidade de maneira geral.

4.2.5 Nível de dependência operacional dos empreendimentos minero-metalúrgicos em relação aos recursos hídricos

Outro aspecto importante para a avaliação do risco hídrico está refletido no grau de dependência dos empreendimentos minero-metalúrgicos do recurso hídrico. As atividades de mineração podem ser realizadas em *open pit* (céu aberto) e mineração *underground* (mina subterrânea), sendo estabelecidas características peculiares a cada uma destas operações no que tange ao uso e dependência dos recursos hídricos.

Importante ressaltar que a mineração tem características intrínsecas relacionadas à rigidez locacional, ou seja, sua localização não pode ser definida por caráter estratégico, como realizado em outras tipologias industriais, uma vez que está totalmente vinculada às jazidas e à disponibilidade mineral da área onde encontra-se o minério de interesse.

Desta forma, em função das especificidades de cada fase da produção mineral, os usos ou interferências na água mostram-se diversificados e exigem o emprego de métodos e tecnologias por vezes complexos para reduzir o nível de dependência dos recursos hídricos (ANA, 2006).

É na busca do aprimoramento das técnicas de lavra e das etapas do processo de produção que residem as possibilidades de otimização do uso e minimização das interferências nos recursos hídricos dos vários empreendimentos minerários. Nesse contexto, como exemplo, cada vez mais se estuda o reuso, a reciclagem e a recirculação de água como ações voltadas para sua sustentabilidade, uma vez que a escassez hídrica, local ou regional, a necessidade de se

cumprir os mandamentos legais da gestão de recursos hídricos e o custo de pagamento pelo uso da água influirão diretamente na produção minerária.

4.3 Plano de gestão hídrica

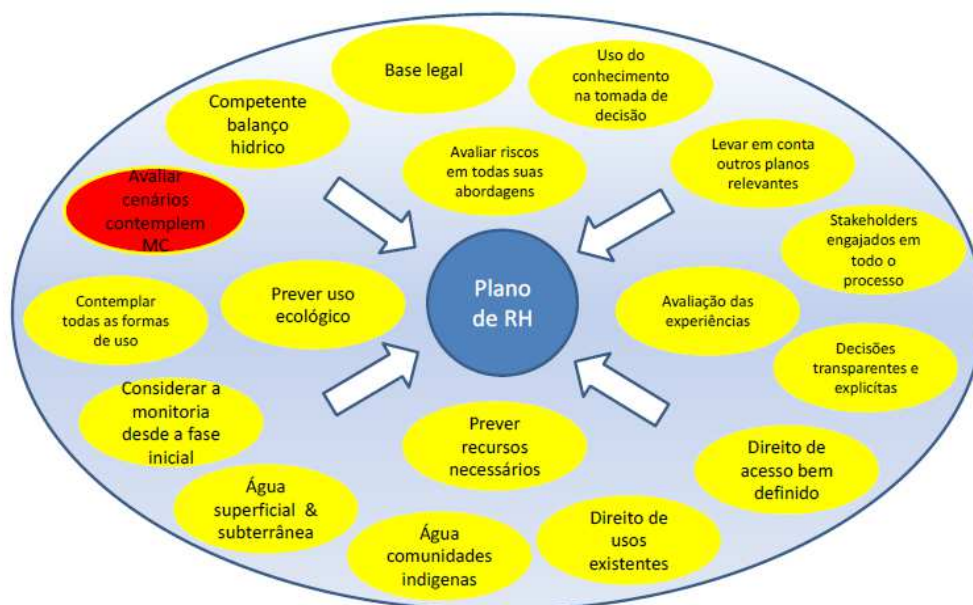
Os procedimentos para o gerenciamento do risco geralmente são materializados em documentos que incluem uma lista de ações a serem cumpridas para ampliar controles que minimizem a severidade e probabilidade associadas ao risco. Estes planos são ferramenta essenciais para a gestão do risco, incluindo os riscos de natureza hídrica e podem se materializar com o nome de plano de gestão hídrica.

Ao nível de bacia hidrográfica, no Brasil, esses planos são instrumentos de gestão de recursos hídricos de longo prazo, previstos na Lei nº 9.433, de 1997, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos, que visam fundamentar e orientar a implementação das Políticas Nacional, Estaduais e Distrital de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos no âmbito das respectivas bacias hidrográficas (BRASIL, 2012).

Trabalho realizado pela ANA (2015), avaliando experiências internacionais sobre mudanças climáticas e alocação de água, definiu em macro temas os aspectos que devem ser envolvidos na elaboração de um plano de gestão de recursos hídricos. De acordo com o trabalho os planos devem buscar resolver questões ligadas à alocação de água, gestão da demanda crescente, decréscimo e menos certeza de disponibilidade hídrica em algumas áreas devido às mudanças climáticas, podendo incluir abordagens econômicas. A **Figura 4.7** apresenta os aspectos relacionados e a complexidade de um plano de gestão de recursos hídricos.

Adicionalmente, de acordo com o trabalho o planejamento dos recursos hídricos deve utilizar uma abordagem baseada no risco e criar mecanismos para gerenciar a incerteza e adaptar-se a novos cenários, a partir de uma melhoria da informação e do conhecimento.

Figura 4.7: Complexidade de um plano de gestão de recursos hídricos



Fonte: ANA (2015)

Em nível corporativo e/ou em nível de empreendimento, esses planos devem estabelecer relação com o plano de gestão de recursos hídricos da bacia hidrográfica e traçar as diretrizes operacionais com foco na gestão preventiva de uso do recurso hídrico no negócio, devendo seguir as diretrizes do PDCA (*Plan, Do, Check and Act*) e envolver níveis de alerta gradativos em função da escala de risco hídrico existente, como forma de proporcionar respostas para prevenção, controle, mitigação e contingência dos riscos mapeados.

De acordo com as diretrizes do *Water Act* 2000 (QUEENSLAND GOVERNMENT, 2016) a elaboração de um plano de gestão hídrica deve se pautar nos seguintes requisitos: i) assegurar o uso eficiente do recurso, incentivando a recirculação de água, ii) prever a implementação de medidas de monitoramento (qualidade e quantidade) e de gerenciamento para redução da demanda de água, e iii) promover a conservação das fontes de abastecimento e mananciais que recebem o desaguamento de efluentes.

Dentro do plano de gestão devem também ser estabelecidas medidas de contingência. Um plano de contingência hídrica pode ser definido como um grupo de respostas de curto prazo para atuar nos eventos de restrição e racionamento, enquanto o trabalho de solução para as fontes de abastecimento não é solucionado (MORTAZAVI-NAEINI *et al.*, 2015).

A Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM, 2016) publicou um guia para

elaboração do plano de contingência para a crise hídrica⁵, definindo quatro níveis de alerta em função do cenário de restrição ou riscos, a saber:

- Nível Verde: O uso pleno dos recursos hídricos está assegurado, ou seja, a unidade produtiva não está sendo afetada.
- Nível Amarelo: As fontes hídricas que suprem a unidade industrial se encontram em uma condição que sinaliza que o uso dos recursos hídricos pode ser restringido.
- Nível Laranja: As fontes hídricas que suprem a unidade industrial se encontram em uma condição em que há restrições no uso dos recursos hídricos.
- Nível Vermelho: O volume de água das fontes hídricas é insuficiente para atender a unidade industrial instalada.

O guia nomeado como plano de contingência hídrica traz diretrizes gerais que avaliam cenários desde a prevenção do risco até a contingência da sua implementação e embora, elaborado para a indústria química, permite a adaptação para aplicação no segmento minero-metalúrgico.

A partir da revisão da literatura efetuada, o trabalho apresentará dois capítulos que abordarão, respectivamente, a “Adaptação da Metodologia de Contabilização Hídrica – Water Accounting Framework (WAF) – para aplicação no segmento Mínero-Metalúrgico no Brasil” e “Desenvolvimento da ferramenta de gestão para avaliação de Risco Hídrico (FARH) para aplicação no Segmento Mínero-Metalúrgico no Brasil”.

⁵ http://www.abiquim.org.br/pdf/guia_para_plano_de_contingencia_crise_hidrica.pdf

5 ADAPTAÇÃO DA METODOLOGIA DE CONTABILIZAÇÃO HÍDRICA – WATER ACCOUNTING FRAMEWORK (WAF) – PARA APLICAÇÃO NO SEGMENTO MÍNERO-METALÚRGICO NO BRASIL

5.1 Introdução

A crise hídrica associada à escassez e à falta de acesso à água potável é considerada pelo Fórum Econômico Mundial como o maior risco que deverá ser enfrentado pela humanidade na próxima década (WEF, 2015).

A escassez de água de qualidade tem sido considerada uma das maiores pressões globais do século 21 (CHALMERS *et al.*, 2012) e, dentro deste contexto, dar publicidade a dados de uso da água na mineração é fator fundamental para a garantia da licença social destas operações.

No entanto, a divulgação de dados sem a adequada padronização, que colocam operações similares em bases de comparação equivocadas, pode trazer danos irreparáveis à imagem de companhias que possuem práticas adequadas para a gestão dos recursos hídricos.

Atualmente, a *Global Reporting Initiative* (GRI) consiste na lista de indicadores de sustentabilidade mais amplamente divulgada na indústria da mineração (FONSECA *et al.*, 2013). Dentre as diretrizes GRI (GRI, 2015) para o relato de sustentabilidade, os indicadores EN 8 (total de retirada de água por fonte) e EN 10 (percentual e volume total de água reciclada e reutilizada) são os mais comumente reportados para o tema água no segmento minero-metalúrgico

Contudo, os dados publicados apresentam discrepâncias entre operações de mineração similares, uma vez que, embora, as diretrizes do GRI definam os indicadores, a metodologia e os critérios para a obtenção dos dados fica a cargo do empreendedor. O indicador EN 10, por exemplo, pode incluir a água de chuva como reutilização, sendo que esta fonte, na prática, representa uma fonte de água nova.

Outro aspecto importante em relação ao balanço hídrico e indicadores deste setor, refere-se ao manejo de água subterrânea para operações de mineração subterrânea (*underground*), que envolvem rebaixamento de nível e discussões associadas ao impacto na disponibilidade hídrica regional *versus* questões relacionadas ao uso da água contida em reservas geológicas.

Neste sentido é importante estabelecer definições claras para contabilizar a água nova total retirada (captada) do meio ambiente, água total utilizada no processo e água total reutilizada (DANOUCARAS *et al.*, 2014).

Para fazer frente ao desafio destas contabilizações, o Conselho Mineral da Austrália em parceria com a Universidade de Queensland (SMI/MCA, 2014) desenvolveu um método de balanço hídrico e de padronização para os dados utilizados em relatórios relacionados ao tema (DANOUCARAS *et al.*, 2014). Resultante desta iniciativa, foi desenvolvida a ferramenta “*Water Accounting Framework for Mineral Industry*” (apta à padronização de indicadores de uso da água na mineração).

Danoucaras *et al.* (2014) aplicou a WAF em quatro empreendimentos em três países diferentes (unidades de mineração de carvão mineral, ferro, cobre e platina localizados na Austrália, América do Sul e África) e demonstrou a robustez da sua utilização.

No entanto, mesmo sendo considerada robusta, a ferramenta possui uma conceituação de processo que diverge da concepção operacional das barragens de rejeito no Brasil. Onde estas estruturas possuem o papel de armazenar resíduos provenientes do processo minero-metalúrgico, realizando a segregação física deste material (sólido/líquido) de forma a proporcionar o retorno da água decantada para reutilização ou descarte após tratamento (VICK, 1983; DUARTE, 2008; ESPOSITO & DUARTE, 2010). Enquanto a WAF caracteriza estas estruturas como atividade operacional que utiliza e reutiliza água assim como outro processo produtivo (SMI/MCA, 2014).

De acordo com o conceito estabelecido pela WAF, os resultados obtidos em relação à contabilização do volume total de água usado e reutilizado nos processos é muito superior à realidade operacional do segmento.

Dentro deste contexto, o presente capítulo tem por objetivo apresentar uma proposta de adaptação da WAF para a aplicação no segmento minero-metalúrgico no país, com vistas à padronização de um método para o cálculo do percentual de reutilização e reporte dos indicadores do GRI relacionados ao tema água.

5.2 Metodologia

O trabalho foi desenvolvido por meio da comparação entre os resultados obtidos pela aplicação da WAF (SMI/MCA, 2014) e da adaptação da WAF proposta no trabalho em unidades operacionais do segmento mineiro-metalúrgico brasileiras .

Importante destacar que, para a adaptação proposta, a aplicação da WAF não foram realizadas alterações no *template* padrão (excel) disponibilizado pelo *Mineral Council of Australia*⁶ para o lançamento dos dados do balanço hídrico.

5.2.1 Identificação do fluxograma operacional avaliado pela *Water Accounting Framework* (WAF) e visão adaptada

A metodologia proposta pelo SMI/MCA (2014), considera como atividades operacionais os processos típicos que utilizam água: supressão de poeira, mineração subterrânea, beneficiamento, concentração, hidrometalurgia, utilidades e áreas de disposição de rejeito, dentre outros.

De acordo com as definições da WAF, as áreas de disposição de rejeito são consideradas processos operacionais que utilizam água, de forma a refletir que o seu papel é armazenar rejeitos e não água (DANOUCARAS *et al.*, 2014), definição que reflete a função/conceito de qualquer área utilizada para a disposição de resíduos provenientes de processos mineiro-metalúrgicos.

No entanto, é necessário ressaltar que o processo de disposição de rejeitos em barragens utilizado no Brasil prevê o encaminhamento de rejeitos com alto teor de umidade, na maioria dos casos com percentual de água superior a 80%. E nestes casos, as áreas de armazenamento (barragens), embora não devam ser consideradas como reservatórios de água, são projetadas para a segregação sólido/líquido dos rejeitos armazenados e não como unidade produtivas.

Neste sentido, uma vez que o modelo WAF contabiliza todos os fluxos que circulam para e/ou entre os processos (ou seja, todos os fluxos que vão de um processo a outro), tanto no cômputo da água total utilizada quanto no da água total reciclada/reutilizada, a água que é encaminhada para as áreas de disposição de rejeito é considerada como demanda de água para

⁶ http://www.minerals.org.au/leading_practice/water_accounting_framework_for_the_australian_minerals_industry

operar e como água reutilizada, tendo-se em vista que é deslocada de um processo produtivo (ex.: usina, beneficiamento, etc) para barragem de rejeito (considerada como processo produtivo).

Essa interpretação não possui sentido técnico, uma vez que a água que foi utilizada no processo não pode ser contabilizada como água reutilizada em uma barragem de rejeito, cuja finalidade não se equipara a um processo produtivo e se restringe ao papel de segregar o material sólido do líquido e possibilitar o retorno da água decantada para tratamento e/ou reuso. A água decantada, se retornada ao processo produtivo seria considerada água de reuso, do contrário, o circuito estaria somando caudais (volumes de água) em duplicidade.

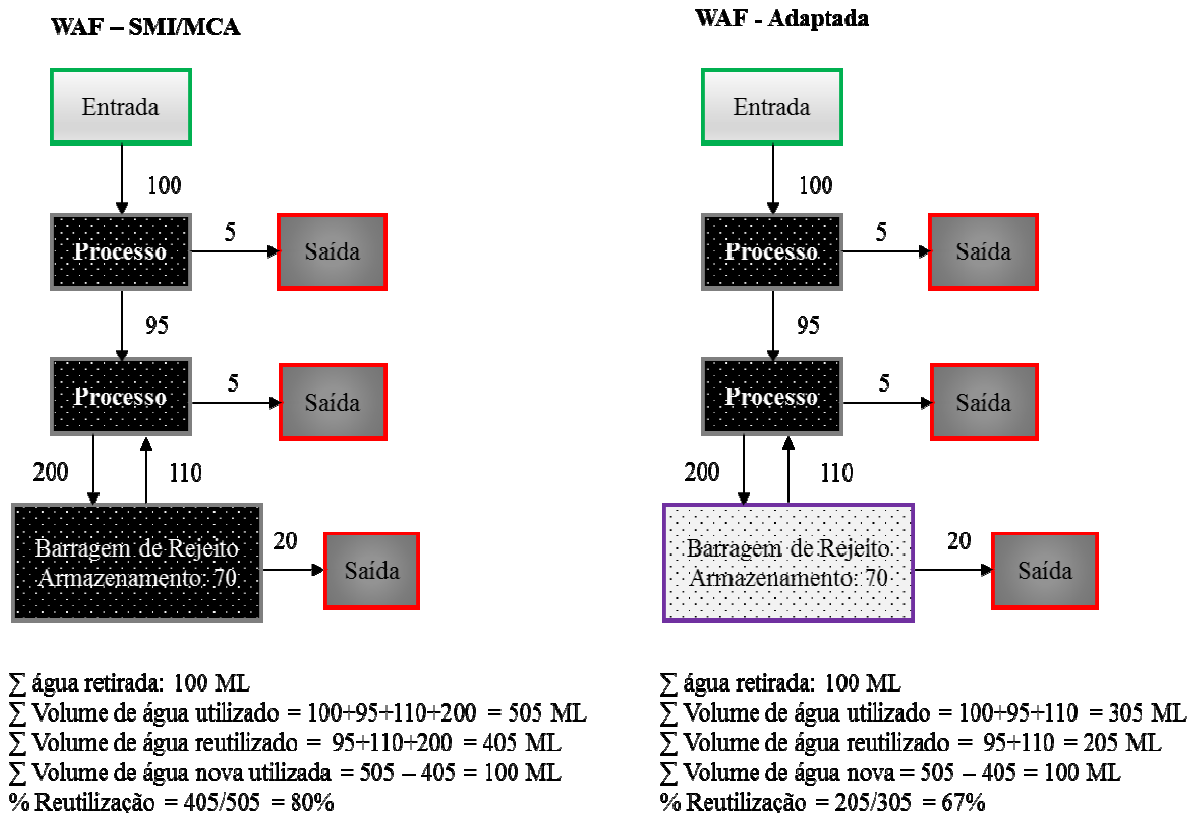
Desta forma, a proposta de adaptação da metodologia apresentada neste capítulo consistiu em considerar que as barragens de rejeito seriam definidas como áreas de segregação física sólido/líquido que também podem reservar água, ou seja, unidades com características mistas de sistema de tratamento de efluentes e armazenagem e não como processos produtivos.

Desta forma, estas estruturas ficam inseridas no balanço hídrico do empreendimento, mas os fluxos circulantes não são somados ao volume total de água utilizada no processo produtivo e ao volume total de água reutilizada no empreendimento. A **Figura 5.1** apresenta um exemplo hipotético de aplicação do modelo conceitual de balanço hídrico (WAF – padrão) e do modelo adaptado (WAF – Adaptado).

Nela, pode-se observar que a aplicação da versão adaptada resulta em volumes totais de água utilizada e reutilizada inferiores aos obtidos na versão padrão, mas que refletem o volume real de água circulante considerado como utilizado e reutilizado.

Destaca-se que o volume total de água necessário para os processos A e B não muda em ambos os casos, assim como a entrada de água nova é a mesma, uma vez que não foi considerado no exemplo a entrada de água de chuva ou *runoff* (escoamento superficial) na barragem. A única alteração consiste em considerar (WAF padrão) ou não (WAF adaptado) a barragem de rejeitos como uma atividade que requer água, similar ao processamento do minério, por exemplo.

Figura 5.1: Modelo conceitual da WAF (SMI/MCA) e WAF – Adaptada



Esta proposta de adaptação, conseqüentemente reduz o percentual de reutilização, tendo-se em vista que reduz o volume total de água reutilizada, refletindo de forma mais adequada a realidade das operações minero-metalúrgicas que possuem áreas de disposição de rejeito operando a úmido.

Note-se que a percentagem de reutilização em ambos os casos é uma fração calculada considerando o fluxo total de água necessário para os processos e não somente água nova. Além disso, cabe destacar que os volumes reutilizados correspondem à soma dos fluxos de reuso mais reciclagem.

5.2.2 Cálculo dos indicadores EN 8, EN 10 (GRI, 2015) e percentual de reutilização WAF (padrão e adaptada)

Para o presente trabalho o cálculo dos indicadores EN 8, EN 10 e percentual de reutilização seguiram as premissas descritas na **Tabela 5.1**.

Tabela 5.1: Sumário das premissas utilizadas para o cálculo dos indicadores relativos a contabilização de água nova e percentual de reutilização

Conceito	GRI		WAF	
	EN 8	EN 10	Padrão	Adaptada
Água nova	\sum do volume total de água retirada	Não Aplicável	\sum do volume total de água utilizada no processo	
Percentual de reutilização	Não aplicável	\sum do volume total de água reutilizada / \sum do volume total de água retirada (EN 8)	\sum do volume total de água reutilizada / \sum do volume total utilizada (água nova + água reutilizada)	

Nota: Água reutilizada - parcela de água que é utilizada em mais de uma etapa do processo produtivo dentro da mesma organização, independentemente de haver tratamento entre as mesmas (reuso + recirculação). A diferença do volume de água nova e percentual de reutilização a ser obtida pela WAF – padrão e WAF – adaptada consistem na adaptação conceitual da metodologia.

5.2.3 Aplicação da WAF - Adaptada

A ferramenta adaptada foi aplicada em 09 (nove) *sites* do segmento minero-metalúrgico, que incorporam minerações a céu aberto e mina subterrânea, plantas metalúrgicas e hidrometalúrgicas com processamento de diferentes metais (zinco, níquel e alumínio) em unidade localizadas nos estados de Minas Gerais, Goiás e São Paulo. A base de dados utilizada teve como referência o balanço hídrico anual relativo ao ano de 2015. A **Tabela 5.2** apresenta a descrição destes empreendimentos.

Tabela 5.2: Descrição dos empreendimentos (*sites*) onde a WAF – Adaptada foi aplicada

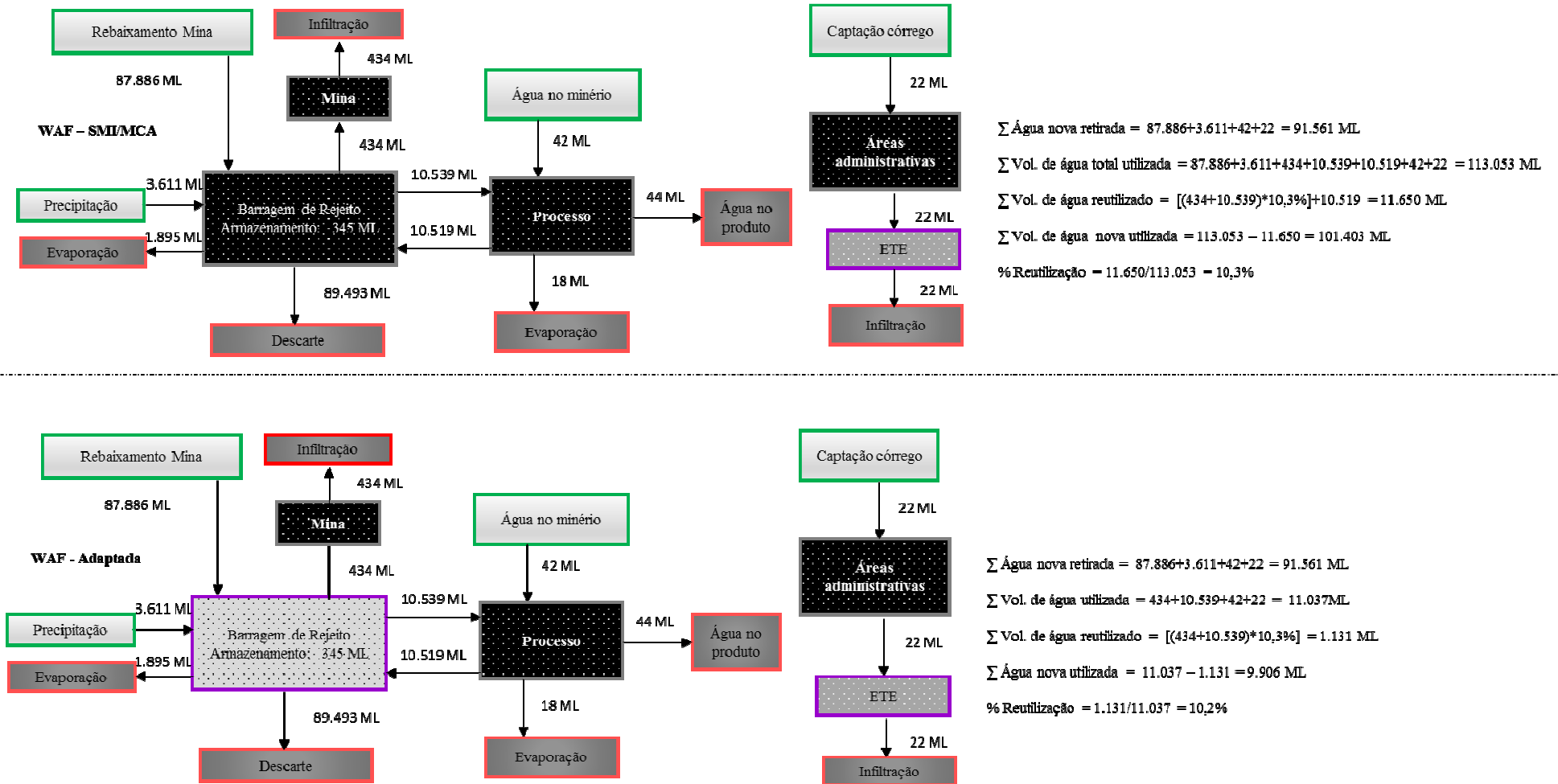
Nº do <i>site</i>	Produção (Kt)	Processo produtivo	Possui barragem de rejeito?	Estado
1	22,9	Mineração subterrânea – longo prazo	Sim	Minas Gerais
2	134,0	Mineração subterrânea – longo prazo	Sim	Minas Gerais
3	957,8	Mineração a céu aberto – curto prazo	Sim	Minas Gerais
4	630,5	Mineração a céu aberto – curto prazo	Não	Minas Gerais
5	18,5	Mineração a céu aberto – longo prazo	Sim	Goiás
6	363,8	Metalurgia	Sim	São Paulo
7	183,9	Hidrometalurgia	Sim	Minas Gerais
8	86,8	Hidrometalurgia	Sim	Minas Gerais
9	22,7	Metalurgia	Não	São Paulo

Nota: Dados de produção relativos ao ano de 2015. Unidades de medida - Produção das minerações de longo prazo (zinco e níquel) = Kt metal contido; Produção das minerações de curto prazo = Kt room beneficiado; produção da metalurgia e hidrometalurgia = Kt metal contido.

5.3 Resultados e discussões

A **Figura 5.2** apresenta o fluxograma de processo do *Site 2* como exemplo da aplicação das duas versões do método de contabilidade hídrica (WAF – padrão e WAF – Adaptada), enquanto a **Tabela 5.3** apresenta o sumário dos resultados obtidos para todos os *sites* envolvidos na aplicação da metodologia.

Figura 5.2: Fluxograma de processo do Site 2 com a aplicação da WAF e WAF – Adaptada



Nota: Os demais fluxogramas não foram apresentados para assegurar a confidencialidade dos dados de processo.

Tabela 5.3: Sumário dos resultados obtidos com a aplicação da WAF padrão e adaptada

Nº do site	WAF - Padrão					WAF - Adaptada				
	∑ Água nova retirada (ML)	∑ Água total utilizada (ML)	∑ Água nova utilizada (ML)	∑ Água total reutil. (ML)	% Reutil.	∑ Água nova retirada (ML)	∑ Água total utilizada (ML)	∑ Água nova utilizada (ML)	∑ Água total reutil. (ML)	% Reutil.
1	2.296	6.057	1.235	4.822	80%	2.296	2.885	769	2.116	73%
2	91.561	113.053	101.403	11.650	10%	91.561	11.037	9.906	1.131	10%
3	2.267	6.716	3.198	3.518	52%	2.267	2.478	1.314	1.164	47%
4	28	28	28	0	0%	28	28	28	0	0%
5	7.124	17.031	8.116	8.915	52%	7.124	9.456	5.502	3.954	42%
6	5.560	27.782	3.181	24.601	89%	5.560	27.592	4.896	22.696	82%
7	5.309	8.161	5.494	2.667	33%	5.309	4.881	3.699	1.182	24%
8	3.878	3.863	3.082	781	20%	3.878	2.969	2.706	263	9%
9	420	791	220	571	72%	420	791	220	571	72%

Nota: ∑ Água nova retirada (ML) = Somatório anual de água nova total retirada do ambiente, inclusive para rebaixamento de lençol. Inclui água superficial, subterrânea, pluvial e fornecida por concessionária local. ∑ Água Total Utilizada (ML) = Somatório anual de água total utilizada nos processos e atividades produtivas (água nova + água reutilizada); ∑ Água Nova Utilizada (ML) = Valor obtido por diferença entre o volume total de água utilizado e o volume total de água reutilizada nos processos e atividades; ∑ Água Total Reutilizada (ML) = Somatório anual de água reutilizada no processo.

A aplicação da versão adaptada respondeu de forma aderente à modificação da metodologia proposta. O cômputo dos volumes de água nova retirada não foi alterado, ou seja os valores a serem reportados no indicador EN 8 não sofreriam alteração, mas deveriam ser complementados com a informação do real volume de água retirado que é utilizado pelo empreendimento. No caso específico do Site 2, do volume total de água nova utilizado (9.906 ML) obtido com a WAF (adaptada), o que corresponde a 10,8% do volume total retirado (91.561 ML), sendo considerado que o volume remanescente é devolvido ao meio ambiente sem uso.

O volume de água total utilizada, água reutilizada e, conseqüentemente, água nova utilizada nas unidades operacionais foi inferior ao obtido pela WAF (padrão) nas unidades que possuem barragens de disposição de rejeito, refletindo a correção do impacto que o somatório redundante destes quantitativos gera, quando as barragens de rejeitos são consideradas como processo.

A aplicação da WAF por Danoucaras *et al.* (2014) em unidades de mineração de carvão mineral, ferro, cobre e platina localizados na Austrália, América do Sul e África encontrou percentuais de reutilização de 35%, 0%, 64% e 68%, respectivamente. O volume total de água utilizado no processo variou de 5.579 ML na mina de cobre a 29.715 ML na de platina, sendo

considerados aderentes aos observados na aplicação da metodologia padrão no Brasil.

Importante destacar que a proposta de adaptação da metodologia não altera a definição do cálculo do percentual de reutilização adotado pela WAF (padrão). Esse quantitativo permanece sendo calculado com base no volume total de água utilizada no processo (água nova utilizada + água reutilizada), o que diverge da padronização do GRI para o EN 10, onde o percentual de reutilização é calculado com base no volume de água nova retirada. A **Tabela 5.4** apresenta a comparação dos cálculos do percentual de reutilização obtidos com base na WAF (adaptada) e EN 10 (GRI, 2015).

Tabela 5.4: Percentual de reutilização obtido com base nas diretrizes da WAF-Adaptada e do EN 10 (GRI, 2015)

Nº do site	Percentual de reutilização	
	WAF - Adaptada	GRI – EN 10
1	73%	92%
2	10%	1%
3	47%	51%
4	0%	0%
5	42%	56%
6	82%	408%
7	24%	22%
8	9%	7%
9	72%	136%

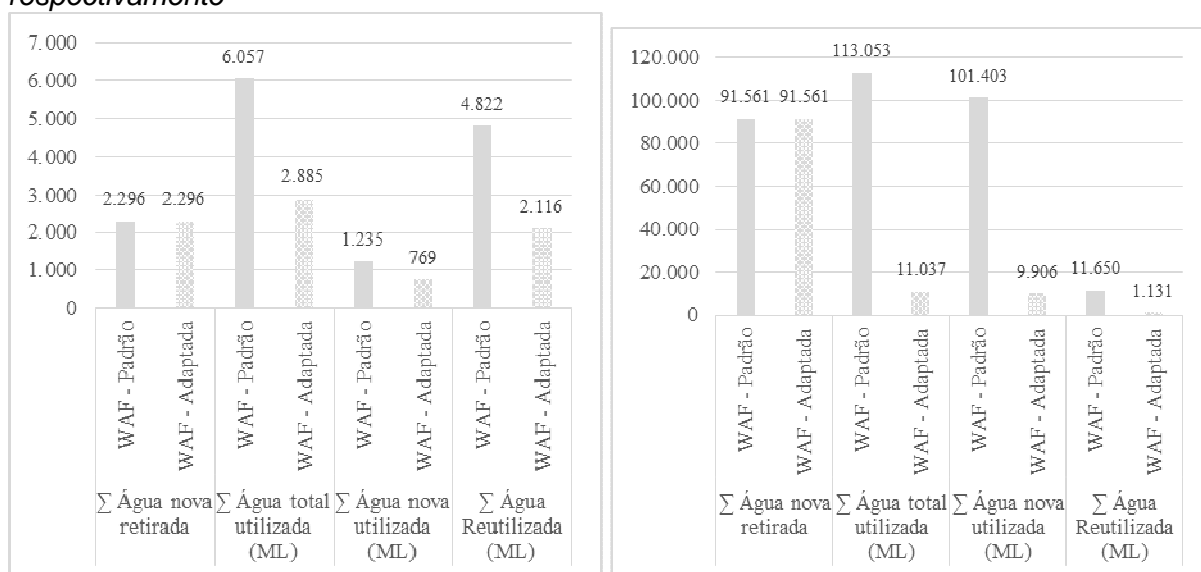
Cabe observar que o cômputo do percentual de reutilização calculado de acordo com as diretrizes do GRI (2015), levando-se em consideração o volume de água reutilizada sobre o volume de água nova retirada, culmina em percentuais superiores a 100% em alguns *sites*. No exemplo do *site* 6, o percentual de reutilização chega a 408% na metodologia padrão. Esta situação ocorre quando existem elevadas taxas de reutilização intra e inter processos, fazendo com que os volumes totais dos fluxos reutilizados sejam muito superiores aos fluxos de entrada de água nova.

Adicionalmente, realizar o cômputo com base no volume total de água nova retirada e não no volume total de água utilizada reflete um percentual de reutilização que não corresponde à fração real em relação às demandas da operação. Ou seja, em unidades onde existe a retirada

de água sem uso (desvio), a exemplo do bombeamento para fins de rebaixamento, o percentual de água reutilizada não irá corresponder ao desempenho operacional da unidade.

Desta forma, entende-se que o cálculo da percentagem de reutilização usando a metodologia WAF adaptada é mais coerente e justificável para reportar o indicador de reutilização adotado pelo GRI (EN 10). A **Figura 5.3** apresenta o gráfico dos resultados obtidos nos *Sites 1 e 2* com a aplicação das duas versões da metodologia.

Figura 5.3: Gráfico da aplicação da WAF – Padrão e WAF – Adaptada nos *Sites 1 e 2*, respectivamente



Ambos os *sites* são representados por unidades de mineração subterrânea, onde ocorre bombeamento de água subterrânea para fins de rebaixamento do lençol. Nestas situações é correto afirmar que a água bombeada deve ser contabilizada como água retirada. Entretanto, nem todo o volume removido pelo rebaixamento é utilizado nos processos. A metodologia define que águas manejadas, como o rebaixamento de lençol para o processo de mineração, sejam contabilizadas e classificadas como “desvios”, desde que não tenham sido utilizadas em algum processo ou atividade. Somente são contabilizados como demanda de água os fluxos que efetivamente são empregados nos processos e atividades.

O *Site 1* não utiliza as barragens de rejeito para fins de decantação de água da mina, já que possui circuitos independentes para o bombeamento de água limpa e água “processada”. Esse circuito opera com um bombeamento que devolve a água limpa diretamente para corpos hídricos da região e outro que bombeia a água “processada” que teve contato com as frentes

de lavra subterrânea é encaminhada para uma estação de tratamento. Nesta unidade, o bombeamento com fins de rebaixamento não representa impacto na contabilidade, mas como a Unidade possui três barragens de rejeito interligadas ao processo produtivo, o volume total de água utilizada e reutilizada calculado pela metodologia padrão culmina em um montante 50% superior à condição real. Com a aplicação da metodologia adaptada, que considera estas unidades como sistemas de tratamento e descaracteriza as barragens de rejeito como um processo produtivo que demanda água, o percentual de reutilização é 73%. Este percentual, por sua vez, calculado segundo a metodologia padrão é de 80%. Esse mesmo comportamento dos percentuais de reutilização é observado nos *sites* 5, 6, 7 e 8.

O *Site* 2 utiliza a barragem de rejeitos da unidade para fins de decantação da água de bombeamento antes do seu retorno ao meio ambiente e desta forma, pelo modelo padrão, o volume total bombeado é considerado como água nova utilizada no processo (barragem de rejeito). Esta contabilização é inadequada tendo-se em conta que esta unidade atua principalmente como tanque de sedimentação e 90% da água bombeada é devolvida aos corpos hídricos da região, sem uso efetivo. Ou seja, embora deva ser contabilizada como água nova retirada, não deveria ser contabilizada necessariamente como uso de água nova no processo produtivo. Destaca-se também que, embora o montante de água nova seja distinto nos dois casos (WAF padrão e adaptado), o percentual de reutilização neste *site* não sofre interferência, permanecendo em torno de 10% para ambos os métodos. Já os quantitativos do volume de água nova efetivamente utilizada e o volume de água reutilizada calculados segundo a metodologia adaptada são mais aderentes às condições operacionais da Unidade em questão.

Desta forma, entende-se que a versão adaptada é mais coerente com as demandas efetivas de água nova nos processos, bem como na quantificação dos fluxos de água reutilizada no processo produtivo. A afirmação é reforçada pelo exemplo de aplicação da ferramenta adaptada nas unidades que não possuem áreas de disposição de rejeito (*Sites* 4 e 9), cujo modelo adaptado não culminou em alteração na sua aplicação, ou seja, os somatórios de água total utilizada, água nova e reutilizada permanecem inalterados.

Outro ponto importante a ser considerado, tanto na versão padrão quanto na versão adaptada da ferramenta, é que os volumes de água pluvial captada e utilizada pelo empreendimento são contabilizados como água nova, diferente de grande parte dos modelos operacionais utilizados

para representação do balanço hídrico. Caso específico do *Site 3*, uma unidade de beneficiamento de bauxita, onde toda a água nova utilizada no processo é a água de chuva que precipita diretamente sobre a barragem de rejeito e que é enviada conjuntamente com a água recirculada para reuso no processo produtivo.

Em outros modelos operacionais, essa água poderia ser contabilizada como água nova, indicando percentuais de reutilização muito superiores, o que corrobora a visão de Mudd (2008), de que os indicadores de sustentabilidade reportados com relação ao tema água, devem ser avaliados com bastante cautela, tendo-se em vista que a falta de padronização metodológica culmina em dados bastante divergentes dentro do mesmo segmento.

5.4 Conclusões

A proposta de adaptação da metodologia WAF indicou que a modificação conceitual é apropriada para a elaboração do balanço hídrico e padronização do cálculo para obtenção dos dados de indicadores de sustentabilidade do GRI relacionados ao tema água.

Os resultados obtidos com a WAF (adaptada) culminaram em dados que representam, de forma adequada, a realidade operacional das unidades do segmento minero-metalúrgico no Brasil.

Para o reporte do indicador de sustentabilidade EN 10, o mais adequado seria utilizar a definição da metodologia WAF (adaptada) para a obtenção do percentual de reutilização levando em consideração o volume de água reutilizada sobre o volume total de água utilizada pelo processo.

No que tange ao EN 8, o reporte deve apresentar o indicador que reflete a água total retirada, mas sempre inserir a prerrogativa e informação do volume total de água nova retirada que é efetivamente utilizado pelo empreendimento. Essa informação traz a apresentação do volume real de água retirada que é utilizada pelo empreendimento em atividades operacionais que podem depreciar sua qualidade *versus* o volume de água que é retirado e devolvido ao ambiente sem utilização efetiva, a exemplo do bombeamento com fins de rebaixamento de mina.

Adicionalmente, como o *template* do modelo operacional da WAF possui acesso público, sem

custo via internet⁷, a ferramenta pode ser padronizada para uso por instituições governamentais e universidades que objetivem a divulgação de dados padronizados no país. Isto poderá assegurar o nível de comparação entre empreendimentos.

⁷ http://www.minerals.org.au/leading_practice/water_accounting_framework_for_the_australian_minerals_industry

6 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE GESTÃO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO HÍDRICO (FARH) PARA APLICAÇÃO NO SEGMENTO MÍNERO-METALÚRGICO NO BRASIL

6.1 Introdução

Nos últimos anos, como as organizações passaram a sofrer pressões cada vez maiores para redução de incertezas, a necessidade de gerenciar riscos, incluindo-se os de natureza ambiental, passou a ser reconhecida como um elemento essencial para a boa prática da governança corporativa (IBGC, 2007).

A disponibilidade hídrica permanente não é mais clara e como as cadeias de valor vem se expandindo globalmente, a avaliação do risco hídrico está se tornando um novo desafio de negócio, mesmo em locais com histórico de abundância (MUELLER *et al.*, 2015).

Embora a governança da água no setor industrial tenha evoluído muito nos últimos anos, motivado principalmente pela busca da redução de custos, garantia da licença social para operar e para prevenir os riscos associados ao suprimento de água (CEBDS, 2015), a gestão dos riscos hídricos ainda é um desafio.

Os eventos climáticos extremos, os problemas de escassez e o nível de maturidade das instituições envolvidas, fazem com que a gestão do risco hídrico ainda seja um processo complexo, adaptativo e oneroso. Neste sentido, as ferramentas de gerenciamento de risco ambiental, incluindo as de gestão de riscos hídricos, têm se constituído em instrumentos cada vez mais essenciais para a caracterização, redução e mitigação dos potenciais riscos associadas às operações industriais.

É importante destacar que, embora existam instrumentos referenciados para a avaliação de risco hídrico (WBCSD *Global Water Tool* – GWT, WRI *Aqueduct Toll*, WWF/DEG *Water Risk Filter* -WWF), as ferramentas disponíveis fornecem subsídios apenas para avaliações iniciais, que precisarão ser aprofundadas para a elaboração de planos de ação de curto, médio e longo prazo. Para que seja possível identificar os riscos é preciso conhecimento das condições locais, mas a base de dados disponível nestas ferramentas não permite esta avaliação, quer seja pela defasagem de dados, quer seja pela ausência de dados na escala requerida para esta análise (CEBDS, 2015; MUELLER *et al.*, 2015).

Dentro deste contexto, quando há a necessidade de detalhamento de fatores em um segmento específico, a exemplo do mineiro-metalúrgico, as ferramentas disponíveis ficam ainda mais superficiais, pois não permitem a inserção de peculiaridades destas operações.

A mineração é provavelmente, dentre as principais usuárias de água no Brasil, a que apresenta maiores peculiaridades, abrangendo desde empreendimentos complexos, com requerimento de áreas para o armazenamento de rejeitos e/ou com demanda para o desaguamento de mina, a empreendimentos com pequeno grau de processamento primário, como concentração, separação ou lavagem de minério (ANA, 2006).

Desta forma o presente capítulo tem por objetivo apresentar o desenvolvimento de uma Ferramenta de Gestão para Avaliação de Risco Hídrico (FARH) para aplicação em unidades do segmento mineiro-metalúrgico no Brasil.

6.2 Metodologia

6.2.1 Formatação estrutural

A formatação estrutural da FARH foi realizada com base nas definições da ABNT NBR ISO 31.000 (ABNT, 2009), que estabelece os critérios para a avaliação de riscos.

Tomando por base os critérios técnicos elencados pela ABNT NBR ISO 31.010 (ABNT, 2012), a ferramenta foi estruturada em: i) Critérios para a identificação de riscos (Entrada de dados), ii) Critérios para a análise de riscos (Processamento) e iii) Critérios para a avaliação de risco (Saída de dados). A **Figura 6.1** apresenta o fluxograma de operacionalização e a **Tabela 6.1** os objetivos e ações de cada etapa.

Figura 6.1: Fluxograma de operacionalização da FARH



Tabela 6.1: Objetivos e Ações da Entrada, Processamento e Saída de Dados

OBJETIVOS	AÇÕES
<i>ENTRADA DE DADOS – IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS</i>	
Caracterização da situação da bacia hidrográfica em relação ao grau de estresse hídrico	Preenchimento do questionário desenvolvido para este mapeamento descrito no item 6.2.3
Caracterização do <i>status</i> de gestão hídrica do empreendimento	Preenchimento do questionário desenvolvido para este mapeamento descrito no item 6.2.4
Definição do nível de dependência do empreendimento em relação ao recurso hídrico	Preenchimento do questionário desenvolvido para este mapeamento descrito no item 6.2.5
<i>PROCESSAMENTO – ANÁLISE DE RISCOS</i>	
Classificação da situação da bacia hidrográfica em relação ao grau de estresse hídrico	
Classificação do <i>status</i> de gestão hídrica do empreendimento	Processamento dos dados da etapa anterior realizado de acordo com os critérios de pontuação estabelecidos
Classificação do grau de dependência do empreendimento em relação ao recurso hídrico	
<i>SAÍDA DE DADOS – AVALIAÇÃO DE RISCOS</i>	
Definição da Escala de Riscos	<i>Dashboard</i> (Matriz de Riscos)

A fundamentação para o desenvolvimento da FARH foi realizada tomando por base os preceitos de metodologia semi-quantitativa (ABNT, 2012), que teve como objetivo final a consolidação dos resultados em uma matriz de riscos (*dashboard*) baseada em 3 (três) eixos, a saber:

- Eixo Y, que representa a situação da bacia hidrográfica em relação ao grau de estresse hídrico e cujos critérios técnicos estão descritos no item 6.2.3. Este eixo, em uma correlação com matriz de riscos corporativa, corresponde ao eixo da severidade.
- Eixo X, que representa o *status* de gestão hídrica do empreendimento e cujos critérios técnicos estão descritos no item 6.2.4. Este eixo, em uma correlação com matriz de riscos corporativa, corresponde ao eixo da probabilidade.
- Eixo Z, que representa o grau de dependência do empreendimento em relação ao recurso hídrico e cujos critérios técnicos estão descritos no item 6.2.5. Esse eixo não tem correlação com uma matriz de riscos corporativa convencional, tendo-se em vista que em via regra, essas matrizes são pautadas em apenas 2 (dois) eixos, severidade *versus* probabilidade.

Os próximos itens descrevem as premissas, critérios e conceitos adotados para a formulação da FARH.

6.2.2 Elaboração dos questionários e base (racional) de cálculo associada

Os 3 (três) eixos da FARH foram desenvolvidos com base em questionários e em base de cálculo associada, conforme metodologia descrita nos próximos tópicos:

- A elaboração de questionários foi realizada com base em perguntas pré-determinadas, com opções de resposta fechadas em múltipla escolha, desenvolvidas para cada eixo. A elaboração consistiu-se de algumas etapas, como recomendado por Aaker *et al.* (2001): (i) planejamento do que se desejava mensurar; (ii) formulação das perguntas para obter as informações necessárias; (iii) definição do texto e da ordem das perguntas, além do aspecto visual do questionário e; (iv) teste do questionário, utilizando uma pequena amostra, para verificação de omissões e ambiguidades. Para tais definições e consenso dos critérios adotados foi efetuado um *brainstorming* informal (ABNT, 2012) aplicado com apoio de equipe multidisciplinar composta por especialistas do segmento minero-metalúrgico (área ambiental, tecnologia e jurídica) e membros da academia. A própria experiência do pesquisador foi de grande relevância para a execução de todas as etapas.
- O racional de cálculo associado a cada eixo foi formulado com base em escala de critérios e pontuações desenvolvidas na pesquisa com apoio da equipe multidisciplinar listada anteriormente e com base na correlação com os critérios de severidade *versus* probabilidade aplicados em método de avaliação de risco como o *Failure Mode and Effects Analysis* - FMEA (GARGAMA & CHATURVEDI, 2011). A escala foi estabelecida levando em consideração a segregação dos Eixos Y e X em 5 (cinco) faixas, com pontuação variando de 1 a 5, onde 1 (um) corresponde a menor pontuação da severidade e probabilidade e 5 (cinco) a maior.
- O estabelecimento de pesos foi realizado por meio da atribuição direta (*Direct Rating*), onde pesos maiores ou menores foram atribuídos de acordo com a importância de cada critério (GOMES & GOMES, 2012), cuja avaliação foi realizada pela equipe multidisciplinar envolvida na etapa de *brainstorming* informal. A escala de pesos foi dividida em escala de 3 pontos, sendo: i) Peso 1, adotado para os critério de menor importância; ii) Peso 2, para os critérios de moderada importância; e iii) Peso 3, para os

critérios de maior importância.

Após o desenvolvimento dos questionários e do racional de cálculo associado, o material foi aplicado e testado pela equipe multidisciplinar em diferentes rodadas, seguindo o padrão metodológico da lista de verificação (ABNT, 2012) para avaliação da aderência e necessidade de revisão.

Com a consolidação dos questionários, da base de cálculo associada e após o consenso das discussões entre os especialistas, os critérios e conceitos técnicos adotados para a composição dos Eixos Y, X e Z foram definidos de acordo com o apresentado nos próximos itens.

6.2.3 Situação da bacia hidrográfica em relação ao grau de estresse hídrico – Eixo Y

A definição dos critérios que integraram a avaliação do Eixo Y (situação da bacia hidrográfica) da FARH foi realizada com base na avaliação do Índice de Retirada de Água ou *Water Exploitation Index* (WEI) utilizado pela *European Environmental Agency*, Nações Unidas e pela Agência Nacional de Águas (ANA) no Brasil (ANA, 2011)⁸.

O WEI é obtido pelo cálculo do quociente entre a retirada total anual e a vazão média de longo período (média das vazões anuais para toda a série de dados), estabelecendo a relação entre demanda e disponibilidade em termos percentuais (%). Este índice pode ser obtido para a bacia hidrográfica e para a microbacia, com base na seguinte classificação:

- Excelente (< 5%), correlação com a escala de severidade “Muito Baixa”;
- Confortável (5 a 10%), correlação com a escala de severidade “Baixa”;
- Preocupante (10 a 20%), correlação com a escala de severidade “Moderada”;
- Crítica (20 a 40%), correlação com a escala de severidade “Crítica”;
- Muito Crítica (> 40%), correlação com a escala de severidade “Muito Crítica”.

Para a presente pesquisa, a bacia hidrográfica foi definida como uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no exutório. Já a microbacia

⁸ <http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/estudos/sprte/w/2/2-ANA.swf>
<http://www2.snirh.gov.br/atlasrh2013/>

corresponde à área com drenagem direta ao curso principal.

A **Tabela 6.2** apresenta o questionário desenvolvido no âmbito desta pesquisa para o Eixo Y e a escala de pontos associada, que foi desenvolvida com base nos critérios utilizados pela ANA (2011).

Tabela 6.2: Questionário para caracterização da situação da bacia hidrográfica em relação ao grau de estresse hídrico (Eixo Y)

Perguntas	Opções de resposta	Pontuação	Peso
1 - Qual a classificação do Índice de Retirada de Água da bacia hidrográfica onde o empreendimento está localizado - condição atual?	<input type="checkbox"/> Excelente <input type="checkbox"/> Confortável <input type="checkbox"/> Preocupante <input type="checkbox"/> Crítica <input type="checkbox"/> Muito crítica <input type="checkbox"/> Desconhecido	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Três (3) <input type="checkbox"/> Quatro (4) <input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Três (5)	2
2 - Qual a classificação do Índice de Retirada de Água da bacia hidrográfica onde o empreendimento está localizado - condição futura (simulação para os próximos 5 anos)?	<input type="checkbox"/> Excelente <input type="checkbox"/> Confortável <input type="checkbox"/> Preocupante <input type="checkbox"/> Crítica <input type="checkbox"/> Muito crítica <input type="checkbox"/> Desconhecido	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Três (3) <input type="checkbox"/> Quatro (4) <input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Três (3)	1
3 - Qual a classificação do Índice de Retirada de Água da microbacia onde o empreendimento está localizado – condição atual?	<input type="checkbox"/> Excelente <input type="checkbox"/> Confortável <input type="checkbox"/> Preocupante <input type="checkbox"/> Crítica <input type="checkbox"/> Muito crítica <input type="checkbox"/> Desconhecido	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Três (3) <input type="checkbox"/> Quatro (4) <input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Três (3)	3
4 - Qual a classificação do Índice de Retirada de Água da microbacia onde o empreendimento está localizado – condição futura (simulação para os próximos 5 anos)?	<input type="checkbox"/> Excelente <input type="checkbox"/> Confortável <input type="checkbox"/> Preocupante <input type="checkbox"/> Crítica <input type="checkbox"/> Muito crítica <input type="checkbox"/> Desconhecido	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Três (3) <input type="checkbox"/> Quatro (4) <input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Três (3)	1
Nota máxima			35

Nota: O Índice de Retirada de Água deve ser calculado de acordo com o *Water Explotation Index* (WEI), que poderá ser obtido no site a Agência Nacional de Águas (ANA) ou em estudo hidrológico elaborado pelo empreendimento.

O algoritmo da pontuação final no Eixo Y foi obtido pelo somatório das pontuações obtidas nas perguntas de 1 a 4 considerando os pesos associados, ponderada pelo somatório das notas máximas possíveis em cada pergunta multiplicadas pelos pesos associados (nota máxima = 35 pontos) convertidos a escala máxima de 5 pontos, ou seja:

$$\text{Nota Final Eixo Y} = [(\sum \text{Notas máximas 1-4} * \text{pesos associados}) * 5] / 35 \quad \text{Equação 6.1}$$

6.2.4 Status da gestão hídrica do empreendimento – Eixo X

A definição dos critérios técnicos que integraram a avaliação do Eixo X (*status* da gestão

hídrica do empreendimento) da FARH foi realizada com base nos princípios da governança corporativa deste recurso, levando-se em consideração as diretrizes elencadas pela *Water Risk Filter* (WWF, 2014), a saber: i) riscos físicos, ii) riscos regulatórios e iii) riscos reputacionais.

A pontuação do eixo X, foi estabelecida com base na seguinte classificação:

- Excelente, correlação com a escala de probabilidade “Muito Baixa”;
- Confortável, correlação com a escala probabilidade “Baixa”;
- Preocupante, correlação com a escala probabilidade “Moderada”;
- Crítica, correlação com a escala de probabilidade “Alta”;
- Muito Crítica, correlação com a escala de probabilidade “Muito Alta”.

A **Tabela 6.3** apresenta o questionário desenvolvido no âmbito desta pesquisa para o Eixo X e a escala de pontos associada.

Tabela 6.3: Questionário para caracterização do *status* da gestão hídrica do empreendimento (Eixo X)

Categoria	Perguntas	Opções de resposta	Pontuação	Peso
Riscos físicos	1 – Qual o nível de envolvimento da alta administração do empreendimento com a questão hídrica?	<input type="checkbox"/> Diretoria <input type="checkbox"/> Gerência geral <input type="checkbox"/> Gerência operacional <input type="checkbox"/> Supervisão/Operação <input type="checkbox"/> Não existe envolvimento	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Três (3) <input type="checkbox"/> Quatro (4) <input type="checkbox"/> Cinco (5)	2
	2 – O planejamento estratégico do empreendimento inclui diretrizes relacionadas a gestão hídrica?	<input type="checkbox"/> Sim, em nível corporativo e local <input type="checkbox"/> Sim, em nível corporativo <input type="checkbox"/> Sim, em nível local <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Três (3) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Cinco (5)	2
	3 – O empreendimento possui metas relacionadas à redução da captação/uso de água nova e aumento da reutilização?	<input type="checkbox"/> Sim, em nível corporativo e local <input type="checkbox"/> Sim, em nível corporativo <input type="checkbox"/> Sim, em nível local <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Três (3) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Cinco (5)	1
	4 – O empreendimento possui um plano de gestão que contempla avaliação dos riscos associados ao uso da água e estabelece medidas de contingência para os casos de crise hídrica?	<input type="checkbox"/> Sim, em nível corporativo e local <input type="checkbox"/> Sim, em nível corporativo <input type="checkbox"/> Sim, em nível local <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Três (3) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Cinco (5)	3
	5 – O empreendimento possui balanço hídrico elaborado por metodologia padronizada ⁹ ?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Cinco (5)	3

⁹ Utilizado critério baseado na adaptação da *Water Accounting Framework* (WAF) adaptada ou metodologia similar padronizada em nível corporativo.

Tabela 6.3: Questionário para caracterização do *status* da gestão hídrica do empreendimento (Eixo X) (cont.)

Categoria	Perguntas	Opções de resposta	Pontuação	Peso
Riscos físicos	6 – Com base nos dados do balanço hídrico do empreendimento, qual o percentual de dados de entrada e saída de água são medidos?	<input type="checkbox"/> Menor que 05% <input type="checkbox"/> De 05 até 25% <input type="checkbox"/> De 26 até 50% <input type="checkbox"/> De 51 até 75% <input type="checkbox"/> Superior a 75% <input type="checkbox"/> Não existe avaliação	<input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Quatro (4) <input type="checkbox"/> Três (3) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Três (3)	3
	7 – Com base nos dados do balanço hídrico do empreendimento, qual o percentual de água reutilizada?	<input type="checkbox"/> Menor que 05% <input type="checkbox"/> De 05 até 25% <input type="checkbox"/> De 26 até 50% <input type="checkbox"/> De 51 até 75% <input type="checkbox"/> Superior a 75% ou melhor índice obtido com base em tecnologia disponível <input type="checkbox"/> Não existe levantamento	<input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Quatro (4) <input type="checkbox"/> Três (3) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Três (3)	3
	8 – Qual o percentual dos efluentes gerados e descartados pelo empreendimento é devolvido a mesma microbacia da captação?	<input type="checkbox"/> Menor que 05% <input type="checkbox"/> De 05 até 25% <input type="checkbox"/> De 26 até 50% <input type="checkbox"/> De 51 até 75% <input type="checkbox"/> Superior a 75% <input type="checkbox"/> Não há descarte de efluentes <input type="checkbox"/> Não existe levantamento	<input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Quatro (4) <input type="checkbox"/> Três (3) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Três (3)	1
	9 – O empreendimento possui o mapeamento da situação hídrica dos fornecedores considerados críticos para o processo produtivo?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Três (3)	1
	10 – Existe rota de substituição estabelecida para os fornecedores críticos localizados em áreas de escassez hídrica?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Cinco (5)	1
	Riscos regulatórios	11 – Existem vulnerabilidades ¹⁰ relacionadas às autorizações vigentes emitidas para os pontos de captação de água e lançamento de efluentes do empreendimento?	<input type="checkbox"/> Sim, para captação e lançamento <input type="checkbox"/> Sim, para captação <input type="checkbox"/> Sim, lançamento <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Quatro (4) <input type="checkbox"/> Quatro (4) <input type="checkbox"/> Um (1)
12 – As barragens de rejeito do empreendimento possuem corta rios e canal de cintura (canal de drenagem periférico) que assegurem a devida interceptação das águas pluviais, de nascentes e de rios evitando o contato com o rejeito depositado		<input type="checkbox"/> Sim, corta rios e canal de cintura <input type="checkbox"/> Sim, corta rios <input type="checkbox"/> Sim, canal de cintura <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não aplicável (NA). O empreendimento não possui barragens de rejeito.	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Três (3) <input type="checkbox"/> Quatro (4) <input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> NA	3

¹⁰ Entenda-se por vulnerabilidade, evento relacionado ao descumprimento dos padrões outorgados (ex.: captação acima da outorga; lançamento em desacordo com os padrões estabelecidos) ou ausência de medição/acompanhamento da captação/lançamento.

Tabela 6.3: Questionário para caracterização do *status* da gestão hídrica do empreendimento (Eixo X) (cont.)

Categoria	Perguntas	Opções de resposta	Pontuação	Peso
Riscos reputacionais	13 – Os efluentes líquidos descartados pelo empreendimento apresentam enquadramento nos padrões legais estabelecidos (verificar histórico dos últimos 5 anos)?	<input type="checkbox"/> Ausência de monitoramento <input type="checkbox"/> Até 10% dos dados monitorados <input type="checkbox"/> De 11 até 40% dos dados <input type="checkbox"/> De 41 até 75% dos dados <input type="checkbox"/> De 76 a 90% dos dados <input type="checkbox"/> Acima de 90% <input type="checkbox"/> Não há descarte de efluentes	<input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Quatro (4) <input type="checkbox"/> Três (3) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Um (1)	3
	14 – Os pontos de monitoramento no corpo receptor, localizados a jusante dos pontos de descarte de efluentes do empreendimento, apresentam enquadramento de qualidade de acordo com a classe estabelecida (verificar histórico dos últimos 5 anos)?	<input type="checkbox"/> Ausência de monitoramento <input type="checkbox"/> Até 10% dos dados monitorados <input type="checkbox"/> De 11 até 40% dos dados <input type="checkbox"/> De 41 até 75% dos dados <input type="checkbox"/> De 76 a 90% dos dados <input type="checkbox"/> Acima de 90% <input type="checkbox"/> Não há descarte de efluentes	<input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Quatro (4) <input type="checkbox"/> Três (3) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Um (1)	3
	15 - O empreendimento está exposto a mudanças em aspectos regulatórios que impactarão sua operação de forma negativa?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não existe mapeamento	<input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Três (3)	1
	16 – Existem registros de exposição na mídia em relação a problemas relativos ao uso da água ou descarte de efluentes nos últimos 5 anos?	<input type="checkbox"/> Sim, média global <input type="checkbox"/> Sim, média nacional <input type="checkbox"/> Sim, média regional <input type="checkbox"/> Sim, média local <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não existe mapeamento	<input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Quatro (4) <input type="checkbox"/> Três (3) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Três (3)	2
	17 - O empreendimento possui bom relacionamento com os usuários e partes interessadas que estão envolvidas com as questões de uso da água na bacia e microbacia hidrográfica?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não existe mapeamento	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Três (3)	1
	18 – Qual o porte do empreendimento em relação aos demais usuários da bacia e microbacia hidrográfica?	<input type="checkbox"/> Maior usuário <input type="checkbox"/> Usuário equivalente <input type="checkbox"/> Menor usuário <input type="checkbox"/> Não existe mapeamento	<input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Três (3)	1
	19 – Existe registro de envolvimento em disputas e conflitos pelo uso dos recursos hídricos nos últimos 5 anos?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não existe mapeamento	<input type="checkbox"/> Cinco (5) <input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Três (3)	2
	Nota máxima			

O algoritmo da pontuação final no Eixo X foi obtido pelo somatório das pontuações obtidas nas perguntas de 1 a 19 considerando os pesos associados, ponderada pelo somatório das notas máximas possíveis em cada pergunta multiplicadas pelos pesos associados (nota máxima = 193 pontos) convertidos a escala máxima de 5 pontos, ou seja:

$$\text{Nota Final Eixo X} = [(\sum \text{Notas máximas 1-19} * \text{peso associado}) * 5] / 193 \quad \text{Equação 6.2}$$

6.2.5 Dependência do empreendimento em relação ao recurso hídrico – Eixo Z

A definição dos critérios técnicos que integraram a avaliação do Eixo Z (dependência do empreendimento em relação ao recurso hídrico) da FARH foi realizada com base na associação do nível de dependência do recurso e sua relação a potenciais danos financeiros decorrentes de uma eventual interrupção do abastecimento. Este eixo não possui correlação com demais matrizes de risco convencionais, mas possui associação com o critério de avaliação de impacto financeiro proposto por Bissacot & Oliveira (2016) para o desenvolvimento de um instrumento de gestão de riscos ambientais.

A pontuação do eixo Z, foi estabelecida com base na seguinte classificação do nível de dependência do empreendimento em relação ao recurso hídrico:

- Baixa, correlação com baixo impacto financeiro;
- Médio, correlação com moderado impacto financeiro;
- Alto, correlação com alto impacto financeiro.

A **Tabela 6.4** apresenta o questionário desenvolvido no âmbito desta pesquisa para este mapeamento e a escala de pontos associada.

Tabela 6.4: Questionário para caracterização do nível de dependência do empreendimento em relação ao recurso hídrico (Eixo Z)

Perguntas	Opções de resposta	Pontuação	Peso
1 – Qual o percentual do total da água necessária para a operação do empreendimento é proveniente de captação de água superficial ou subterrânea?	<input type="checkbox"/> Menor que 25% <input type="checkbox"/> De 50 até 75% <input type="checkbox"/> Superior a 75%	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Três (3)	3
2 – Qual o percentual da vazão outorgada que vem sendo captada pelo empreendimento?	<input type="checkbox"/> Menor que 25% <input type="checkbox"/> De 50 até 75% <input type="checkbox"/> Superior a 75%	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Três (3)	1
3 – Em uma situação de escassez hídrica (água superficial ou subterrânea), o empreendimento possui fontes alternativas para o seu abastecimento?	<input type="checkbox"/> Sim, para 100% da operação <input type="checkbox"/> Somente para as atividades críticas <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Um (1) <input type="checkbox"/> Dois (2) <input type="checkbox"/> Três (3)	2
Nota máxima			18

O algoritmo da pontuação final no Eixo Z foi obtida pelo somatório das pontuações obtidas nas perguntas de 1 a 3 considerando os pesos associados, ponderada pelo somatório das notas máximas possíveis em cada pergunta multiplicadas pelos pesos associados (nota máxima = 18 pontos) convertidos a escala máxima de 3 pontos, ou seja:

$$\text{Nota Final} = [(\sum \text{Notas máximas 1-3} * \text{pesos associados}) * 3] / 18 \quad \text{Equação 5.3}$$

6.2.6 Classificação do risco hídrico

Os critérios elencados nos itens anteriores compuseram a base técnica para a classificação da escala de risco hídrico, desenvolvida no âmbito desta pesquisa, de acordo com os critérios descritos na **Tabela 6.5**, **Tabela 6.6** e consolidados na **Figura 6.2**.

Tabela 6.5: Escala de Risco – Situação da bacia hidrográfica *versus* Status da gestão hídrica

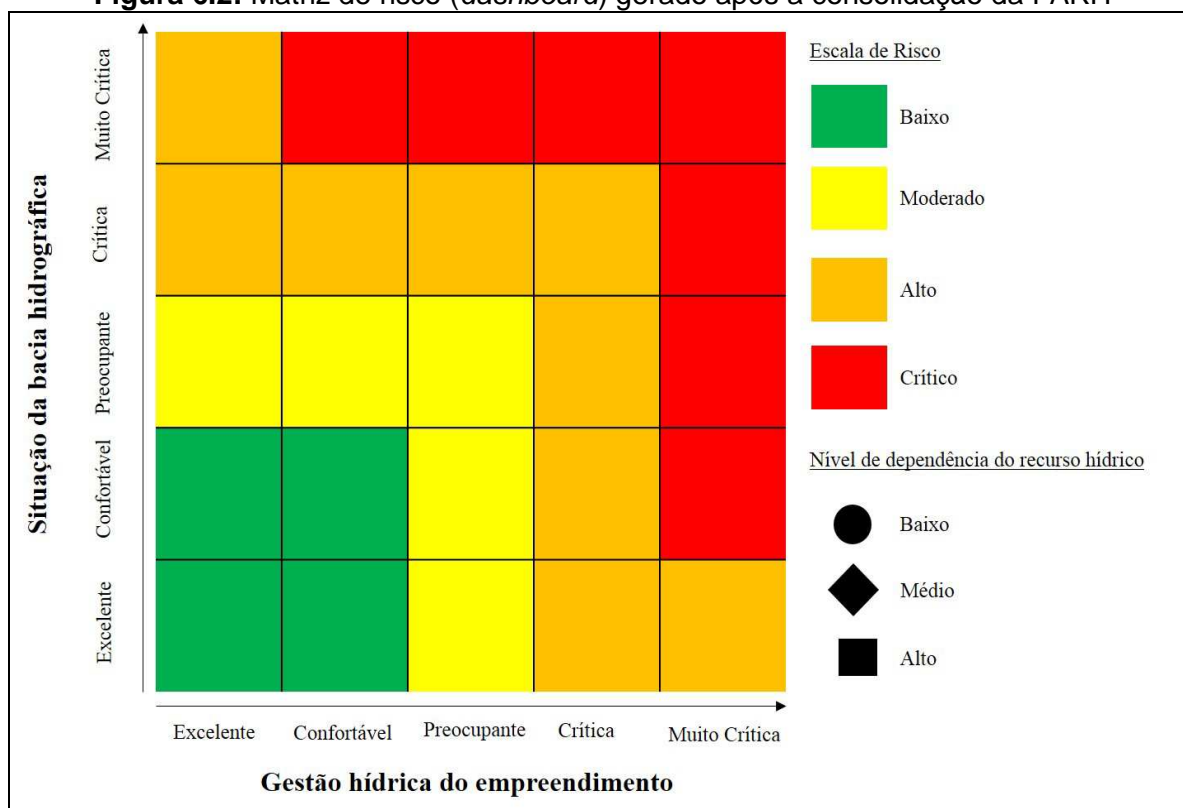
Classificação		Status da gestão hídrica do empreendimento (Eixo X)				
		Excelente	Confortável	Preocupante	Crítica	Muito Crítica
Situação da bacia hidrográfica (Eixo Y)	Muito Crítica	Alto	Crítico	Crítico	Crítico	Crítico
	Crítica	Alto	Alto	Alto	Alto	Crítico
	Preocupante	Moderado	Moderado	Moderado	Alto	Crítico
	Confortável	Baixo	Baixo	Moderado	Alto	Crítico
	Excelente	Baixo	Baixo	Moderado	Alto	Alto

Tabela 6.6: Escala de Risco – Correlação com a pontuação obtida nos questionários da FARH

Classificação		Status da gestão hídrica do empreendimento (Eixo X)				
		Excelente	Confortável	Preocupante	Crítica	Muito Crítica
Situação da bacia hidrográfica (Eixo Y)	Muito Crítica	X: 1,00 – 1,99 Y: >= 5,00	X: 2,00 – 2,99 Y: >= 5,00	X: 3,00 – 3,99 Y: >= 5,00	X: 4,00 – 4,99 Y: >= 5,00	X: >= 5,00 Y: >= 5,00
	Crítica	X: 1,00 – 1,99 Y: 4,00 – 4,99	X: 2,00 – 2,99 Y: 4,00 – 4,99	X: 3,00 – 3,99 Y: 4,00 –	X: 4,00 – 4,99 Y: 4,00 –	X: >= 5,00 Y: 4,00 – 4,99
	Preocupante	X: 1,00 – 1,99 Y: 3,00 – 3,99	X: 2,00 – 2,99 Y: 3,00 – 3,99	X: 3,00 – 3,99 Y: 3,00 –	X: 4,00 – 4,99 Y: 3,00 –	X: >= 5,00 Y: 3,00 – 3,99
	Confortável	X: 1,00 – 1,99 Y: 2,00 – 2,99	X: 2,00 – 2,99 Y: 2,00 – 2,99	X: 3,00 – 3,99 Y: 2,00 –	X: 4,00 – 4,99 Y: 2,00 –	X: >= 5,00 Y: 2,00 – 2,99
	Excelente	X: 1,00 – 1,99 Y: 1,00 – 1,99	X: 2,00 – 2,99 Y: 1,00 – 1,99	X: 3,00 – 3,99 Y: 1,00 –	X: 4,00 – 4,99 Y: 1,00 –	X: >= 5,00 Y: 1,00 – 1,99

As pontuações obtidas no Eixo Z, correspondem aos seguintes níveis de dependência do recurso hídrico: 1,00-1,99 (baixo); 2,00-2,99 (médio) e >= 3 (alto).

Figura 6.2: Matriz de risco (*dashboard*) gerado após a consolidação da FARH



6.2.7 Validação e estruturação da FARH em base informatizada a partir de uma etapa piloto

Após o desenvolvimento da base técnica e estrutural da FARH foi realizada uma etapa piloto para validação dos critérios estabelecidos.

O piloto foi realizado em 09 (nove) *sites* do segmento mineiro-metalúrgico localizados nos estados de Minas Gerais, Goiás e São Paulo, com duas rodadas de aplicação, realizadas em função de ajustes nos questionários e na base de cálculo, após a atribuição de pesos às perguntas definidas. Cada empreendimento respondeu de forma individual aos questionários elaborados e os resultados finais obtidos foram plotados no *dashboard* de acordo com a escala associada. A **Tabela 6.7** apresenta a descrição dos empreendimentos onde a FARH foi aplicada.

Tabela 6.7: Descrição dos empreendimentos (sites) onde a FARH foi aplicada

Nº do site	Produção (Kt)	Processo produtivo	Possui barragem de rejeito?	Estado
1	22,9	Mineração subterrânea – longo prazo	Sim	Minas Gerais
2	134,0	Mineração subterrânea – longo prazo	Sim	Minas Gerais
3	957,8	Mineração a céu aberto – curto prazo	Sim	Minas Gerais
4	630,5	Mineração a céu aberto – curto prazo	Não	Minas Gerais
5	18,5	Mineração a céu aberto – longo prazo	Sim	Goiás
6	363,8	Metalurgia	Sim	São Paulo
7	183,9	Hidrometalurgia	Sim	Minas Gerais
8	86,8	Hidrometalurgia	Sim	Minas Gerais
9	22,7	Metalurgia	Não	São Paulo

Nota: Dados de produção relativos ao ano de 2015. Unidades de medida - Produção das minerações de longo prazo (zinco e níquel) = Kt metal contido; Produção das minerações de curto prazo = Kt room beneficiado; produção da metalurgia e hidrometalurgia = Kt metal contido.

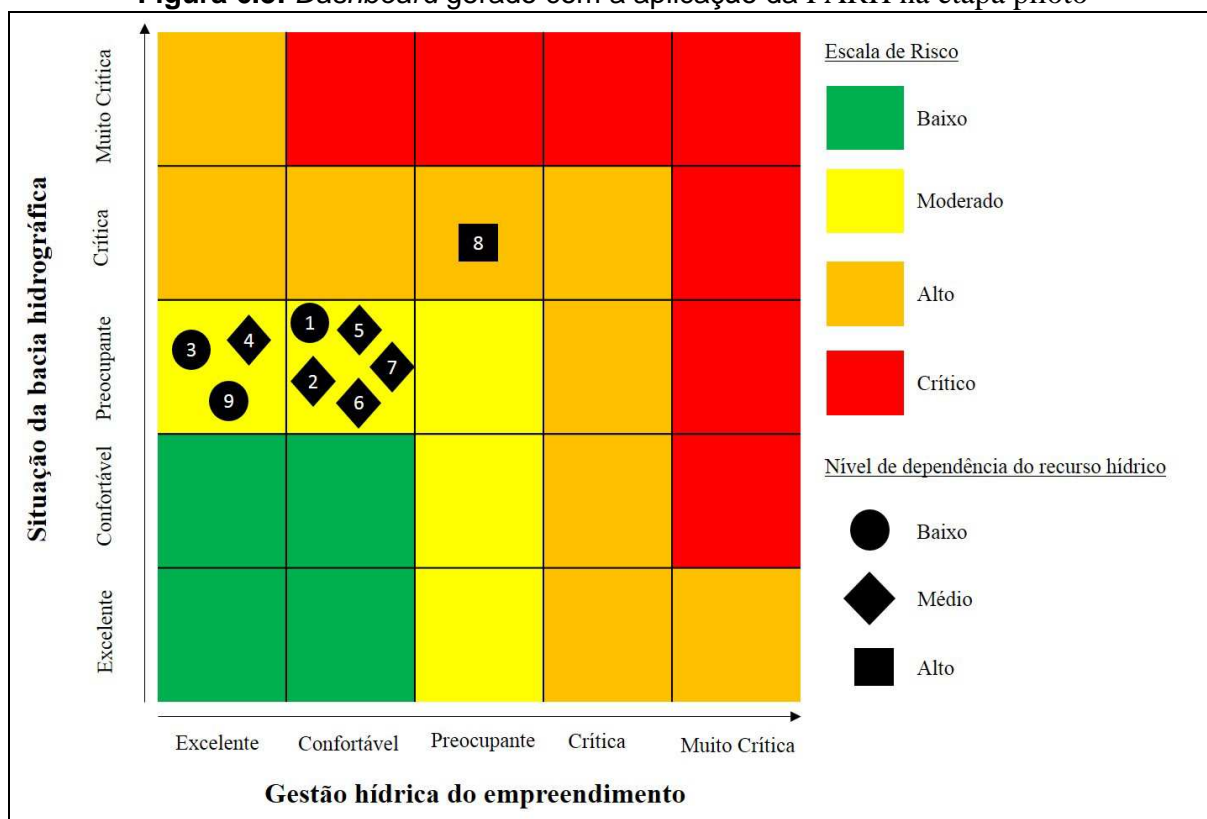
Com a validação dos critérios da FARH, as plataformas de dados foram inseridas em “macro excel” para informatização da sua aplicação. O que possibilitou a exportação da análise do risco hídrico de forma automatizada com a configuração final da matriz de risco (*dashboard*) apresentada na **Figura 6.2**.

6.3 Resultados e discussões

6.3.1 Resultados da etapa piloto

A **Figura 6.3** apresenta o *dashboard* produto final do piloto realizado nos 9 (nove) *Sites* para validação dos critérios técnicos que compõem a FARH, após a validação dos questionários e da base de cálculo. Os questionários respondidos foram mantidos em sigilo, para assegurar a confidencialidade de dados de processo destes empreendimentos.

Figura 6.3: Dashboard gerado com a aplicação da FARH na etapa piloto



A situação da bacia em relação ao grau de estresse hídrico da bacia hidrográfica (Eixo Y) foi classificada de preocupante a crítica nos empreendimentos avaliados, enquanto o *status* de gestão hídrica (Eixo X) variou de excelente a preocupante de acordo com os critérios elencados, o que culminou na alocação de 08 (oito) empreendimentos na escala de risco moderado e 01 (um) na escala de risco alto.

Em relação ao nível de dependência do recurso hídrico (Eixo Z), 03 (três) empreendimentos foram identificados com baixa dependência do recurso hídrico, 05 (cinco) com dependência média, e 01 (um) com alto nível de dependência, onde o cenário de escassez hídrica impactaria de forma representativa as operações da unidade, culminando em impacto

financeiro associado a uma potencial suspensão do abastecimento.

Os questionários desenvolvidos seguiram os estágios definidos por Schulman & Kalton (1985) e reforçados por Gunther (2003), os critérios aplicados apresentaram aderência técnica e foram considerados pelos empreendimentos envolvidos como correspondentes à realidade operacional, o que demonstrou que o mapeamento fornecido pela FARH foi suficiente para a composição de uma ferramenta de avaliação de risco hídrico a ser aplicada pelo segmento minero-metalúrgico do país.

Adicionalmente, a correlação estabelecida com as escalas de severidade e probabilidade estabelecidas pelo FMEA (ZAMBRANO & MARTINS, 2007) demonstraram que os resultados da FARH podem ser correlacionada ao mapeamento dos demais riscos ambientais destes empreendimentos.

6.3.2 Guia para elaboração do plano de gestão hídrica

De posse dos resultados da aplicação do piloto, a presente pesquisa definiu um guia para elaboração do plano de gestão hídrica dos empreendimentos do segmento minero-metalúrgico.

Este guia foi estabelecido com base na escala de risco fornecida pela FARH, levando-se em consideração aspectos levantados na literatura (ABIQUIM, 2016; ANA, 2016; ANA, 2016), a experiência do pesquisado e da equipe multidisciplinar envolvida na discussão dos questionários e racional de cálculo da ferramenta.

A **Tabela 6.8**, **Tabela 6.9**, **Tabela 6.10** e **Tabela 6.11** apresentam ações de controle/acompanhamento, mitigação e correção propostas neste guia.

Tabela 6.8: Ações de prevenção e acompanhamento para a gestão hídrica em empreendimentos classificados na escala de risco hídrico **baixo**

Ações	Guia
Manter o balanço hídrico e a avaliação de risco do empreendimento atualizados (contabilização hídrica X escala de risco).	Atualização anual obrigatória da WAF – Adaptada e da FARH.
Elaborar e implementar o plano diretor de medição de água, assegurando a instalação de medidores ao longo do fluxo operacional de demanda de água do empreendimento.	Com base no balanço hídrico, mapear os principais fluxos de captação, distribuição, consumo, reutilização e descarte e estabelecer o plano diretor de medição do empreendimento.
Manter os estudos hidrológico e hidrogeológico das fontes de abastecimento atualizados.	Contratar consultoria especializada para a atualização do estudo hidrológico das fontes de captação da Unidade. Mapear fontes alternativas de abastecimento com base neste estudo.
Estabelecer metas e monitorar o alcance progressivo dos indicadores de reutilização de água e redução do uso específico de água nova.	Traçar diretrizes estratégicas e operacionais relacionadas as metas e monitoramento do percentual de reutilização de água e redução do uso específico de água nova.
Estabelecer uma agenda de relacionamento e interface com os comitês, agências e grupos técnicos relacionados ao gerenciamento dos recursos hídricos.	Indicar um representante técnico e um representante político para acompanhar estes fóruns de discussão.

Tabela 6.9: Ações de controle para a gestão hídrica em empreendimentos classificados na escala de risco hídrico **moderado**

Ações	Guia
Implementar as ações da Tabela 6.8	Seguir as orientações/planos de ação identificados para a escala de risco hídrico baixo.
Realizar o monitoramento das bacias hidrográficas de acordo com as recomendações dos estudos hidrológico e hidrogeológico.	Utilizar os canais disponíveis para realizar diariamente o monitoramento da bacia hidrográfica. Estabelecer um canal de comunicação com os atores da bacia para enriquecer as informações. Avaliar potenciais restrições para continuar a captação de água.
Analisar criticamente o processo produtivo e identificar oportunidades de melhoria de gestão. Definir objetivos e metas de reuso e redução na captação de água nova para seu processo.	Junto com as áreas operacionais realizar o desdobramento das iniciativas desenhadas no planejamento estratégico, analisando criticamente as ações propostas e priorizando as que resultem em maior ganho. Elaborar um Plano de Ação.
Estabelecer um canal de comunicação com a alta direção e demais funcionários para informar as ações de aumento na reutilização e redução da captação de água nova.	Realizar a divulgação mensal dos resultados junto às áreas operacionais envolvidas, comparando os resultados com as metas estabelecidas.
Identificar os fornecedores de matérias-primas e insumos críticos para seu processo produtivo e avaliar a situação de risco hídrico dos mesmos.	Solicitar à área de suprimentos uma lista dos fornecedores de matérias-primas e insumos críticos para seu processo e aplicar a FARH.
Estabelecer um plano com as ações de segurança de processo necessárias visando a parada parcial ou total do empreendimento.	Criar ou atualizar procedimentos de parada de planta considerando o cenário de escassez do recurso hídrico. Definir o volume de água necessário para os equipamentos críticos de emergência.

Tabela 6.10: Ações de mitigação e correção para a gestão hídrica em empreendimentos classificados na escala de risco hídrico **alto**

Ações	Guia
Implementar as ações da Tabela 6.8 e Tabela 6.9 .	Seguir as orientações/planos de ação identificados para a escala de risco hídrico baixo e moderado.
Implementar os mecanismos necessários para acesso as fontes alternativas de abastecimento mapeadas nos estudos hidrológico e hidrogeológico.	Implementar as fontes alternativas de recursos hídricos identificadas, a fim de manter o processo produtivo.
Inserir a pauta de escassez hídrica nos processos de qualificação e renovação contratual de fornecedores.	Avaliar a necessidade de alternativas para fornecimento de matérias-primas e insumos.
Avaliar as funções/atividades críticas que deverão ser mantidas na unidade produtiva caso exista um racionamento de água.	Cada unidade produtiva deverá avaliar o contingente mínimo para manter sua operação tendo em vista um eventual racionamento.
Complementar o plano de ação com ações que assegurem a continuidade do negócio.	Envolver a área de planejamento, suprimentos e comercial, avaliando a possibilidade de aumento de armazenamento local de água (ex. reservatórios).

Tabela 6.11: Ações de contingência para a gestão hídrica em empreendimentos classificados na escala de risco hídrico **crítico**

Ações	Guia
Implementar as ações da Tabela 6.8 , Tabela 6.9 e Tabela 6.10 .	Seguir as orientações/planos de ação identificados para a escala de risco hídrico baixo, moderado e alto.
Estabelecer o Comitê de Gestão de Crise.	O comitê deve ser formado por profissionais que atuam mutuamente em áreas como: Recursos Humanos, Comunicação, Produção, Suprimentos, Comercial, Legal, Saúde, Segurança e Meio Ambiente, etc. com os objetivos de mitigar os riscos à saúde, segurança e meio ambiente e manter a continuidade dos negócios
Iniciar o processo de comunicação interna e externa.	Definir a estratégia de comunicação considerando as principais partes interessadas de forma transparente e clara.
Comunicar os principais clientes e fornecedores, funcionários e sindicatos sobre o risco de interrupção no processo produtivo.	Preparar comunicado com suporte da área jurídica (ex.: verificar questões contratuais com clientes, plano de suspensão temporária relativo aos funcionários, etc).
Caso necessário, estabelecer o plano de ação emergencial para interrupção do processo produtivo de forma segura, seguindo os procedimentos de segurança definidos nas etapas anteriores.	Interromper o processo produtivo de forma segura. Manter os controles de saúde, segurança e meio ambiente aplicáveis vigentes.

Cabe ressaltar o plano proposto reflete a designação de ações estratégicas que deverão ser entendidas como orientações gerais para detalhamento das ações individuais que cada empreendimento do segmento deve adotar.

6.3.3 Informatização da FARH

De posse dos resultados obtidos na etapa piloto, após a definição dos critérios para o guia de elaboração do plano de gestão hídrica, a FARH foi inserida em base excel.

A FARH informatizada permite a avaliação de até 15 (quinze) sites de maneira conjunta, possibilitando que empresas que possuam diversas operações tenham uma visualização integrada da avaliação do risco hídrico deste número de empreendimentos, o qual foi considerado satisfatório para o agrupamento de unidades com a mesma característica (ex.: agrupamento de minerações, metalurgias, simulação de novos projetos, novas aquisições, etc).

Na informatização também foi inserido um campo para o preenchimento do plano de ação que deverá ser elaborado por cada empreendimento, com base nas diretrizes do guia para elaboração do plano de gestão hídrica, o que possibilita a visão integrada de todo o processo de avaliação de risco hídrico em uma única ferramenta condizente com o processo de avaliação e gerenciamento de riscos ambientais (CASE, 1999; PRITCHARD, 2000) e padronizado pela ABNT (2012).

A **Figura 6.4, Figura 6.5, Figura 6.6, Figura 6.7, Figura 6.8, Figura 6.9, Figura 6.10, Figura 6.11** apresentam as principais visões das telas da ferramenta e no **APÊNDICE I** consta o arquivo informatizado.

Figura 6.4: Tela de abertura da FARH – Menu inicial

FERRAMENTA DE GESTÃO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO HÍDRICO (FARH)
MENU PRINCIPAL

RELAÇÃO DE SITES	PREENCHIMENTO
SITE 1 - Nome do Site 1 	OK

Para preenchimento ou visualização dos dados, selecione o Site desejado acima e clique no botão "Preenchimento da Avaliação" abaixo.

Regras de Preenchimento **Preenchimento da Avaliação** **Dashboard**

Guia - Plano de Gestão Hídrica **Plano de Ação** **Fechar o Sistema**

Desenvolvido por WQOT Sistemas Ltda

Figura 6.5: Tela de caracterização do empreendimento

FERRAMENTA DE GESTÃO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO HÍDRICO (FARH)
Retorna para o Menu

SITE 1

Descrição do empreendimento

Nome do Site:	
Descrição da atividade:	
Capacidade produtiva:	
Localização geográfica:	
Cidade:	
Estado:	
Coordenadas geográficas do site (ponto central):	
Bacia hidrográfica e micro bacia:	
Descrição dos pontos de captação de água +	
Nome do ponto 1:	
Corpo d' água:	
Coordenadas geográficas:	
Vazão outorgada (m3/h):	
Descrição dos pontos de lançamento +	
Nome do ponto 1:	
Corpo d' água:	
Coordenadas geográficas:	
Vazão outorgada (m3/h):	

Figura 6.6: Tela (parcial) do questionário do Eixo Y

FERRAMENTA DE GESTÃO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO HÍDRICO (FARH)
Retorna para o Menu

SITE 1

Situação da bacia hidrográfica

PERGUNTAS	Respostas	Observações / Justificativas para a resposta selecionada
1 - Qual a classificação do Índice de Retirada de Água da bacia hidrográfica onde o empreendimento está localizado - condição atual? Nota: O Índice de Retirada de Água deve ser calculado de acordo com o Water Explotation Index (WEI), que poderá ser obtido no site da Agência Nacional de Águas (ANA) ou em estudo hidrológico elaborado pelo empreendimento.	Excelente	
	Confortável	
	Preocupante	
	Crítica	
	Muito crítica	
	Desconhecido	
2 - Qual a classificação do Índice de Retirada de Água da bacia hidrográfica onde o empreendimento está localizado - condição futura (simulação para os próximos 5 anos)? Nota: O Índice de Retirada de Água deve ser calculado de acordo com o Water Explotation Index (WEI), que poderá ser obtido no site da Agência Nacional de Águas (ANA) ou em estudo hidrológico elaborado pelo empreendimento.	Excelente	
	Confortável	
	Preocupante	
	Crítica	
	Muito crítica	
	Desconhecido	
3 - Qual a classificação do Índice de Retirada de Água da microbacia onde o empreendimento está localizado - condição atual? Nota: O Índice de Retirada de Água deve ser calculado de acordo com o Water Explotation Index (WEI), que poderá ser obtido no site da Agência Nacional de Águas (ANA) ou em estudo hidrológico elaborado pelo empreendimento.	Excelente	
	Confortável	
	Preocupante	
	Crítica	
	Muito crítica	
	Desconhecido	

Figura 6.7: Tela (parcial) do questionário do Eixo X

FERRAMENTA DE GESTÃO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO HÍDRICO (FARH)			
SITE 1		Retorna para o Menu	
Gestão hídrica do empreendimento			
Categoria	Perguntas	Respostas	Observações / Justificativas para a resposta selecionada
Riscos físicos	1 - Qual o nível de envolvimento da alta administração do empreendimento com a questão hídrica?	Diretoria	
		Gerência Geral	
		Gerência Operacional	
		Supervisão/Operação	
		Não existe envolvimento	
	2 - O planejamento estratégico do empreendimento inclui diretrizes relacionadas a gestão hídrica?	Sim, em nível corporativo e local	
		Sim, em nível corporativo	
		Sim, em nível local	
		Não. O planejamento estratégico não inclui diretrizes relacionadas a gestão hídrica	
	3 - O empreendimento possui metas relacionadas a redução da captação / uso de água nova e aumento da reutilização?	Sim, em nível corporativo e local	
		Sim, em nível corporativo	
		Sim, em nível local	
		Não. O empreendimento não possui metas relacionadas a redução da captação / uso de água nova e aumento da reutilização	
	4 - O empreendimento possui um plano de gestão que contempla a avaliação dos riscos associados ao uso da água e estabelece medidas contingência para os casos de crise hídrica?	Sim, em nível corporativo e local	
		Sim, em nível corporativo	
		Sim, em nível local	
Não. O empreendimento não possui um plano de gestão que contempla a avaliação dos riscos hídricos			

Figura 6.8: Tela do questionário do Eixo Z

FERRAMENTA DE GESTÃO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO HÍDRICO (FARH)
Retorna para o Menu

SITE 1

Nível de dependência do recurso hídrico

Perguntas	Respostas	Observações / Justificativas para a resposta selecionada
1 – Qual o percentual do total da água necessária para a operação do empreendimento é proveniente de captação de água superficial ou subterrânea?	Menor que 25%	
	De 50 até 75%	
	Superior a 75%	
2 – Qual o percentual da vazão total outorgada vem sendo captada pelo empreendimento?	Menor que 25%	
	De 50 até 75%	
	Superior a 75%	
3 – Em uma situação de escassez hídrica, o empreendimento possui fontes alternativas para o abastecimento?	Sim, para 100% da operação	
	Somente para as atividades críticas	
	Não	

Figura 6.9: Tela do *dashboard* (matriz de risco)

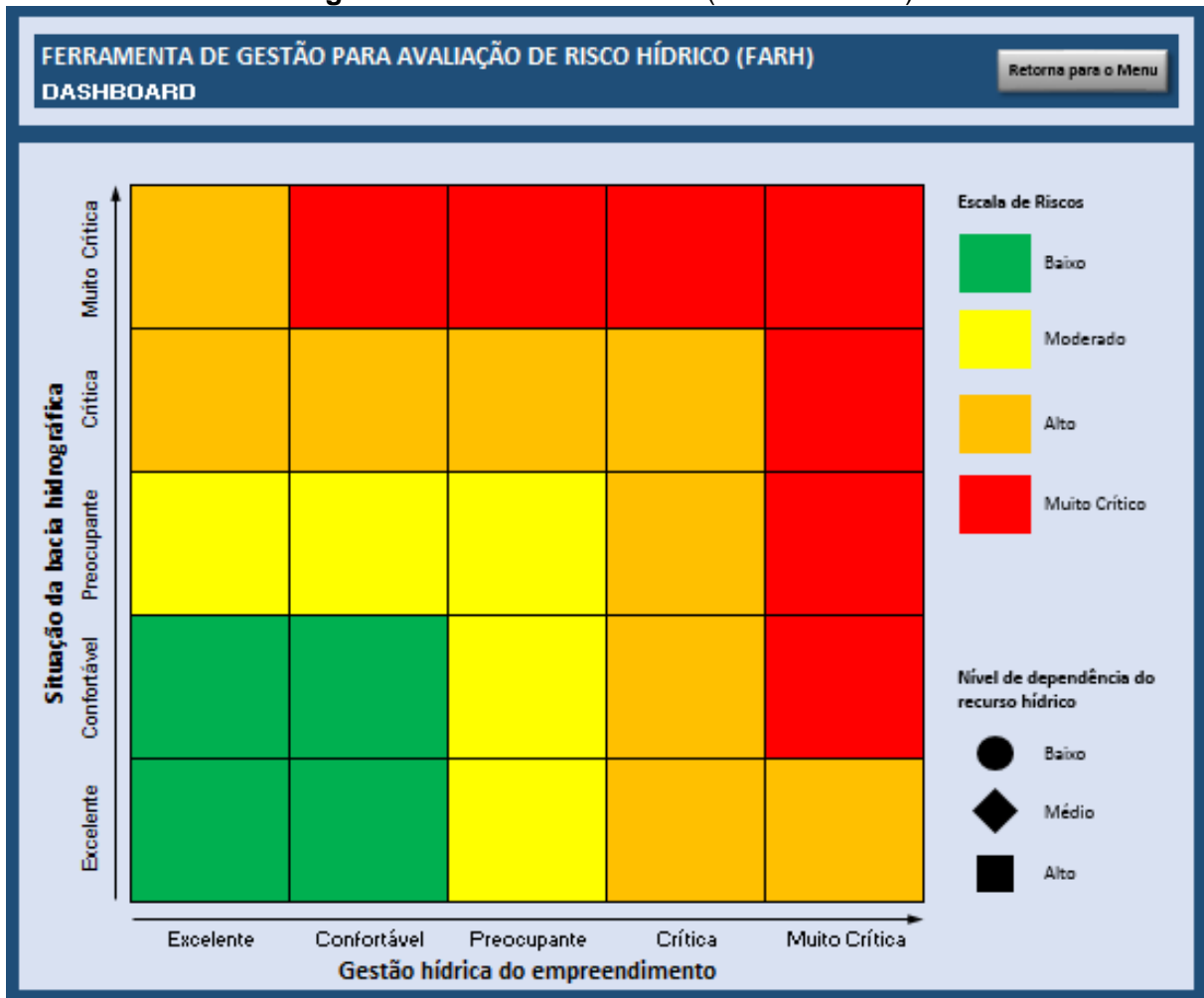


Figura 6.10: Tela do guia de apoio para elaboração do plano de gestão hídrica

FERRAMENTA DE GESTÃO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO HÍDRICO (FARH)
Retorna para o Menu

Ações de prevenção e acompanhamento para a gestão hídrica em empreendimentos classificados na escala de risco hídrico baixo

Ações	Guia
Manter o balanço hídrico do empreendimento atualizado (contabilização hídrica).	Atualização anual obrigatória da WAF – Adaptada.
Elaborar e implementar o plano diretor de medição de água, assegurando a instalação de medidores ao longo do fluxo operacional de demanda de água do empreendimento.	Com base no balanço hídrico, mapear os principais fluxos de captação, distribuição, consumo, recirculação e descarte e estabelecer o plano diretor de medição do empreendimento.
Manter o estudo hidrológico e hidrogeológico das fontes de abastecimento atualizados.	Contratar consultoria especializada para a atualização do estudo hidrológico das fontes de captação da Unidade. Mapear fontes alternativas de abastecimento com base neste estudo.
Estabelecer uma agenda de relacionamento e interface com os comitês, agências e grupos técnicos relacionados ao gerenciamento dos recursos hídricos.	Indicar um representante técnico e um representante político para acompanhar estes fóruns de discussão.

Ações de controle para a gestão hídrica em empreendimentos classificados na escala de risco hídrico moderado

Ações	Guia
Implementar as ações aplicáveis para a escala de risco baixo.	Seguir as orientações/planos de ação identificados para a escala de risco hídrico baixo.
Realizar o monitoramento das bacias hidrográficas de acordo com as recomendações dos estudos hidrológico e hidrogeológico.	Utilizar os canais disponíveis para realizar o monitoramento diário das bacias hidrográficas. Estabelecer um canal de comunicação com outros atores da bacia para enriquecer as informações. Avaliar potenciais restrições ou barreiras para continuar a captação de águas superficiais e subterrâneas.
Analisar criticamente o processo produtivo e identificar oportunidades de melhoria de gestão. Definir objetivos e metas de reuso e redução na captação de água nova para seu processo.	Junto com as áreas operacionais realizar o desdobramento das iniciativas desenhadas no planejamento estratégico, analisando criticamente as ações propostas e priorizando as que resultem em maior ganho. Elaborar um Plano de Ação.
Estabelecer um canal de comunicação com a alta direção e demais funcionários para informar as ações de aumento na recirculação e redução da captação de água nova.	Realizar a divulgação mensal dos resultados junto às áreas operacionais envolvidas, comparando os resultados com as metas estabelecidas.
Identificar os fornecedores de matérias-primas e insumos críticos para seu processo produtivo.	Solicitar à área de suprimentos uma lista dos fornecedores de matérias-primas e insumos críticos para seu processo.
Estabelecer um plano com as ações de segurança de processo necessárias visando a parada parcial ou total do empreendimento.	Criar ou atualizar procedimentos de parada de planta considerando o cenário de escassez do recurso hídrico. Definir o volume de água necessário para os equipamentos críticos de emergência.

Ações de mitigação e correção para a gestão hídrica em empreendimentos classificados na escala de risco hídrico alto

Ações	Guia
Implementar as ações da aplicáveis para a escala de risco baixo e moderado.	Seguir as orientações/planos de ação identificados para a escala de risco hídrico baixo e moderado.
Implementar os mecanismos necessários para acesso as fontes alternativas de abastecimento mapeadas nos estudos hidrológico e hidrogeológico.	Implementar as fontes alternativas de recursos hídricos identificadas, a fim de manter o processo produtivo.
Inserir a pauta de escassez hídrica nos processos de qualificação e renovação contratual de fornecedores.	Avaliar a necessidade de alternativas para fornecimento de matérias-primas e insumos.
Avaliar as funções/atividades críticas que deverão ser mantidas na unidade produtiva caso exista um racionamento de água.	Cada unidade produtiva deverá avaliar o contingente mínimo para manter sua operação tendo em vista um eventual racionamento.
Complementar o plano de ação com ações que assegurem a continuidade do negócio.	Envolver a área de planejamento, suprimentos e comercial, avaliando a possibilidade de aumento de estoque.

Ações de contingência para a gestão hídrica em empreendimentos classificados na escala de risco hídrico crítico

Ações	Guia
Implementar as ações aplicáveis para a escala de risco baixo, moderado e alto.	Seguir as orientações/planos de ação identificados para a escala de risco hídrico baixo, moderado e alto.
Estabelecer o Comitê de Gestão de Crise.	O comitê deve ser formado por profissionais que atuam mutuamente em áreas como: Recursos Humanos, Comunicação, Produção, Suprimentos, Comercial, Legal, Saúde, Segurança e Meio Ambiente, etc. com os objetivos de mitigar os riscos à saúde, segurança e meio ambiente e manter a continuidade dos negócios
Iniciar o processo de comunicação interna e externa.	Definir a estratégia de comunicação considerando as principais partes interessadas de forma transparente e clara.
Comunicar os principais clientes e fornecedores, funcionários e sindicatos sobre o risco de interrupção no processo produtivo.	Preparar comunicado com suporte da área jurídica (ex.: verificar questões contratuais com clientes, plano de suspensão temporária relativo aos funcionários, etc).
Caso necessário, estabelecer o plano de ação emergencial para interrupção do processo produtivo de forma segura, seguindo os procedimentos de segurança definidos nas etapas anteriores.	Interromper o processo produtivo de forma segura. Manter os controles de saúde, segurança e meio ambiente aplicáveis vigentes.

Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG

63

6.4 Conclusões

Os critérios elencados para a formulação da FARH foram suficientes e satisfatórios para o desenvolvimento de ferramenta capaz de identificar, analisar e classificar a escala de risco hídricos de empreendimentos no segmento mínero-metalúrgico.

O *dashboard* gerado possibilitou a visualização consolidada do risco hídrico de diversos empreendimentos em uma mesma base de avaliação, proporcionando comparações entre diferentes operações e fornecendo base técnica para a priorização de ações de curto, médio e longo prazo e conseqüentemente critério para subsidiar a alocação de recursos para a gestão de águas dentro da organização.

Os resultados da etapa piloto mostraram que a ferramenta desenvolvida foi considerada suficiente para suprir a lacuna de instrumentos existente, que culminavam em avaliações superficiais, podendo fornecer (a partir de agora) elementos técnicos para uma avaliação de risco hídrico integrada e específica para o segmento mínero-metalúrgico.

O guia elaborado para o plano de gestão hídrica poderá ser incorporado como ferramenta aliada ao planejamento estratégico destes empreendimentos, servindo de subsídio para a implementação de ações preventivas, de controle, mitigação e contingência hídrica.

A informatização da FARH gerou arquivo de fácil acesso e operacionalização para aplicação em todo o segmento mínero-metalúrgico do país, podendo também ser avaliada e aplicada em outros segmentos industriais, a exemplo da indústria química, têxtil, papel e celulose, automobilística, dentre outras que apresentem processos produtivos similares a processos hidrometalúrgicos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Os objetivos propostos pela tese foram alcançados e a ferramenta de avaliação de risco hídrico (FARH) desenvolvida foi visualizada como mecanismo apropriado para a utilização no âmbito do planejamento estratégico do segmento mineiro-metalúrgico.

A padronização do balanço hídrico destes empreendimentos possibilitará uma avaliação integrada da gestão do uso da água, gerando indicadores de eficiência hídrica que poderão ser correlacionadas entre diferentes operações, podendo inclusive embasar padrões para a sistematização do plano de uso da água na mineração

A aplicação da FARH poderá ser realizada para avaliar o risco de escassez hídrica em empreendimentos atualmente em operação e para avaliar critérios de gestão definidos para novos projetos do segmento, resultando em subsídio técnico para apoio na tomada de decisão e alocação de recursos.

Desta forma, o uso da ferramenta proporcionará mecanismos para a avaliação preventiva do risco hídrico, o que associado às diretrizes do guia de gestão hídrica subsidiará o estabelecimento de um plano de ação de curto, médio e longo prazo nestas operações.

A ferramenta informatizada estará disponível *on line* em banco de dados público (banco de teses da Universidade Federal Minas Gerais), o que possibilitará sua aplicação por empreendimentos da iniciativa privada, órgãos públicos e área acadêmica, podendo ser aperfeiçoada e adaptada para realidades e critérios de gestão de risco diferentes.

Questões relacionadas à contabilização da água de rebaixamento de mina, que é devolvida ao meio ambiente sem uso, poderão ser avaliadas em futuros trabalhos, no que tange a aplicabilidade de contabilização dessa retirada nos índices de disponibilidade hídrica adotados pelas agências governamentais.

REFERÊNCIAS

- AAKER, D.; KUMAR, V.; LEONE, R.; DAY, G. S. *Marketing Research*, 11th Ed., New York: John Wiley & Sons, Inc., 2011. 768p.
- ABIQUIM. Guia para elaboração do plano de contingência hídrica. Disponível em: http://www.abiquim.org.br/pdf/guia_para_plano_de_contingencia_crise_hidrica.pdf, acesso em 25/05/2016.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR ISO 31000:2009 - Gestão de riscos: Princípios e diretrizes*. Rio de Janeiro, 2009. 32p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR ISO 31010:2012 - Gestão de riscos: Técnicas para o processo de avaliação de riscos*. Rio de Janeiro, 2012. 96p.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *A gestão dos recursos hídricos e a mineração*. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2006. 334p.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *Planejamento estratégico da ANA: cartilha de orientações gerais*. Agência Nacional de Águas; Coordenação de Gestão Estratégica (CGE). Brasília: CGE, 2011. 35p.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *Encarte especial sobre a crise hídrica: conjuntura dos recursos hídricos no Brasil – Informe 2014*. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2014. 31p.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *Vantagens e desvantagens das experiências internacionais sobre mudanças climáticas e alocação de água*. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2015. 89p.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA. Disponível em <http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/estudos/sprte/w/2/2-ANA.swf>, acesso em 25/05/2016.
- AS/NZS. Standards Australia and Standards New Zealand. *AS/NZS 4360:1999 - Risk Management Standard*. Australia and New Zealand, 2004. 120p.
- AUSTRALIAN GOVERNMENT. Water Market Information. Disponível em <http://nationalwatermarket.gov.au/index.html>, acesso em 09/09/2016.
- BICHUETI, R. S.; MADRUGA, L. R. R.; GOMES, C. M.; ROSA, L. A. B. O uso da água na mineração: uma análise da produção científica internacional. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, Vol. 3, n. 2, 2014. 16p.
- BISSACOT, T. C. C; OLIVEIRA, S. M. A. C. Instrumento para o gerenciamento de riscos ambientais. *Eng Sanit Ambient*, v.21, n.2, 2016. 227-232 p.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997: *Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989*. Presidência da República: Casa Civil, 1997. 14p.
- BRASIL. Resolução CNRH nº 55, de 28 de novembro de 2005: *Estabelece diretrizes para elaboração do Plano de Utilização da Água na Mineração-PUA, conforme previsto na Resolução CNRH nº 29, de 11 de dezembro de 2002*. Ministério de Meio Ambiente: Conselho Nacional de Recursos Hídricos, 2005. 5p.

BRASIL. Resolução CNRH n° 145, de 12 de dezembro de 2012: *Estabelece diretrizes para a elaboração de Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas e dá outras providências*. Ministério de Meio Ambiente: Conselho Nacional de Recursos Hídricos, 2012. 5p.

CASE, P. *Environmental risk management and corporate lending – a global perspective*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge (England), 1999. 274p.

CERH/MG. Deliberação normativa CERH/MG n° 49, de 25 de março de 2015: *Estabelece diretrizes e critérios gerais para a definição de situação crítica de escassez hídrica e estado de restrição de uso de recursos hídricos superficiais nas porções hidrográficas no Estado de Minas Gerais*. Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 2015. 8p.

CEBDS. Conselho Empresarial Brasileiro pelo Desenvolvimento Sustentável. *Gerenciamento de riscos hídricos no brasil e o setor empresarial: desafios e oportunidades*. São Paulo: CEBDES, 2015. 56p.

CEO Water Mandate. *Driving harmonization of water stress, scarcity and risk terminology*. Discussion paper. The Global Compact, 2014. 6p.

CHALMERS, K.; GODFREY, J.; POTTER, B. Discipline-Informed Approaches to Water Accounting. *Australian Accounting Review*, n°. 62, vol. 22, 2012. 275-285 p.

CHIAVENATO, I. Planejamento estratégico, fundamentos e aplicações. Editora Campos, Rio de Janeiro, 2003. 452p.

COTE, C.; MORAN, C. A Water Accounting Framework for the Australian Minerals Industry. *Sustainable Development Indicators for the Mineral Industry*. Gold Coast, Austrália. 2009. Gold Coast, Australia. Published by the Australasian Institute of Mining and Metallurgy. Publication Series n°5, 2009. 339-350 p.

DANOUCARAS, A. N.; WOODLEY, A.; VINK, S. Corporate sustainability reporting for water : water footprint, global reporting initiative and the water accounting framework. In Agioutantis, Zach & Karmis, Michael (Eds.) *Proceedings of the 6th International Conference on Sustainable Development Indicators in the Minerals Industry (SDIMI-2013)*, Milos Island, Greece. 2013. 1-12 p.

DANOUCARAS, A. N; WOODLEY, A.P.; MORAN, C.J. The robustness of mine water accounting over a range of operating contexts and commodities. *Journal of Cleaner Production*, n°84, 2014. 727-735 p.

DUARTE, A. P. *Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco* 2008. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. 130p.

DUNJO, J.; FTHENAKISB, V.; VÍLCHEZA, J. A.; ARNALDO, J. Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review. *Journal of Hazardous Materials*, v. 173, 2010. p. 19-32.

ESPOSITO, T. J.; DUARTE, A. P. Classificação de barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos de mineração e de resíduos industriais em relação a fatores de risco. *Revista Escola de Minas, Ouro Preto*, v. 63, n. 2, 2010. 393-398p.

FONSECA, A., MCALLISTER, M. L., FITZPATRICK, P. Measuring what? A comparative anatomy of five mining sustainability frameworks. *Minerals Engineering*, n° 46-47, 2013. 180-186 p.

GARGAMA, H.; CHATURVEDI, S. K. Criticality Assessment Models for Failure Mode

- Effects and Criticality Analysis Using Fuzzy Logic. *IEEE Transactions on Reliability*, v. 60, n. 1, 2011. 102-110 p.
- GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. *Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério*. 4^o ed. São Paulo: Editora Atlas, 2012. 324p.
- GRI. *Diretrizes para relato de sustentabilidade: princípios para relato e conteúdo padrão*. Global Reporting Initiative, 2^a edição. 2015. 96p.
- GUNTHER, H. Como elaborar um questionário. Série: Planejamento de Pesquisa nas Ciências Sociais, n^o 1. Brasília, DF: UnB, Laboratório de Psicologia Ambiental, 2003. 15p.
- IBGC. Instituto Brasileiro de Governança Corporativa. *Guia de orientação para o gerenciamento de riscos corporativos*. São Paulo, 2007. 48p.
- LODHIA, S.; HESS, N. Sustainability accounting and reporting in the mining industry: current literature and directions for future research. *Journal of Cleaner Production*, n^o 84, 2014. 43-50 p.
- MORAN, C.; COTE, C.; MCINTOSH, J.; HEDEMANN, C.; SYLVERSTER, N. ACARP Project 15001 Final Report: Northern Bowen Basin Water and Salt Management Practices. Centre for Water in the Minerals Industry, Sustainable Minerals Institute, University of Queensland. 2006. 357p.
- MORTAZAVI-NAEINI, M.; KUCZERA, G.; KIEM, A. S.; CUI, L.; HENLEY, B.; BERGHOUT, B.; TURNER, E. Robust optimization to secure urban bulk water supply against extreme drought and uncertain climate change. *Environmental Modelling & Software*, n^o 69, 2015. 437-451 p.
- MUDD, G. M. Sustainability reporting and water resources: a preliminary assessment of embodied water and sustainable mining. *Mine Water Environmental*, n^o 27, 2008. 136-144 p.
- MUELLER, S. A.; CARLILE, A.; BRAS, B.; NIEMANN, T. A.; ROKOSZ, S. M.; MCKENZIE, H. L.; KIM, H. C.; WALLINGTON, T. J. Requirements for water assessment tools: An automotive industry perspective. *Water Resources and Industry*, N^o 9, 2015. 30-44 p.
- NOGUEIRA, A. C.; PERES, A. P.; CARVALHO, E. M. Avaliação do risco ambiental utilizando FMEA em um laticínio na região de Lavras – MG. *Revista Produção On Line*, v. 11, n. 1, 2011. 194-209 p.
- ORR, S.; CARTWRIGHT, A.; TICKNER, D. *Understanding water risks: a primer on the consequences of water scarcity for government and business*. WWF International, 2009. 40p.
- ORR, S.; SÁNCHEZ-NAVARRO, R.; SCHMIDT, G.; SEIZ-PUYUELO, R.; SMITH, K.; VERBERNE, J. *Assessing water risk: A Practical Approach for Financial Institutions*. WWF Germany, Berlin. 2011. 60p.
- PURDY, G. ISO 31000:2009 - Setting a New Standard for Risk Management. *Risk Analysis*, v. 30, n. 6, 2010. 881-886 p.
- PRITCHARD, P. *Environmental risk management*. Earthscan Publications Ltd, London (UK), 2000. 86p.
- SCHUMAN, H. & KALTON, G. Survey methods. *Handbook of social psychology*, v. 1, n. 3, 1985. 635-697 p.
- QUEENSLAND GOVERNMENT. Water Act 200. Disponível em <https://www.legislation.qld.gov.au/LEGISLTN/CURRENT/W/WaterA00.pdf>, 2016, acesso em 09/00/2016.

- REVENGA, C.; BRUNNER, J.; HENNINGER, N.; KASSEM, K.; PAYNE, R. *Pilot analysis of global ecosystems fresh water systems*. World Resources Institute, Washington, DC, 2000. 78p.
- SANCHEZ, L. H. *Avaliação de impacto ambiental: Conceitos e métodos – 2ª ed.* Oficina de Textos. São Paulo, 2013. 581p.
- SMI/MCA. *Water Accounting Framework for the Minerals Industry: user guide*. Sustainable Mineral Institute of the University of Queensland and Mineral Council of Australia: 2014. 58 p.
- TACHIZAWA, T.; ANDRADE, R. O. B. *Gestão Socioambiental: Estratégias na nova era da sustentabilidade*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 242p.
- TIXIER, J. A.; DUSSERRE, G. A.; SALVI, O. B.; GASTON, D. Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 15, 2002. 291–303 p.
- TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. 943p.
- TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. *Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica / Ministério do Meio Ambiente / SQA*. – Brasília: MMA, 2006. 302p.
- VERGARA, F. E. *Suporte metodológico para a gestão estratégica de conflitos relacionados ao uso dos recursos hídricos*. Tese de doutorado, Universidade de Brasília: Faculdade de Tecnologia, 2007. 279 p.
- VICK, S. G. *Planning design and analysis of tailing dams*. New York: John Wiley & Sons, 1983. 369 p.
- ZAMBRANO, T. F.; MARTINS, M. F. Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental. *Gestão Produção*, São Carlos, v. 14, n. 1, 2007. 295-309 p.
- WOODLEY, A. P.; DANOUCHARAS, A. N.; MCCOMBE, C.; KUNZ, N. C.; COLLIN, N. A robust methodological approach for mine site water accounting. *Water in Mining 2013 Proceedings*. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Brisbane, Australia. 2013. 335-342 p.
- WEF. World Economic Forum. <http://www.weforum.org/agenda/2015/01/why-world-water-crises-are-a-top-global-risk/>. 2015. Acesso em 22/02/2016.
- WWF. *Water Risk Filter: user guide*. World Wide Fund for Nature -WWF: 2014. 35p.

APENDICE I

FARH informatizada



FARH_BISSACOT_T.
C.C_2016.xlsm