UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,

MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE PARA O ACEITE DE RESÍDUOS PARA CO-PROCESSAMENTO EM FORNOS DE CLÍNQUER

Patrícia Monteiro Montenegro

Belo Horizonte

2007

Patrícia Monteiro Montenegro

ANÁLISE PARA O ACEITE DE RESÍDUOS PARA CO-PROCESSAMENTO EM FORNOS DE CLÍNQUER

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: MA2.2-Reciclagem, tratamento e disposição de resíduos sólidos industriais.

Orientador: Wilfrid Keller Shwabe

Co-orientador: Gilmar da Cunha Trivelato

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2007

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, fonte de inspiração para o meu desenvolvimento profissional e presenças constantes ao meu lado nos momentos mais importantes da minha vida.

Aos meus irmãos Luiz Cláudio e Reinaldo, que me ajudaram e incentivaram na conclusão deste trabalho.

À minha filha Laura e ao meu marido Renato Fernandes, pelo apoio neste momento que me exigiu dedicação quase que exclusiva à elaboração deste trabalho.

EPÍGRAFE

A única revolução possível é dentro de nós”

(Mahatma Gandhi)

“Quem busca a verdade, quem obdece à lei do amor, não pode estar preocupado com o amanhã”

(Mahatma Gandhi)

AGRADECIMENTOS

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração desta dissertação de mestrado.

Ao Professor Doutor Wilfrid Keller Shwabe, fonte constante de grande inspiração técnica na minha vida profissional.

Aos membros do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG pelo convívio no decorrer desta etapa e pelo apoio dado a este trabalho.

Ao Dr. Gilmar da Cunha Trivelato, da Fundacentro, pela ajuda e orientação na realização deste trabalho.

RESUMO

O co-processamento é uma tecnologia de destinação de resíduos industriais que consiste na destruição térmica a altas temperaturas em fornos de fabricação de clínquer, com aproveitamento do conteúdo energético e/ou aproveitamento da fração mineral como matéria-prima. A importância do co-processamento deve-se ao fato de que, ao se utilizarem resíduos e/ou subprodutos como combustíveis e matérias-primas para a produção de cimento, reduzem-se a quantidade de combustíveis fósseis tradicionais e a exploração mineral, assim como os impactos ambientais associados a essas atividades. No entanto, a atividade de co-processamento pode criar novos riscos para a indústria de cimento que precisam ser tratados adequadamente. O presente estudo consiste no desenvolvimento de um procedimento de avaliação de riscos cuja finalidade é a verificação de medidas de controle adicionais necessárias para auxiliar o processo de tomada de decisão para aceitação de resíduos destinados ao co-processamento, de forma que os riscos sejam devidamente controlados. O procedimento proposto segue as diretrizes da Norma Australiana de Gestão de Riscos, com foco nas substâncias químicas para as quatro principais áreas de impacto do co-processamento, a saúde e segurança do trabalhador, o meio ambiente, a qualidade do produto e o processo produtivo, com vistas a a apontar os riscos de novos resíduos ou os já existentes para os resíduos atualmente co-processados, imaginando-se o cenário atual de uma determinada fábrica de cimento. Para classificar os resíduos quanto à periculosidade, utilizou-se o Catálogo Europeu de Resíduos e a diretiva européia para classificação de misturas perigosas. Tal procedimento foi aplicado e validado para quatro exemplos de resíduos que são representativos para os tipos de co-processamento no Brasil. Os resultados mostraram que os atuais requisitos legais são muitas vezes de caráter genérico e em alguns casos insuficientes para o processo de aceitação de resíduos industriais em fornos de cimento no Brasil, o que dificulta a sua aplicação pelos técnicos das fábricas de cimento e dos órgãos ambientais. Sendo assim, a aplicação do procedimento proposto neste estudo poderá auxiliar na gestão de risco do co-processamento.

Palavras-chaves: co-processamento, resíduos industriais, avaliação de riscos, indústria de cimento.

ABSTRACT

Co-processing is one of the technologies used in the final destination of industrial waste consisting in thermal destruction at high temperatures at cement kilns, with usage of the energy content and/or of the mineral fraction as raw material. The importance of co-processing lies in that, by using waste and/or by-products as fuels or raw materials in producing cement, the volume of traditional fossil fuels and traditional raw materials is reduced, as well as the environmental impacts associated to these activities. Nonetheless, activities involved in co-processing may create new risks for the cement industry which must be suitably dealt with. This study consists in developing a risk assessment procedure for the purpose of checking the additional control measures required in helping the decision making process for acceptance of waste products for co-processing, in order to provide for adequate control of these risks. The procedure proposed complies with the Australian Risk Management Standard, focusing on chemical substances involved in the four main impact areas of co-processing, worker health and safety, the environment, product quality and production process, with a view to pointing out risks involved in new or currently co-processed waste product types, based on the current scenario found in an existing cement plant. The European Waste Catalogue and the European guideline for classification hazardous substances were used for classifying the wastes according to their hazard level . This procedure was applied and validated for the four types of waste product co-processing found in Brazil. Results show that current legal requirements are often generic in nature and in some cases insufficient for the process of acceptance of industrial waste for co-processing in cement kilns in Brazil, making it difficult for cement plant and environmental agency technicians to apply them. Therefore, applying the procedure proposed in this study may help in managing the co-processing risk.

Key words: co-processing, industrial waste, risk assessment, cement industry

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS ..... **VIII**

LISTA DE TABELAS ..... **XII~~XIII~~**

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS ..... **XIV~~XV~~**

1 INTRODUÇÃO **1**

2 OBJETIVOS **9**

2.1 OBJETIVO GERAL 9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 9

3 CONCEITOS E DEFINIÇÕES **11**

3.1 DEFINIÇÃO DE TERMOS TÉCNICOS 11
3.2 GESTÃO DE RISCO – NORMA AUSTRALIANA NA/NZS 4360:1999 14
3.2.1 Tipos de análises de risco *20*
3.3 ANÁLISE DE RISCO PARA SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS 25
3.4 SISTEMAS DE PRIORIZAÇÃO E PONTUAÇÃO DE SUSBSTÂNCIAS QUÍMICAS (CRS) 28
3.4.1 Objetivos da estrutura de priorização e pontuação de substâncias químicas *28*
3.4.2 Estrutura conceitual dos sistemas de priorização e pontuação de substâncias químicas *30*
3.4.3 O paradigma da avaliação de risco *31*
3.4.4 Estrutura genérica para o CRS *32*
3.4.5 Tipos e usos do sistema CRS *35*

4 REVISÃO DA LITERATURA **37**

4.1 ASPECTOS TÉCNICOS DO CO-PROCESSAMENTO 37
4.1.1 Processo de fabricação de cimento *37*
4.1.2 Co-processamento de resíduos industriais em fornos de cimento *41*
4.1.3 Aspectos ambientais do co-processamento *47*
4.1.4 Aspectos de saúde e segurança do trabalhador do co-processamento *52*
4.1.5 Controle de processo no co-processamento *53*
4.1.6 Qualidade do clínquer co-processado *54*
4.2 SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS 57
4.2.1 Directiva 67/548/EEC *57*
4.2.2 Directiva 88/379/EEC *58*
4.2.3 GHS (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals) *60*
4.2.4 CHIP3 (Chemicals Hazards Information and Packaging) *63*
4.2.5 A NBR 10004 ..... *66*
4.2.6 ANTT 420 ..... *68*
4.2.7 Comparação dos limites de corte: Diretiva 1999/45/EC, GHS e CHIP3 ..... *70*
4.2.8 Limitações dos sistemas de classificação de substâncias *71*
4.3 LEGISLAÇÃO APLICADA AO CO-PROCESSAMENTO 72
4.3.1 Conama 264/99 e regulamentações estaduais de co-processamento *72*
4.3.2 Normas Regulamentadoras *76*
4.3.3 NBR 11174 e NBR 12235 ..... *76*
4.4 INICIATIVA DE SUSTENTABILIDADE DO CIMENTO 76
4.4.1 Mudanças climáticas *78*
4.4.2 Uso responsável de combustíveis e matérias-primas *79*
4.4.3 Saúde e segurança dos funcionários *82*
4.4.4 Redução das emissões *83*
4.4.5 Impactos locais e nas comunidades *84*
4.4.6 Divulgação e comunicação *85*

5 MATERIAL E MÉTODOS **86**

5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO ESTUDO 86
5.2 PROCEDIMENTOS GERAIS PARA ESTIMAR O RISCO 87
5.3 CRITÉRIOS ESPECÍFICOS PARA ESTIMAR O RISCO E RESPECTIVOS PROCEDIMENTOS 93

5.3.1 Riscos à Saúde e Segurança 93
5.3.2 Riscos ao meio ambiente 100
5.3.3 Riscos à qualidade do produto 118
5.3.4 Riscos ao processo produtivo 122

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO 126

6.1 SPL MOÍDO 126
6.1.1 Descrição geral do resíduo 126
6.1.2 Avaliação de Saúde e Segurança 128
6.1.3 Avaliação de Meio Ambiente 130
6.1.4 Avaliação da Qualidade do Produto 135
6.1.5 Avaliação do Processo Produtivo 139
6.1.6 Discussão e Conclusões Parciais do SPL Moído 144
6.2 SPL GRANULADO 146
6.2.1 Descrição geral do resíduo 146
6.2.2 Avaliação de Saúde e Segurança 146
6.2.3 Avaliação de Meio Ambiente 148
6.2.4 Avaliação da Qualidade do Produto 153
6.2.5 Avaliação do Processo Produtivo 157
6.2.6 Discussão e Conclusões Parciais do SPL Granulado 161
6.3 SPL BRITADO 164
6.3.1 Descrição geral do resíduo 164
6.3.2 Avaliação de Saúde e Segurança 164
6.3.3 Avaliação de Meio Ambiente 166
6.3.4 Avaliação da Qualidade do Produto 170
6.3.5 Avaliação do Processo Produtivo 174
6.3.6 Discussão e Conclusões Parciais do SPL Britado 178
6.4 BORRA ÁCIDA 181
6.4.1 Descrição geral do resíduo 181
6.4.2 Avaliação de Saúde e Segurança 185
6.4.3 Avaliação de Meio Ambiente 189
6.4.4 Avaliação da Qualidade do Produto 191
6.4.5 Avaliação do Processo Produtivo 192
6.4.6 Discussão e Conclusões Parciais da Borra Ácida 193
6.5 BORRA DE FUNDO DE TANQUE 196
6.5.1 Descrição geral do resíduo 196
6.5.2 Avaliação de Saúde e Segurança 198
6.5.3 Avaliação de Meio Ambiente 200
6.5.4 Avaliação da Qualidade do Produto 204
6.5.5 Avaliação do Processo Produtivo 205
6.5.6 Discussão e Conclusões Parciais da Borra de fundo de tanque 206
6.6 PÓ DE ACIARIA 208
6.6.1 Descrição geral do resíduo 208
6.6.2 Avaliação de Saúde e Segurança 210
6.6.3 Avaliação de Meio Ambiente 212
6.6.4 Avaliação da Qualidade do Produto 224
6.6.5 Avaliação do Processo Produtivo 228
6.6.6 Discussão e Conclusões Parciais do Pó de aciaria 231

7 CONCLUSÕES 233

8 RECOMENDAÇÕES 238

- **REFERÊNCIAS 240**

APÊNDICES 247
Apêndice I- Influências dos principais Elemetos Minoritários e Traços na qualidade do produto e processo produtivo 247
Apêndice II- Metodologia para definição das Frases de Qualidade (Frases Q) e Frases de Processo (Frases P) 252

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Ecologia Industrial (Fonte: CSI 2005;-Modificado pela autora) 1
Figura 1.2 - Panorama Internacional do Co-processamento de Resíduos em fornos de cimento (Fonte: ABCP 2006) 3
Figura 1.3- Procedimento de aceitação de resíduos para co-processamento (situação atual). 6
Figura 3.1- Gestão de Risco . (Fonte: AS/NZS 4360, 1999) 16
Figura 3.2-Processo de gestão de risco (Fonte: AS/NZS 4360, 1999) 18
Figura 3.3- Tratamento do risco .(Fonte: AS/NZS 4360, 1999) 23
Figura 3.4- Diagrama de avaliação de risco. (Fonte: PAUMGARTTEN, 1993)..... 25
Figura 3.5-CRS e gerenciamento de risco.(Fonte: SWANSON, M. B.; SOCHA, A. C. ,1997)..... 31
Figura 3.6- Estrutura conceitual do CRS. (Fonte: SWANSON, M. B.; SOCHA, A. C. ,1997)..... 32
Figura 3.7-Estrutura genérica para o CRS. (Fonte: SWANSON, M. B.; SOCHA, A. C.,1997)..... 33
Figura 4.1- Fluxograma do processo de fabricação de cimento. (Fonte: ABCP, 2006) 37
Figura 4.2 – Circuitos de sólidos e gases no forno modelo DD Process Kobe Steel, forno com calcinador para 3000 t/d clínquer. 40
Figura 4.3 – Circuitos de sólidos e gases no forno modelo SLC FL Smidth, modelo com capacidade na faixa de 3.000-12.000 t/d clínquer..... 41
Figura 4.4 – Ciclo de vida do co-processamento..... 42
Figura 4.5 – Pontos de entrada de resíduos em fornos de cimento 45
Figura 4.6 – Resíduos industriais após receberem pré-tratamento em uma unidade de pré-tratamento de resíduos..... 46
Figura 4.7- Metodologia para avaliação de resíduos perigosos (CHIP 3- 2005)..... 66
Figura 4.8- Classificação de resíduos..... 68
Figura 4.9- Transporte de resíduos perigosos 69
Figura 5.1 – Gestão de risco..... 88
Figura 5.2- Matriz de nível de risco para análise qualitativa de risco. 91
Figura 5.3- Fluxograma para a classificação do resíduo nas categorias de gravidade (conseqüência) 95
Figura 5.4 –Fluxograma para a classificação do resíduo nas categorias de gravidade (conseqüência) para a área de impacto qualidade do produto 119
Figura 5.5 – Fluxograma para a classificação do resíduo nas categorias de gravidade (conseqüência) para a área de impacto processo produtivo. 123
Figura 6.1- Célula de Redução de Alumínio 126
Figura 6.2- Fluxograma de Injeção do SPL Moído 127
Figura 6.3- SPL Moído- Avaliação Saúde e Segurança -Risco de inalação da poeira do SPL. 129
Figura 6.4- SPL Moído- Avaliação Meio Ambiente (Avaliação geral)- Risco de toxicidade para organismos aquáticos podendo causar efeitos de longo prazo nos ambientes aquáticos. 131
Figura 6.5- SPL Moído – Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- HF. 132
Figura 6.6- SPL Moído - Avaliação Meio Ambiente (Poeira do Cimento) – Flúor 133

Figura 6.7- SPL Moído – Avaliação Meio Ambiente (Qualidade Ambiental do Cimento)- Flúor 134
Figura 6.8- SPL Moído- Avaliação Qualidade do Produto- Q4- Redução da Resistência à Compressão à idades Finais (28 dias) – Sódio 135
Figura 6.9 - SPL Moído- Avaliação Qualidade do Produto- Q5- Contribuição para a Reação Álcalis Agregado – Sódio 136
Figura 6.10 - SPL Moído- Avaliação Qualidade do Produto- Q1- Redução do Tempo de Pega - Flúor 137
Figura 6.11 - SPL Moído- Avaliação Qualidade do Produto- Q9 e Q10- Aumenta a quantidade de C2S e Reduz a quantidade de C3S - Enxofre 138
Figura 6.12 - SPL Moído- Avaliação do Processo Produtivo – P4 – Redução da Quantidade de C3S - Flúor 139
Figura 6.13 - SPL Moído- Avaliação do Processo Produtivo – P5 – Aumento da Viscosidade da Fase Líquida – Sódio 140
Figura 6.14 - SPL Moído- Avaliação do Processo Produtivo – P6 – Aumento do teor de cal livre – Sódio 141
Figura 6.15 - SPL Moído- Avaliação do Processo Produtivo – P8 – Aumento da formação de colagem - Enxofre 142
Figura 6.16 - SPL Moído- Avaliação do Processo Produtivo – P10 – Formação de Anéis no Forno - Enxofre 143
Figura 6.17 - Acondicionamento, transporte e descarregamento do SPL granulado. 146
Figura 6.18- SPL Granualdo- Avaliação Saúde e Segurança - Risco à inalação da poeira. 147
Figura 6.19- SPL Granulado - Avaliação Meio Ambiente (Avaliação geral) R51/53 149
Figura 6.20- SPL Granulado – Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- HF 150
Figura 6.21- SPL Granulado - Avaliação Meio Ambiente (Poeira do Cimento) – Flúor 151
Figura 6.22- SPL Granulado – Avaliação Meio Ambiente (Qualidade Ambiental do Cimento)- Flúor 152
Figura 6.23- SPL Granulado - Avaliação Qualidade do Produto- Q4- Redução da Resistência à Compressão à idades Finais (28 dias) – Sódio 153
Figura 6.24 - SPL Granulado - Avaliação Qualidade do Produto- Q5- Contribuição para a Reação Álcalis Agregado – Sódio 154
Figura 6.25 - SPL Granulado - Avaliação Qualidade do Produto- Q1- Redução do Tempo de Pega - Flúor 155
Figura 6.26 - SPL Granulado - Avaliação Qualidade do Produto- Q9 e Q10- Aumenta a quantidade de C2S e Reduz a quantidade de C3S - Enxofre 156
Figura 6.27 - SPL Granulado - Avaliação do Processo Produtivo – P4 – Redução da Quantidade de C3S - Flúor 157
Figura 6.28 - SPL Granulado - Avaliação do Processo Produtivo – P5 – Aumento da Viscosidade da Fase Líquida – Sódio 158
Figura 6.29 - SPL Granulado - Avaliação do Processo Produtivo – P6 – Aumento do teor de cal livre – Sódio 159
Figura 6.30 - SPL Granulado - Avaliação do Processo Produtivo – P8 – Aumento da formação de colagem - Enxofre 160
Figura 6.31 - SPL Granulado- Avaliação do Processo Produtivo – P10 – Formação de Anéis no Forno - Enxofre 161

Figura 6.32- Manuseio e descarregamento do SPL britado. 164
Figura 6.33- SPL Britado- Avaliação Saúde e Segurança - Risco de inalação da poeira de SPL. 165
Figura 6.34- SPL Britado - Avaliação Meio Ambiente (Avaliação geral) R51/53..... 166
Figura 6.35- SPL Britado – Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- HF 167
Figura 6.36- SPL Britado - Avaliação Meio Ambiente (Poeira do Cimento) – Flúor. 168
Figura 6.37- SPL Britado – Avaliação Meio Ambiente (Qualidade Ambiental do Cimento)- Flúor 169
Figura 6.38- SPL Britado - Avaliação Qualidade do Produto- Q4- Redução da Resistência à Compressão à idades Finais (28 dias) – Sódio 170
Figura 6.39 - SPL Britado - Avaliação Qualidade do Produto- Q5- Contribuição para a Reação Álcalis Agregado – Sódio 171
Figura 6.40 - SPL Britado - Avaliação Qualidade do Produto- Q1- Redução do Tempo de Pega - Flúor 172
Figura 6.41 - SPL Britado - Avaliação Qualidade do Produto- Q9 e Q10- Aumenta a quantidade de C2S e Reduz a quantidade de C3S - Enxofre 173
Figura 6.42 - SPL Britado - Avaliação do Processo Produtivo – P4 – Redução da Quantidade de C3S - Flúor 174
Figura 6.43 - SPL Britado - Avaliação do Processo Produtivo – P5 – Aumento da Viscosidade da Fase Líquida – Sódio 175
Figura 6.44 - SPL Britado - Avaliação do Processo Produtivo – P6 – Aumento do teor de cal livre – Sódio 176
Figura 6.45 - SPL Britado - Avaliação do Processo Produtivo – P8 – Aumento da formação de colagem - Enxofre 177
Figura 6.46 - SPL Britado- Avaliação do Processo Produtivo – P10 – Formação de Anéis no Forno - Enxofre 178
Figura 6.47– Fluxograma do processo de geração da borra ácida 181
Figura 6.48- Borra Ácida- Avaliação Saúde e Segurança - Risco de inalação de vapores de SO2 186
Figura 6.49- Borra Ácida- Avaliação Saúde e Segurança -Risco de provocar queimaduras 187
Figura 6.50 - Borra Ácida – Avaliação do Risco de provocar danos à saúde devido à carcinogenicidade do resíduo 188
Figura 6.51- Borra Ácida- Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmoeférica) - THC 190
Figura 6.52 – Borra Ácida - Avaliação Qualidade do Produto- Q9 e Q10- Aumenta a quantidade de C2S e Reduz a quantidade de C3S - Enxofre 191
Figura 6.53 – Borra Ácida - Avaliação do Processo Produtivo – P8 – Aumento da formação de colagem - Enxofre 192
Figura 6.54– Borra Ácida- Avaliação do Processo Produtivo – P10 – Formação de Anéis no Forno - Enxofre. 193
Figura 6.55- Borra de Fundo de Tanque- Avaliação Saúde e Segurança – Risco de danos à saúde devido à carcinogenicidade do resíduo (com base nos laudos de análises) 199
Figura 6.56- Borra de Fundo de Tanque- Avaliação Saúde e Segurança – Risco de danos à saúde devido à carcinogenicidade do resíduo (com base nos dados do catálogo de resíduos da comunidade européia) 200

Figura 6.57- Borra de Fundo de tanque- Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmoeférica) – THC (baseado nos laudos de análises) 202
Figura 6.58- Borra de Fundo de tanque- Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmoeférica) – THC (baseado nas informações do catálogo de resíduos da comunidade européia) 203
Figura 6.59 – Borra de fundo de tanque - Avaliação Qualidade do Produto- Q9 e Q10- Aumenta a quantidade de C2S e Reduz a quantidade de C3S - Enxofre 204
Figura 6.60 – Borra de fundo de tanque - Avaliação do Processo Produtivo – P8 – Aumento da formação de colagem - Enxofre 205
Figura 6.61– Borra de fundo de tanque- Avaliação do Processo Produtivo – P10 – Formação de Anéis no Forno - Enxofre. 206
Figura 6.62- SPL Moído- Avaliação Saúde e Segurança -Risco de inalação da poeira do pó de aciaria 211
Figura 6.63 – Pó de aciaria- Avaliação Meio Ambiente (Avaliação geral)- Risco de alta toxicidade para organismos aquáticos 213
Figura 6.64- Pó de aciaria – Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- Cádmio 214
Figura 6.65- Pó de aciaria – Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- Chumbo 215
Figura 6.66- Pó de aciaria – Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- Dioxinas e furanos 216
Figura 6.67- Pó de aciaria - Avaliação Meio Ambiente (Poeira do Cimento) – Chumbo 218
Figura 6.68- Pó de aciaria - Avaliação Meio Ambiente (Poeira do Cimento) – Manganês 219
Figura 6.69- Pó de aciaria - Avaliação Meio Ambiente (Poeira do Cimento) – Cromo 220
Figura 6.70- Pó de aciaria - Avaliação Meio Ambiente (qualidade ambiental do cimento) – Chumbo 221
Figura 6.71- Pó de aciaria - Avaliação Meio Ambiente (qualidade ambiental do cimento) – Manganês 222
Figura 6.72- Pó de aciaria - Avaliação Meio Ambiente (qualidade ambiental do cimento) – Cromo 223
Figura 6.73- Pó de aciaria- Avaliação Qualidade do Produto- Q18- Retarda a hidratação da pasta - Chumbo 224
Figura 6.74 – Pó de aciaria - Avaliação Qualidade do Produto- Q13- Pode afetar a cor do cimento - Manganês 225
Figura 6.75 – Pó de aciaria - Avaliação Qualidade do Produto- Q15- Redução da resistência - Zinco 226
Figura 6.76 – Pó de aciaria - Avaliação Qualidade do Produto- Q1- Redução do Tempo de Pega - Zinco 227
Figura 6.77- Pó de aciaria - Avaliação do Processo Produtivo –P15- aumenta a temperatura de fusão da fase líquida - Cobre 228
Figura 6.78- Pó de aciaria - Avaliação do Processo Produtivo –P1- aumenta a temperatura de queima – Cobre 229
Figura 6.79 - Pó de aciaria - Avaliação do Processo Produtivo –P18- em condições redutoras reduz a formação de C3S - Cobre 230

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 –Limites de corte para misturas perigosas (Diretiva 1999/45/EC)..... 60
Tabela 4.2 – Concentrações / valores *cut-off* para as classes de risco de saúde e ambientais de acordo com o GHS..... 62
Tabela 4.3 -Propriedades perigosas (Hazardous Waste Directive Annex III)..... 64
Tabela 4.4 – Comparativo entre os *cut-off* dos sistemas de classificação de substâncias (Diretiva 1999/45/EC, GHS e CHIP3)..... 70
Tabela 4.5 – Padrões de emissão de poluentes atmosféricos para a atividade de co-processamento de resíduo em fornos de cimento, regulamentados por instituições internacionais e nacionais..... 73
Tabela 4.6 – Limites máximos de poluentes estabelecidos pela CONAMA e pelas agências ambientais que possuem regulamentação específica para a atividade de co-processamento de resíduos em fornos de clínquer..... 75
Tabela 5.1 –Índices para estimativa da conseqüência ou impacto (Tabela de Conseqüências)..... 90
Tabela 5.2 – Índices de probabilidade..... 90
Tabela 5.3- Base de dados para a classificação das substâncias químicas..... 94
Tabela 5.4- Tabela de indices de conseqüências gerais - Danos à saúde humana.. 96
Tabela 5.5- Tabela de indices de conseqüências com base nas frases R e frases H (CHIP3). - Danos à saúde humana..... 96
Tabela 5.6- Índices de probabilidades da matriz de risco de saúde e segurança..... 98
Tabela 5.7- Classificação das frases R de meio ambiente nos índices de gravidade ..... 100~~101~~
Tabela 5.8- Índices de probabilidade da avaliação geral de meio ambiente..... 101
Tabela 5.9 – Índices de probabilidade da matriz de risco de meio ambiente (emissões atmosféricas)..... 106
Tabela 5.10 - VR atm para emissões atmosféricas..... 108
Tabela 5.11- Possível Influência de fontes alternativas de combustíveis e matérias-primas (resíduos) nas emissões atmosféricas do forno de clínquer..... 109
Tabela 5.12- Índices de probabilidades da matriz de risco de meio ambiente (poeira do cimento)..... 112
Tabela 5.13 - VR do cimento para a poeira do cimento..... 114
Tabela 5.14 –Índice de probabilidades da matriz de risco de meio ambiente (qualidade ambiental do cimento)..... 116
Tabela 5.15 - VR do cimento para a qualidade ambiental do cimento..... 117
Tabela 5.16 – Índice de conseqüências gerais. Danos potenciais à qualidade do produto..... 119
Tabela 5.17- Índice de conseqüências com base nas frases Q. Danos à qualidade do produto..... 120
Tabela 5.18 – Índices de probabilidades da matriz de risco de qualidade do produto 120
Tabela 5.19- VR para o cimento para qualidade do produto..... 121
Tabela 5.20 - Índices de conseqüências gerais - Danos potenciais ao processo produtivo..... 124
.Tabela 5.21 – Índices de probabilidades da matriz de risco ao processo produtivo 125
Tabela 6.1- Composição química Típica do SPL..... 127
Tabela 6.2 - Resumo das avaliações de risco do SPL moído e tratamento do risco145

Tabela 6.3 - Resumo das avaliações de risco do SPL granulado e tratamento do risco 163
Tabela 6.4 - Resumo das avaliações de risco do SPL britado e tratamento do risco 180
Tabela 6.5- Composição Típica da Borra Ácida (análise geral)..... 183
Tabela 6.6- Composição Típica da Borra Ácida (análise de metais e orgânicos).... 183
Tabela 6.7 - Resumo das avaliações de risco da Borra Ácida e tratamento do risco 195
Tabela 6.8- Composição Típica da Borra de Fundo de Tanque – Analise química geral 196
Tabela 6.9- Composição Típica da Borra de Fundo de Tanque – Analise de compostos orgânicos 197
Tabela 6.10 - Resumo das avaliações de risco da Borra de fundo de tanque e tratamento do risco (com base nos laudos de análises) 207
Tabela 6.11 - Resumo das avaliações de risco da Borra de fundo de tanque e tratamento do risco (com base nas informações do catálogo de resíduos da comunidade européia) 207
Tabela 6.12 -Composição química Típica do pó de aciaria..... 208
Tabela 6.13- Resumo das avaliações de risco do pó de aciaria e tratamento do risco 232
Tabela I-0.1- Tabela Influência dos Elementos na qualidade do produto e processo produtivo..... 248
Tabela II-0.1- Frases de Qualidade e índice de conseqüência..... 252
Tabela II-0.2 - Frases de processo e índice de conseqüência..... 253

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação brasileira de Normas Técnica

ACGIH – American Conference of Governamental Industrial Hygienists

ADE – Avaliação de dose-efeito

AE – Avaliação de exposição

AFR – Alternative fuel and raw material

ANTT – Agência Nacional de Transporte Terrestre

AR – Avaliação de risco

As – Arsênio

ASL – Approved Supply List

AS/NZS – Autralian Standard and New Zealand Standard

BaO – Óxido de bário

Be – Berílio

BTXE – Benzeno, toluene, xileno e etilbenzeno

BUWAL – Bundesamt fur Umvelt, Wald and Landschaft

(C) – Carcinogênicos

C2S – silicato dicálcico

C3S – silicato tricálcico

CAS Number – Chemical Abstract Service

Cd – cádmio

CdO – óxido de cádmio

CHIP 3 – Chemicals Hazards Information and Packaging (Regulations)

CLT – Consolidação das Leis do Trabalho

Co – Cobalto

CO – Monóxido de carbono

CO2 – Dióxido de Carbono

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CPP – Cryogenic Pulverisation Process

Cr – Cromo

Cr 6+ – Cromo hexavalente

CR – Caracterização do risco

CRS – Chemical Risk Scoring

CSI – Cement Sustainability Initiative.

CSS – Combustible solid substitute

Cu – Cobre

CuO – Óxido de cobre

DL 50 – Dose Letal

DN – Deliberação Normativa

E – Ecotoxicidade

E atm estimada – Emissão atmosférica estimada

E atm real – Emissão atmosférica realizada

EC – European Communities

EEC – Comunidade Econômica Européia

EIPPC –European Integrated Pollution Prevention and National Control Bureau (Comunidade Européia)

EPA – Environmental Protection Agency

EPI – Equipamento de proteção individual

EWC – European Waste Catalogue

F – Flúor

FBCF – Formação Bruta de Capital Fixo

FMEA – Análise de risco e efeito de falha

Frases P – Frases de Processo

Frases Q – Frases de Qualidade

Frases R – Frases de Risco

GHE – Grupo Homogêneo de Exposição

GHS – Global Harmonized System

GQ – Garantia da Qualidade

HAPs – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

HCl – ácido clorídrico

HF – ácido fluorídrico

Hg – Mércúrio

HSE – Health and Safety Executive (Reino Unido)

HWD – Hazardous Waste Directive

HWL- Hazardous Waste List

IBGE – Instituo Brasileiro de Geografia e Estatística

IN – Instrução Normativa

IP – Identificação de periculosidade

IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

ISO – International Standard Organization

K2O – Óxido de potássio

kPa – quilo Pascal

KPI´s – Key Process Indicators

kg/t – kilogramas por tonelada

LCA – Life cycle analyse

LEO – Limite de exposição ocupacional

LEO elemento – Limite de exposição ocupacional ao agente específico

LEO cimento – Limite de exposição ocupacional à poeira do cimento

(M) – Minerais

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

Mg – Magnésio

mg / kg – miligramas por quilo

mg / Nm3 – miligramas por normal metro cúbico

Mn – Manganês

Mo – Molibdênio

MP – Material Particulado

MPP – Mechanical Pulverisation Process

MT/ano – milhões de toneladas por ano

NA – Não avaliado

Na3AlF6 – Fluoreto aluminato de sódio

Na2O – Óxido de sódio

NBR – Norma Brasileira

ng TEQ / Nm3 – ng total equivalente por normal metro cúbico

NH3 – Amônia

Ni – Níquel

Nox – Óxidos de Nitrogênio

NO2 – óxido de nitrogênio

NPI – National Pollutant Inventory (Austrália)

NRs – Normas Regulamentadoras

OBS – Observação

O2 – Oxigênio

ONG´s – Organizações Não governamentais

P – Fósforo

P2O5 – Óxido de fósforo

Pb – Chumbo

PbO – óxido de chumbo

PCA – Portland Cement Association

PCB – bifenilas policloradas

PCDD – Dibenzenodioxinas policloradas

PCDF – Dibenzenofuranos policlorados

PCMSO – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional

Pd – Paládio

peso / peso – peso por peso

PF – Perda ao Fogo

pH – potencial hidrigênioiônico

PIB – Produto Interno Bruto

ppb – parte por bilhão

PPEOB – Programa de Prevenção da Exposição Ocupacional do Benzeno

ppm – parte por milhão em volume

PPRA – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais

Pt – Platina

QRA – Quantitative risk assessment

RCA –Lei de conservação e recuperação dos recursos do EPA.

Rh – Ródio

Sb – Antimônio

Se – Selênio

SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SINTEF – Fundação para a Pesquisa Científica e Industrial da Noruega

Sn – Estanho

SNIC – Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento

Sox – Óxidos de Enxofre

SO2 – Óxidos de enxofre

SO3 – Óxidos de enxofre

SPL – Spent Pot Linning. Resíduo proveniente da indústria de alumínio.

SR – Shereded Residue

SrO – Óxido de estrôncio

SSST/Mtb – Segurança e Saúde no Trabalho/ Ministério do Trabalho

T – toneladas

t/ano – toneladas por ano

TA Luft – Technische Analeitung Luft

TCLP – Toxicity Characteristic Leaching Procedure

Te – Telúrio

TEQ – Total equivalente

TEQ – Total equivalente

THC – Total Hidrocarbon Compounds

Ti – Titânio

TiO2 – Óxido de titânio

Tl – Tálio

V – Vanádio

VDZ – Verband Deutsher Zementwerke

VOC´s – Compostos Orgânicos Voláteis

Vol / Vol – volume por volume

VR – Valor de referência

VRT – Valor de referência tecnológico

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development

WtE – Waste-to-energy

Zn – Zinco

ZnO – Óxido de zinco

% – Porcentagem

< – Menor

1 INTRODUÇÃO

De modo a atender as demandas do crescimento mundial, todas as indústrias estão se tornando cada vez mais eficientes no que se refere ao uso e reuso e à reciclagem de matérias-primas, de energia e de resíduos. E a indústria de cimento não é uma exceção dentro desse contexto: classificada como consumidora intensiva de energia e outros recursos naturais, nos últimos anos, tem envidado esforços no sentido de buscar alternativas de fontes de energia e recursos naturais mais sustentáveis, uma delas o co-processamento.

Desta forma, a indústria de cimento está ativamente engajada com a Ecologia Industrial, na qual os subprodutos de uma indústria se tornam matérias-primas para outras indústrias. A figura 1.1. mostra um desenho esquemático da utilização do conceito de ecologia industrial na indústria de cimento.

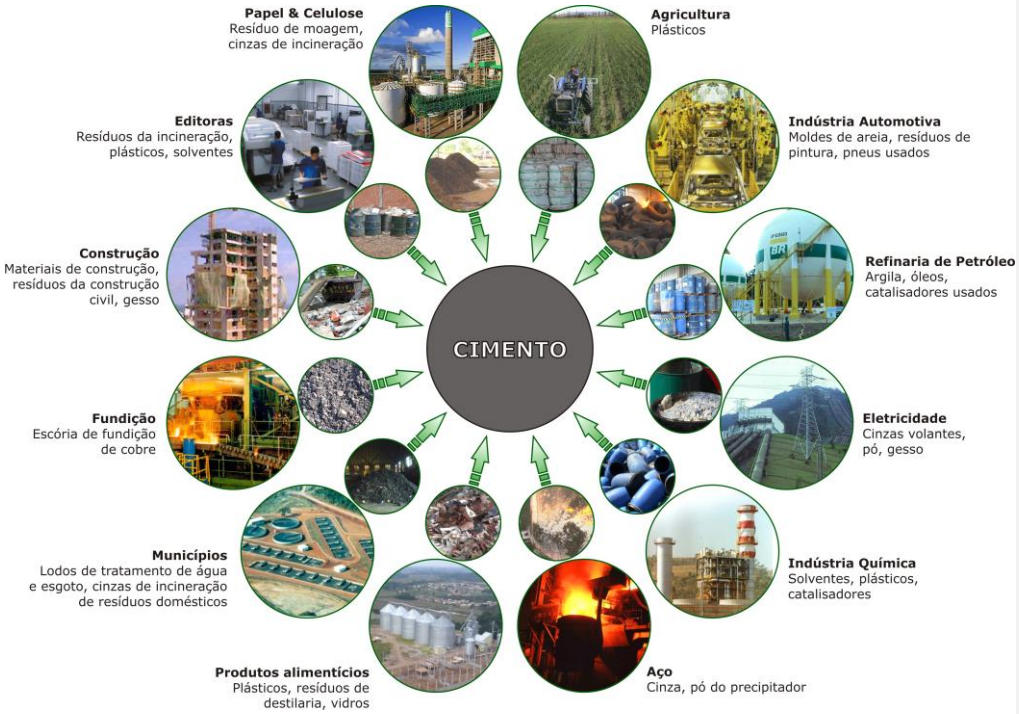


Figura 1.1- Ecologia Industrial (Fonte: CSI 2005;-Modificado pela autora)

A importância do co-processamento deve-se ao fato de que, ao se utilizarem resíduos e/ou subprodutos como combustíveis, reduzem-se a quantidade de combustíveis fósseis

tradicionais, os impactos ambientais associados à exploração, à produção, ao transporte e à queima desses combustíveis, assim como se minimiza a exploração mineral. A utilização de resíduos e/ou subprodutos em fornos de cimento diminui ainda a demanda por locais para aterros e incineradores e reduz os impactos ambientais, incluindo a poluição potencial do lençol freático, a geração de metano e de cinzas perigosas.Os fornos de cimento podem ser utilizados para recuperação de energia de diversos resíduos não-perigosos tais como pneus, biomassas, assim como de resíduos perigosos. Em alguns países (Noruega, Suíça e Japão são exemplos), os fornos de cimento têm um papel importante no gerenciamento e na disposição de resíduos perigosos (CSI, 2005).

O termo co-processamento, já consagrado no Brasil entre os setores envolvidos, expressa a integração de dois processos em um, mais especificamente a utilização da manufatura industrial de um produto a altas temperaturas em fornos, fornalhas ou caldeiras, para a destruição de resíduos industriais. No caso particular da indústria de cimento, co-processamento significa a produção de clínquer portland concomitante à queima de resíduos industriais no sistema forno (MARINGOLO, 2001).

Neste trabalho, especificamente, o co-processamento refere-se ao aproveitamento de conteúdo energético e/ou aproveitamento da fração mineral como matéria-prima na fase de clinquerização.

As primeiras experiências com a queima de resíduos em fornos de produção de clínquer portland (KIHARA, 1999) foram realizadas com sucesso na década de 70. De 1974 a 1976, a fábrica de cimento Saint Lawrence, no Canadá, fez testes para avaliar a eficiência de destruição de resíduos clorados em fornos via úmida. Na Europa, a França realizou os primeiros testes em 1978, na Ciment Français (Desvres), e no mesmo ano registraram-se experimentos também com resíduos clorados na Suécia, na fábrica Stora-Vika. Em 1979, o grupo Lafarge iniciou as atividades de co-processamento nos Estados Unidos, na fábrica de Paulding, Ohio.

Atualmente, os níveis de co-processamento no panorama mundial apresentam grandes avanços em relação ao início na década de 70.

A figura 1.2. apresenta os níveis de co-processamento praticados atualmente em nível mundial, representados pela substituição energética de combustíveis alternativos por combustíveis tradicionais.

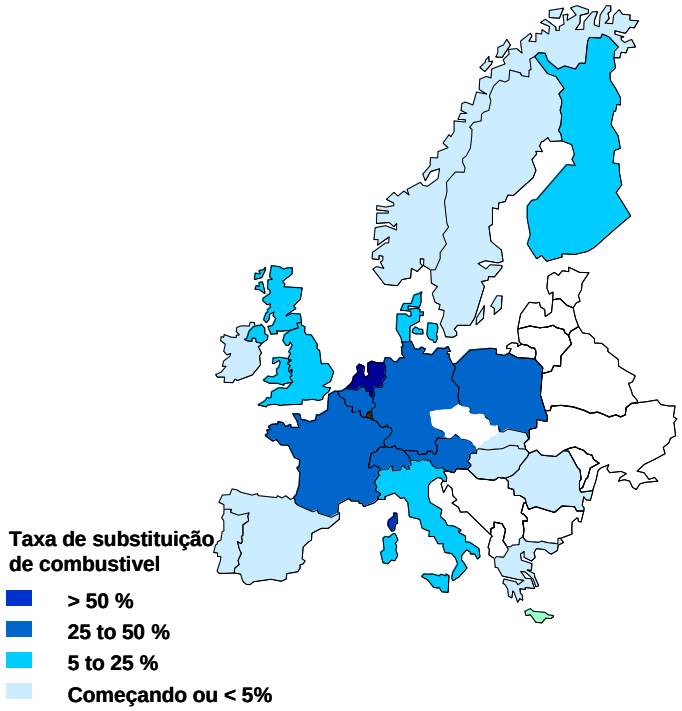


Figura 1.2 - Panorama Internacional do Co-processamento de Resíduos em fornos de cimento (Fonte: ABCP 2006)

Segundo as estimativas (ABCP, 2006), em 2005 foram co-processados na União Européia mais de 3 milhões t/ano; em 250 fábricas entre os 15 países-membros. A taxa de substituição de combustível alcançou 12%, considerando-se todas as fábricas de cimento. Na Áustria, na Bélgica, na França e na Alemanha, esse valor superou 50% de substituição. Além da substituição energética, a taxa de substituição de matérias-primas nas cimenteiras européias foi de 11,5% (36 MT/ano). Nos Estados Unidos, em 2005, registrou-se o co-processamento de 1,2 milhão t/ano de resíduos perigosos co-processados, o correspondente a 19% do consumo de energia térmica.

Esses números expressivos em alguns países devem-se principalmente à existência de programas específicos para o aumento do co-processamento de resíduos em fornos de

clínquer, dentre os quais se destacam: a disponibilização das instalações industriais para eliminação controlada de óleos contaminados com PCB na Alemanha; o Programa E2000 de redução do consumo, o qual estabeleceu o compromisso de substituir 75% de carvão e óleo por combustíveis alternativos na Suíça; a promoção da fábrica de cimento de Brevik a incinerador nacional de resíduos industriais na Noruega; o uso de materiais secundários pelas fábricas de cimento através do programa de cooperação ambiental do setor cimenteiro com o governo, que efetivou o papel do co-processamento na gestão de resíduos no Japão (ABCP, 2006).

No Brasil, as atividades de co-processamento de resíduos industriais iniciaram-se na década de 90, no Estado de São Paulo, estendendo-se posteriormente para o Rio de Janeiro, Paraná, Rio Grande do Sul e Minas Gerais (CAVALCANTI, 1996).

Já em 2006, segundo estimativas (ABCP, 2006), foram co-processados mais de 800 mil toneladas de resíduos no Brasil nas 36 fábricas atualmente licenciadas para o co-processamento. O potencial de co-processamento de resíduos industrias em fornos de cimento avaliado pela ABCP é de, aproximadamente, 1,5 milhão de t/ano, ou seja, o dobro dos valores atuais (ABCP, 2006).

O co-processamento de resíduos industriais em fornos de clínquer no Brasil é regulamentado pela CONAMA 264/1999 , que impõe valores máximos para emissão de alguns poluentes e, para que não haja risco de se ultrapassarem esses limites , exige a instalação de intertravamento que interrope a alimentação do resíduo, quando háqueda dos teores de oxigênio ou queda da temperatura normal de operação; quando a pressão interna no forno assume valores positivos; na falta de energia elétrica; quando do mau funcionamento dos monitores de CO, O2 e dos equipamentos de controle de poluição;quando a temperatura interna no precipitador eletrostático atinge valores acima de 200°C, o que pode comprometer sua eficiência de retenção de partículas (DOS SANTOS, 2003) .

A CONAMA 264/99 também estabelece que o pessoal envolvido com a operação das unidades de mistura, pré-condicionamento e co-processamento de resíduos deverá receber, periodicamente, treinamento específico com relação ao processo, ao manuseio e à utilização de resíduos, bem como sobre procedimentos para situações emergenciais e anormais durante o processo, e que os resíduos a serem recebidos pela unidade de mistura e/ou pela instalação

responsável por sua utilização sejam previamente analisados para determinação de suas propriedades físico-químicas e registro das informações relativas ao resíduo.

Na esfera estadual, Minas, Gerais, São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul possuem instruções normativas que também regulam as taxas de emissões e alguns parâmetros operacionais adicionais à CONAMA 264/1999.

Além da CONAMA 264/1999 e das regulamentações estaduais específicas fazem parte da gestão do co-processamento: a NBR 10004 (ABNT, 2004) para a classificação de resíduos, a ANIT 420 (2004) para o transporte de produtos perigosos, as NBR 11174 (ABNT, 1990) e NBR 12235 (ABNT, 1992) para o armazenamento temporário de resíduos classe II A e B e classe I, respectivamente, assim como as Normas Regulamentadoras, em especial as NR7 , NR9 e NR 15 do Ministério do Trabalho e Emprego.

Fora os requisitos legais descritos acima, os principais produtores de cimento mundial participantes da Iniciativa de Sustentabilidade do Cimento definiram e publicaram, em 2005, um manual de boas práticas para a seleção de combustíveis e matérias-primas, o *Guidelines for the selection and use of fuels and raw materials in the cement manufacturing process* (CSI, 2005), no qual está inserido o co-processamento.

A figura 1.3 apresenta um fluxograma esquemático do procedimento atual de aceitação de resíduos em fornos de clínquer no Brasil.

Processo de aceitação de fontes de resíduos para co-processamento no Brasil

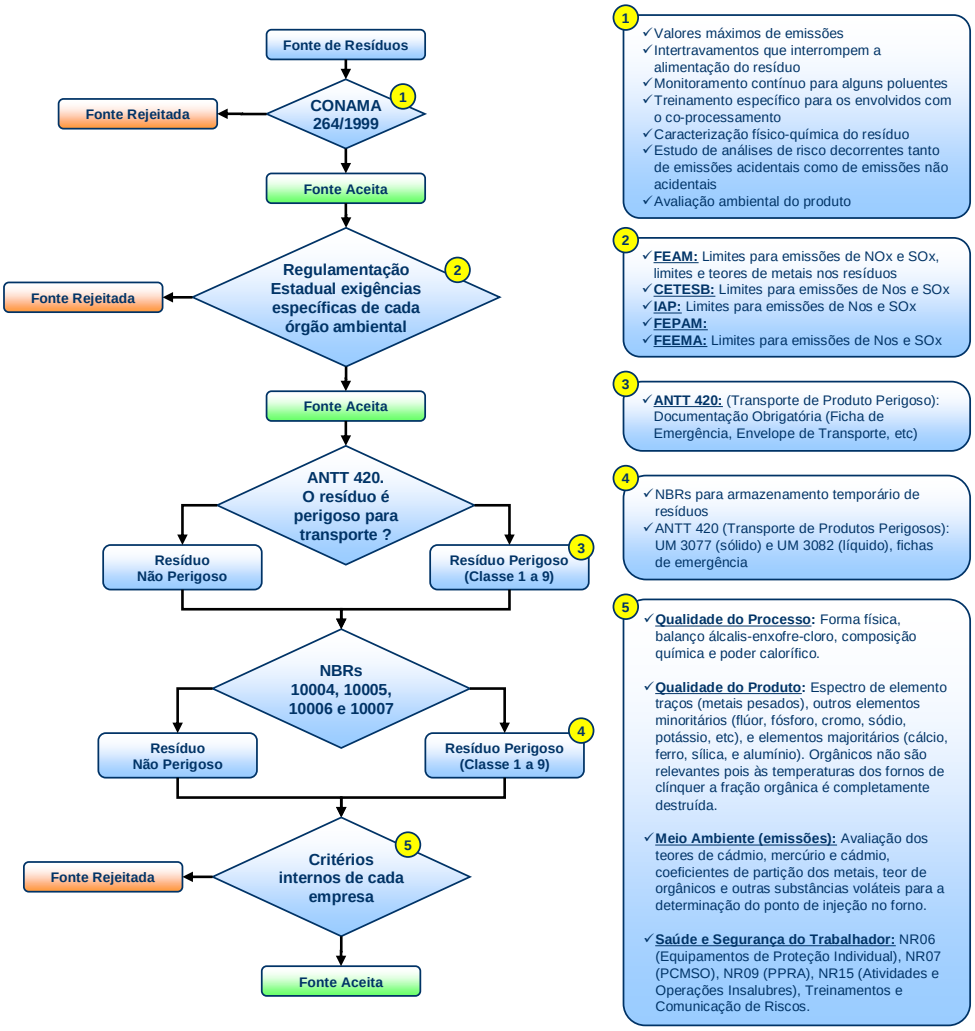


Figura 1.3- Procedimento de aceitação de resíduos para co-processamento (situação atual).

Neste trabalho será demonstrado que os requisitos legais e outros requisitos do co-processamento são muitas vezes de caráter genérico, e em alguns casos insuficientes, para o processo de aceitação de resíduos industriais em fornos de cimento no Brasil, o que dificulta a sua aplicação pelos técnicos das fábricas de cimento e dos órgãos ambientais.

O tema da pesquisa preocupa-se em analisar os requisitos legais e outros requisitos para a aceitação de resíduos para o co-processamento tanto no Brasil como no mundo, de forma a estabelecer um procedimento para a avaliação de riscos no co-processamento (análise do aceite de resíduos para o co-processamento). Deste modo, serão analisadas as quatro principais áreas de impacto do co-processamento, quais sejam: na saúde e segurança do trabalhador, no meio ambiente, na qualidade do produto e no processo produtivo para a definição do procedimento de aceitação de resíduos para o co-processamento. Para isso serão utilizados os critérios gerais da Norma Australiana de Gerenciamento de Riscos (AS/NZS 4360:1999), com foco nas substâncias químicas, para apontar os riscos de novos resíduos, imaginando-se o cenário atual de uma determinada fábrica de cimento ou os riscos já existentes para os resíduos atualmente co-processados. Como critério de corte para a classificação das substâncias químicas presentes no resíduo foi utilizadaa diretiva européia 1999/45/EC. O objetivo principal desta avaliação de risco é a verificação de medidas de controle adicionais que são necessárias para auxiliar o processo de decisão de aceitação de resíduos para o co-processamento em fornos de clínquer. Esse instrumento será aplicado e validado para quatro exemplos representativos de resíduos recebidos pelas indústrias cimenteiras do Brasil. Será dado um enfoque maior à questão da saúde e segurança, pois é onde os procedimentos de avaliação dos riscos para novos resíduos e monitoramento das exposições, na forma como são realizados na atualidade, são inadequados tecnicamente e necessitam ser reformulados com base em fundamentação teórica consistente (TRIVELATO, 2003). Para tal, o trabalho foi dividido nos capítulos exemplificados a seguir:

O capítulo 2 apresentará os objetivos gerais e específicos da pesquisa.

O capítulo 3 apresentará os principais conceitos e definições relacionados ao gerenciamento de riscos utilizados nesta dissertação.

O capítulo 4, contendo a revisão da literatura, trará informações e conclusões sobre os principais trabalhos já publicados sobre o co-processamento de resíduos em fornos de

clínquer, nas quatro características analisadas por esta pesquisa: meio ambiente, saúde e segurança do trabalhador, qualidade do produto e controle de processo. Além dos aspectos técnicos do co-processamento, este capítulo terá uma revisão sobre os sistemas de classificação de substâncias químicas, em especial a diretiva européia 1999/45/EC e os principais pontos dos requisitos legais (CONAMA 264/99), as regulamentações estaduais de co-processamento, as regulamentações internacionais do co-processamento, a ANTTT 420, a NBR 10004 e os outros requisitos, em especial os da Iniciativa de Sustentabilidade do Cimento.

O capítulo 5 definirá a metodologia empregada nesta pesquisa, alguns aspectos relevantes sobre os resíduos avaliados e os procedimentos utilizados para a avaliação dos riscos genéricos.

O capítulo 6, abordando os resultados, trará alguns exemplos de aplicação do procedimento de aceitação elaborado nesta pesquisa.

O capítulo 7, ao discutir os resultados, demonstrará que os requisitos legais e os outros requisitos atualmente utilizados na gestão do co-processamento são de caráter genérico e possuem limitações, e como esta pesquisa pode contribuir para o preenchimento das lacunas neles atualmente existentes.

O capítulo 8 trará as conclusões e as considerações finais. O leitor é convidado a perceber a importância do procedimento de análise de aceitação de resíduos para o co-processamento.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um procedimento de avaliação de riscos cuja finalidade é a verificação de medidas de controle adicionais necessárias para auxiliar o processo de tomada de decisão para aceitação de resíduos destinados ao co-processamento, de forma que os riscos sejam devidamente controlados. O procedimento proposto segue as diretrizes da Norma Australiana de Gestão de Riscos, com foco nas substâncias químicas para as quatro principais áreas de impacto do co-processamento, a saúde e segurança do trabalhador, o meio ambiente, a qualidade do produto e o processo produtivo, com vistas a a apontar os riscos de novos resíduos ou os já existentes para os resíduos atualmente co-processados, imaginando-se o cenário atual de uma determinada fábrica de cimento. Para classificar os resíduos quanto à periculosidade, utilizou-se o Catálogo Europeu de Resíduos e a diretiva européia para classificação de misturas perigosas. Tal instrumento será aplicado e validado para quatro exemplos representativos de resíduos recebidos pelas indústrias cimenteiras do Brasil, e um enfoque maior será dado à questão da saúde e segurança, pois é onde os procedimentos de avaliação dos riscos para novos resíduos e monitoramento das exposições, na forma como são realizados na atualidade, são inadequados tecnicamente e necessitam ser reformulados com base em fundamentação teórica consistente (TRIVELATO, 2003).

2.2 Objetivos específicos

Este trabalho terá como objetivos principais:

- Desenvolver uma metodologia para análise de aceite de resíduos para co-processamento levando-se em conta aspectos ambientais, de saúde e segurança, de controle do processo produtivo e de qualidade do cimento.
- Validação da metodologia proposta e avaliação da sua aplicabilidade na indústria cimenteira através do teste com quatro exemplos típicos de resíduos utilizados no co-processamento.
- Avaliar o sistema de aceite de resíduos para co-processamento em vigor no Brasil.

- Comparar o sistema de aceite de resíduos para co-processamento e a metodologia proposta.
- Demonstrar como a metodologia pode contribuir para melhoria contínua do sistema de aceite de resíduos no Brasil.

3 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

3.1 Definição de termos técnicos

Aplicam-se a esta dissertação, no que diz respeito à gestão de riscos, as definições baseadas na norma Australiana de Gestão de Riscos AS/NZS 4360:1999, quais sejam:

- **Aceitação do risco**:

Decisão informada de aceitar as conseqüências e a probabilidade de um determinado risco.

- **Análise de árvore de evento**

Técnica que descreve a possível gama e seqüência de resultados que podem decorrer de um evento iniciador.

- **Análise de árvore de falha**

Método da engenharia de sistemas para representar as combinações lógicas dos diferentes estados dos sistemas e as possíveis causas que podem contribuir para a ocorrência de um evento específico (conhecido como evento de topo).

- **Análise de modo e efeito de falha (FMEA)**

Procedimento que analisa os potenciais modos de falha em sistemas técnicos. A FMEA pode ser ampliada para incluir a execução do que é chamado de Análise de Modos, Efeitos e Criticidade de Falha (FMECA). Em uma FMECA, cada modo de falha é identificado e ranqueado de acordo com influência conjunta de sua probabilidade de ocorrência e a gravidade de suas conseqüências.

- **Análise de risco**

Uso sistemático da informação disponível para determinar a freqüência em que determinados eventos podem ocorrer e a magnitude de suas conseqüências.

- **Avaliação de risco (Risk Assessment)**

O processo geral de análise e avaliação de risco está descrito na Figura 3.1.

- **Avaliação de risco (*Risk Evaluation*)**

O processo usado para determinar as prioridades na gestão de risco através da comparação do nível de risco determinado com os padrões previamente definidos, níveis alvo de risco e outros critérios.

- **Análise de sensibilidade**

Examina como os resultados de cálculos ou modelos podem variar de acordo com as alterações feitas nas premissas subjacentes.

- **Conseqüência**

O resultado de um evento expresso qualitativamente ou quantitativamente, podendo ser um prejuízo, uma lesão, desvantagem ou lucro. Existe toda uma gama de resultados possíveis associados a um evento.

- **Controle de risco**

Parte da gestão de risco envolvendo a implementação de políticas, normas, procedimentos e alterações físicas para eliminar e minimizar os riscos negativos.

- **Custos**

Das atividades, tanto diretos quanto indiretos, envolvendo qualquer tipo de impacto negativo, incluindo financeiro, tempo, mão-de-obra, perturbação, disposição, político e outras perdas intangíveis.

- **Engenharia de risco**

A aplicação de princípios e métodos de engenharia à gestão de risco.

- **Evento**

Incidente ou situação ocorrida em local específico por um período de tempo específico.

- **Evitar risco**

Decisão informada de não se envolver em situação de risco.

- **Financiamento de risco**

Os métodos aplicados para financiar o tratamento do risco e suas conseqüências financeiras

OBS.: Em algumas indústrias, o financiamento de risco é restrito ao aspecto de financiamento das conseqüências do risco.

- **Freqüência**

Medida da taxa de ocorrência de um determinado evento expresso como número de eventos por período de tempo. Vide também Possibilidade e Probabilidade.

- **Gestão de risco**

A cultura, os processos e as estruturas direcionadas para o gerenciamento efetivo de potenciais oportunidades e efeitos adversos .

- **Identificação do risco**

O processo de determinar o que pode acontecer, por que e como. Monitorar,conferir, supervisionar, observar criticamente, ou registrar o progresso de uma atividade, ação ou sistema de modo regular, visando identificar alterações.

- **Organização**

Empresa, firma, companhia ou associação, ou outra forma de entidade jurídica ou parte desta, quer estabelecida ou não, pública ou privada, com suas próprias funções e administração.

- **Partes interessadas (*Stakeholders*)**

As pessoas e organizações que podem afetar, ser afetadas ou terem a percepção de serem afetadas por uma decisão ou atividade.

OBS.: O termo *stakeholder* pode também referir-se somente a partes interessadas conforme a definição ISO 14050:1998 e AS/NZS 180 14004:1996.

- **Perda**

Conseqüência negativa, financeira ou não.

- **Perigo (*Hazard*)**

Conte potencial de dano ou situação com potencial para gerar perdas.

- **Possibilidade**

Usado como descrição qualitativa da probabilidade ou freqüência.

- **Probabilidade**

A possibilidade de um evento específico ou resultado, medida pela razão de eventos ou resultados específicos em relação ao número total de eventos ou resultados possíveis. A probabilidade é expressa como um número entre 0 e 1, com 0 indicando a impossibilidade de ocorrer o evento ou resultado e 1 indicando a certeza de sua ocorrência.

- **Processo de gestão de risco**

A aplicação sistemática de políticas gerenciais, procedimentos e práticas às tarefas de estabelecimento de contexto, identificação, análise, avaliação, tratamento, monitoramento e comunicação de riscos.

- **Redução de risco**

Aplicação seletiva de técnicas e princípios gerenciais apropriados para reduzir a possibilidade de ocorrência de um risco ou de suas conseqüências, ou ambos.

- **Retenção do risco**

Intencionalmente ou inadvertidamente reter a responsabilidade por perda ou carga financeira dentro da organização.

- **Risco**

Achance de algo com impacto nos objetivos vir a ocorrer. É medido em termos de conseqüências e possibilidade.

- **Risco residual**

Nível de risco remanescente após a implementação das medidas de tratamento de risco.

- **Transferência de risco**

Deslocar a responsabilidade pela perda para outra parte, através de legislação, contrato, seguro ou outros meios. A transferência de risco também pode ser em referência ao risco físico ou parte deste para terceiros.

- **Tratamento de risco**

Seleção e implementação das opções apropriadas para tratar o risco.

3.2 Gestão de risco – Norma Australiana NA/NZS 4360:1999

A gestão de risco é parte integrante do processo de gerenciamento, um processo com muitos aspectos diferentes, muitas vezes mais bem executados por uma equipe multidisciplinar. É um processo interativo de melhoria continuada.

Os principais elementos do processo de gestão de risco, conforme mostrado na figura 3.1, são os seguintes:

a) Estabelecer o contexto

Estabelecer o contexto estratégico, organizacional e de gestão de risco dentro do qual o restante do processo deverá transcorrer. Os critérios que serão utilizados na avaliação de risco devem ser estabelecidos e a estrutura de análise definida.

b) Identificar os riscos

Identificar o que, por que e como podem ocorrer eventos como base para prosseguir com as análises.

c) Analisar os riscos

Determinar os controles existentes e analisar os riscos em termos de suas conseqüências e possibilidade dentro do contexto definido pelos controles. A análise deve contemplar a faixa de potenciais conseqüências e qual a probabilidade dessas conseqüências virem a se materializar. Conseqüência e probabilidade podem ser combinadas para gerar um nível estimado de risco.

d) Avaliar os riscos

Comparar os níveis estimados de risco em relação a critérios preestabelecidos . Isso permite ranquear os riscos com a finalidade de identificar as prioridades gerenciais. Se os níveis de risco estabelecidos são baixos, então os riscos podem cair em categorias consideradas aceitáveis e pode não haver necessidade de tratamento.

e) Tratar os riscos

Desenvolver e implementar plano de gestão específico em função da prioridade dos riscos. Deve ser levado em conta na definição do plano de gestão o custo-benefício da ação.

f) Monitorar e revisar

Monitorar e revisar o desempenho do sistema de gerenciamento de risco e de alterações que possam afetá-lo.

g) Comunicar e consultar

Comunicar e consultar às partes interessadas internas e externas, conforme apropriado a cada estágio do processo de gestão de risco e ao processo como um todo.

A gestão de risco é um processo de melhoria continuada que muito contribui para a melhoria da organização. A cada ciclo, os critérios de risco podem ser reforçados, deixando-se os mais severospara obter níveis progressivamente melhores de gestão de risco.

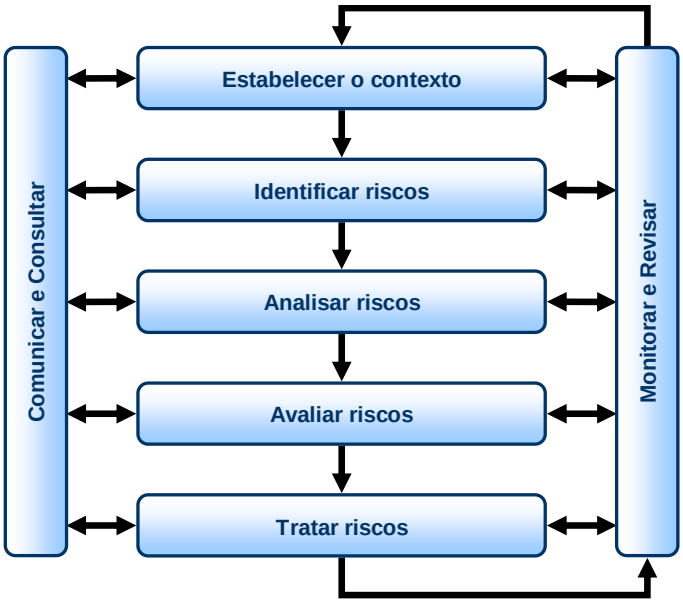


Figura 3.1- Gestão de Risco . (Fonte: AS/NZS 4360, 1999)

Os detalhes do processo de gestão de risco podem ser vistos na Figura 3.2. O processo ocorre dentro da estrutura criada pelo contexto estratégico, organizacional e de gestão de risco da organização. Isso precisa ser estabelecido para definir os parâmetros básicos dentro dos quais o risco deve ser gerido e prover orientação para as decisões dentro de estudos mais detalhados de gestão de risco – o que, por sua vez, define o escopo para o restante do processo de gestão de risco.

Devem-se identificar os *stakeholders* internos e externos, considerar seus objetivos, contemplar suas percepções e estabelecer políticas de comunicação com essas partes.

Deve ser realizada uma análise estratégica, endossada em nível executivo, que defina os parâmetros básicos e seja provida de orientação para processos mais detalhados de gestão de risco. Estes devem ter uma relação próxima com a missão da organização e seus objetivos estratégicos e o gerenciamento dos riscos aos quais está exposta.

Antes de iniciar um estudo de gestão de risco, é necessário entender a organização e sua capacidade, bem como suas metas e objetivos e as estratégias implementadas na busca de atingi-los.

As metas, os objetivos, as estratégias, o escopo e os parâmetros da atividade, ou da parte da organização à qual o processo de gestão de risco está sendo aplicado devem ser claramente estabelecidos. O processo deve ser executado com plena consideração da necessidade de equilibrar custos, benefícios e oportunidades. Os recursos necessários e os registros que deverão ser mantidos também devem ser especificados.

O desenvolvimento dos critérios de aceitação envolve decidir os critérios que serão usados para avaliar o risco. As decisões relacionadas com a aceitabilidade de riscos e o seu tratamento podem ser baseadas em critérios operacionais técnicos, financeiros, jurídicos, sociais, humanitários ou de outras naturezas. Freqüentemente, estes dependem da política interna da organização, de suas metas e objetivos e dos interesses dos *stakeholders*.

Os critérios podem ser afetados por percepções internas ou externas, bem como pelos requisitos de legislação. É importante que os critérios apropriados sejam definidos no início.

Embora sejam inicialmente desenvolvidos como parte do estabelecimento do contexto de gestão de risco, os critérios de risco ainda podem ser refinados e desenvolvidos à medida que os riscos mais específicos são identificados e as técnicas de análise de risco escolhidas, isto é, quais critérios de risco devem corresponder a quais tipos de riscos e a maneira como estes devem ser expressos.

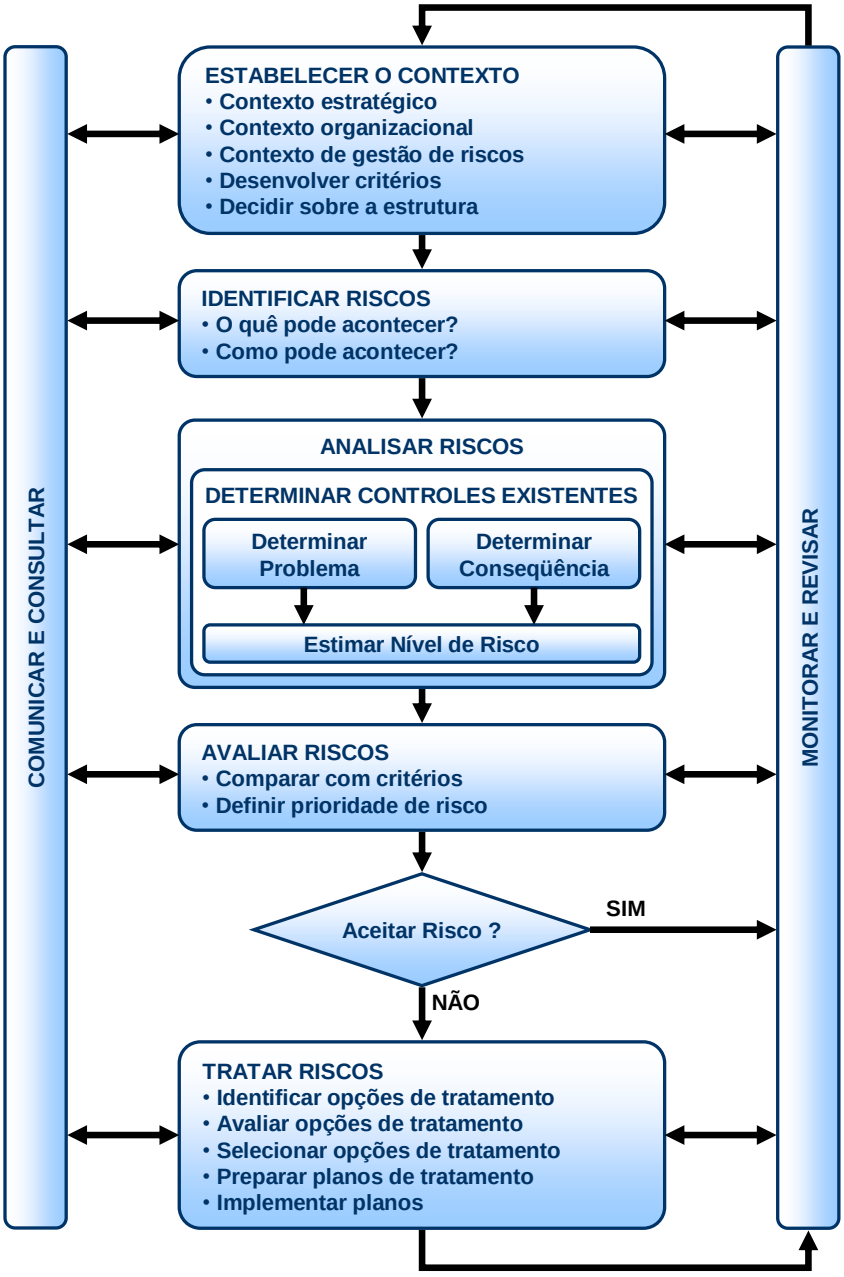


Figura 3.2-Processo de gestão de risco (Fonte: AS/NZS 4360, 1999)

A etapa de identificação dos riscos procura identificar aqueles a serem gerenciados. Fazer uma identificação abrangente, usando um processo sistemático e bem estruturado é crítico, pois um risco potencial não identificado nesse estágio não será incluído nos processos de

análise subseqüentes. O processo deve incluir todos os riscos, estejam eles ou não sob o controle da organização.

Depois de identificada a lista de eventos, é necessário considerar suas possíveis causas e cenários. Existem muitas maneiras de se iniciar um evento. É importante não omitir nenhuma causa significativa.

As abordagens usadas na identificação de riscos incluem *checklists*, julgamentos baseados em experiência e registros, fluxogramas, *brainstorming*, análises de sistemas, análises de cenários e técnicas de engenharia de sistemas. A abordagem adotada dependerá da natureza das atividades sob revisão e os tipos de risco.

Os objetivos da análise de risco são separar dos riscos pequenos e aceitáveis dos riscos maiores, assim como prover dados para auxiliar na avaliação e no tratamento destes. A análise de riscos envolve considerar as fontes de risco, suas conseqüências e a probabilidade desses eventos virem a se materializar. Fatores que afetam as conseqüências e a probabilidade podem ser identificados. Os riscos são analisados ao combinar as estimativas de conseqüências e de probabilidade dentro do contexto das medidas de controle existentes. Deve ser executada uma análise preliminar de risco de modo que os riscos semelhantes ou de baixo impacto possam ser excluídos do estudo detalhado. Riscos que forem excluídos devem, sempre que possível, ser listados de modo a demonstrar a totalidade da análise de risco.

Deve-se identificar o que existe em termos de gerenciamento, de sistemas técnicos e de procedimentos para controle de risco e avaliar seus pontos fortes e seus pontos fracos.

A magnitude das conseqüências de um evento, caso venha a se materializar, e a probabilidade do evento e suas conseqüências associadasdevem ser avaliadas à luz dos controles existentes. As conseqüências e a probabilidade são combinadas para gerar um nível de risco e podem ser determinadas por meio de análise e de cálculos estatísticos. Alternativamente, onde não houver disponibilidade de dados históricos, devem ser feitas estimativas subjetivas que reflitam o nível de certeza de alguém qualificado ou do grupo de análise de que um determinado evento virá a ocorrer.

Para evitar avaliações subjetivas, devem ser usadas as melhores fontes de informação e as melhores técnicas na análise das conseqüências e da probabilidade. Entre as fontes de informação podem-se incluir as seguintes:

a) registros históricos;

b) experiência relevante;

c) práticas e experiência da indústria;

d) literatura e publicações relevantes;

e) teste e levantamentos de marketing;

f) experiências, ensaios e protótipos;

g) modelagem econômica, de engenharia e outros modelos;

h) julgamento/parecer de especialistas e peritos.

As técnicas incluem:

i) entrevistas estruturadas com peritos na área de interesse;

ii) uso de grupos de peritos multidisciplinares;

iii) avaliações individuais através de questionários;

iv) uso de modelagem por computador e outros tipos e

v) uso de árvores de falhas e eventos.

Sempre que possível, o nível de confiança atribuído à estimativa do nível de risco deve ser incluído.

3.2.1 Tipos de análises de risco

A análise de risco pode ser executada em vários níveis de refinamento, dependendo da informação e dos dados disponíveis sobre o risco. A análise pode ser qualitativa, semi-quantitativa e quantitativa ou qualquer combinação destas, conforme as circunstâncias. A ordem de complexidade e dos custos dessas análises, em ordem ascendente, é qualitativa, semi-quantitativa e quantitativa. Na prática, as análises qualitativas são usadas freqüentemente para se obter uma primeira indicação geral da ordem do nível de risco. Mais tarde, passa a ser necessário executar análises quantitativas mais específicas. Em detalhes, os tipos de análises são os seguintes:

a) Análise qualitativa

As análises qualitativas usam palavras ou escalas descritivas para gerar descrições da magnitude das potenciais conseqüências e a probabilidade dessas conseqüências virem a se

materializar. Tais escalas podem ser adaptadas ou ajustadas para atender às circunstâncias, e diferentes descrições podem ser usadas para os diferentes riscos.

As análises qualitativas são usadas:

i) como atividade inicial de triagem para identificar os riscos que necessitam de análises mais detalhadas;

ii) onde o nível de risco não justificar o tempo e o esforço envolvidos em maiores análises; ou

iii) onde os dados numéricos são inadequados para a análise quantitativa.

b) Análise semi-quantitativa

Nas análises semi-quantitativas, as escalas qualitativas do tipo das descritas acima recebem valores. Os valores alocados a cada descrição não precisam ser relacionados com a real magnitude das conseqüências e a probabilidade. Os números podem ser combinados através de uma série de fórmulas fornecidas, desde que o sistema usado na priorização se encaixe com o sistema escolhido para atribuir valores numéricos e combiná-los. O objetivo é produzir um nível de priorização mais detalhado do que o normalmente obtido na análise qualitativa, e não sugerir valores reais para o risco, como é feito na análise quantitativa.

Deve-se tomar cuidado ao usar a análise semi-quantitativa, pois os valores usados podem não refletir adequadamente a realidade, o que pode gerar resultados inconsistentes. A análise semi-quantitativa pode não diferenciar adequadamente entre os riscos existentes, em especial onde as probabilidades ou conseqüências sejam extremas.

Algumas vezes pode ser apropriado considerar a probabilidade como sendo composta de dois elementos, normalmente definidos como a freqüência da exposição e a probabilidade.

Freqüência de exposição é o grau de existência da fonte de risco; a probabilidade, a chance de, quando a fonte de risco se materializar, as conseqüências surgirem . Deve ser tomado cuidado em situações em que a relação entre os dois elementos não seja totalmente independente, isto é, onde houver uma forte relação entre a freqüência de exposição e a probabilidade.

Essa abordagem pode ser aplicada em análises semi-quantitativa e quantitativa.

c) Análise quantitativa

A análise quantitativa usa valores numéricos (ao invés de escalas descritivas, como nas análises qualitativas e semi-quantitativas) tanto para conseqüências quanto para probabilidade, recorrendo a dados de uma série de fontes diferentes. A qualidade da análise depende da precisão e da totalidade dos valores numéricos usados.

A probabilidade é normalmente expressa como uma probabilidade, freqüência, ou uma combinação de exposição e probabilidade.

A maneira de expressar a probabilidade e as conseqüências e as maneiras de combiná-las para fornecer um nível de risco variará de acordo com o tipo de risco e o contexto dentro do qual o risco será evidenciado.

Como algumas das estimativas feitas em análises quantitativas são imprecisas, as análises de sensibilidade devem ser executadas para testar o efeito das mudanças nas premissas subjacentes e nos dados.

As avaliações de risco envolvem comparar o nível de risco encontrado durante o processo de análise com os critérios de risco previamente estabelecidos.A análise de risco e os critérios de comparação dos riscos, na avaliação de risco, devem ser considerados utilizando-se a mesma base. Assim, a avaliação quantitativa envolve comparar o nível qualitativo de risco com critérios qualitativos, e a avaliação quantitativa envolve a comparação de níveis numéricos de risco em relação a critérios que possam ser expressos com valores específicos, tais como fatalidade, freqüência ou valor monetário.

O resultado de uma avaliação de risco é uma lista priorizada de ações a serem executadas.

Se caírem nas categorias de risco baixo ou aceitável, os riscos resultantes podem ser aceitos com um mínimo de tratamento. Os riscos baixos e aceitáveis devem ser monitorados e revisados periodicamente para garantir sua permanência nessa mesma categoria. Não caindo na categoria de risco baixo ou aceitável, os riscos devem ser tratados utilizando-se uma ou mais das opções consideradas no item de tratamento dos riscos.

Tratar riscos envolve identificar uma série de opções para tratar o risco, avaliar as opções encontradas, preparar planos de tratamento de risco e implementá-los.

A Figura 3.3 ilustra o processo de tratamento de risco.

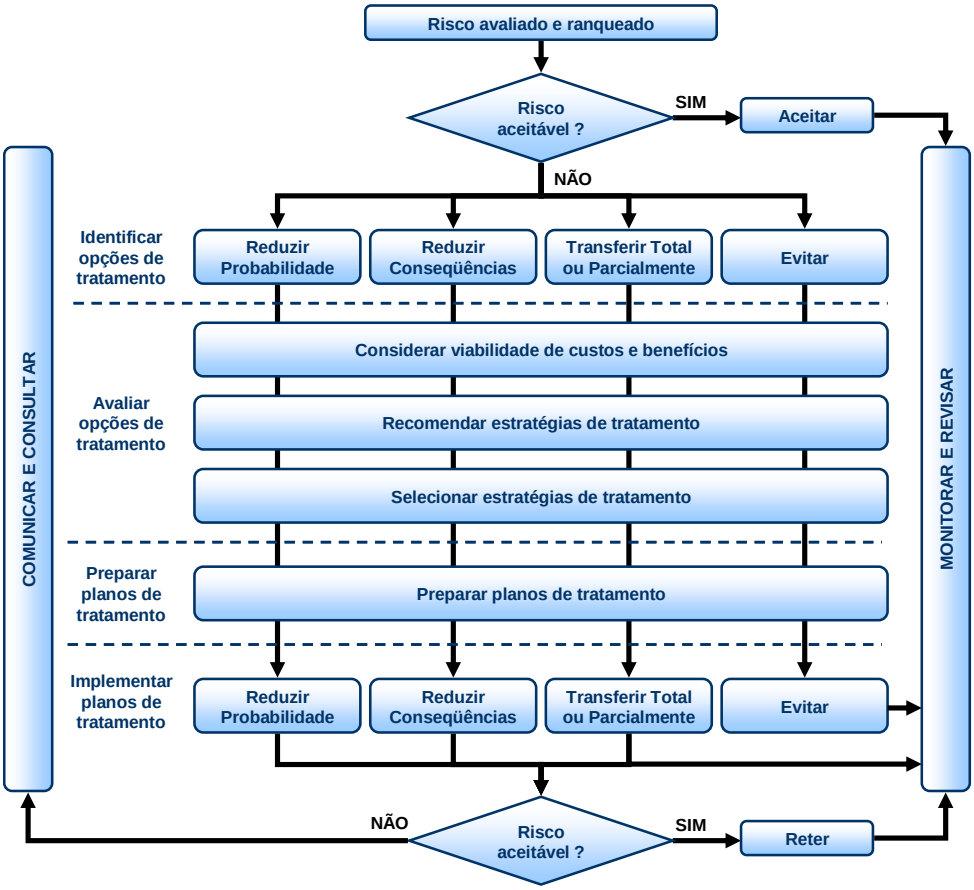


Figura 3.3- Tratamento do risco .(Fonte: AS/NZS 4360, 1999)

d) Transferir o risco

Isso envolve outra parte assumir ou dividir uma parte do risco. Para tanto, os mecanismos incluem o uso de contratos, seguros e estruturas organizacionais como parcerias e *joint ventures*.

A transferência de um risco para outras partes, ou a transferência física para outro local, reduzirá o risco na organização original, mas poderá não diminuir o risco geral para a sociedade.

Quando os riscos são transferidos total ou parcialmente, a organização que os estiver transferindo estará adquirindo novos riscos, pois a organização que o estiver assumindo poderá não gerenciá-lo adequadamente.

e) Reter o risco

Depois de reduzido ou transferido o risco, ainda assim pode sobrar o risco residual. Portanto, devem ser preparados e implementados planos para gerenciar as conseqüências desse risco, caso estas venham a se materializar, incluindo a identificação de meios para financiar o risco. O risco também podem ser retido por *default*, isto é, quando não for devidamente identificado e/ou apropriadamente transferido, ou de outro modo tratado.

Pode-se referir a redução de conseqüência e probabilidade como controle de risco. O controle de risco envolve determinar o benefício relativo de novos controles à luz da efetividade dos controles existentes. Os controles podem envolver políticas de efetividade, procedimentos ou alterações físicas.

As opções devem ser avaliadas com base na extensão da redução do risco e na extensão dos benefícios e das oportunidades adicionais criadas, levando-se em consideração os critérios desenvolvidos no item de definição dos critérios de aceitação. Para tanto, pode-se contemplar uma série de opções e aplicá-las individualmente ou em combinações.

A seleção da opção mais apropriada envolve equilibrar o custo de implementação de cada opção em relação aos benefícios que serão obtidos dessa maneira. De modo geral, o custo de gerenciar cada risco precisa ser compensado pelos benefícios obtidos.

As implementações bem-sucedidas de planos de tratamento de risco exigem sistemas de gestão efetivos que especifiquem os métodos escolhidos, que atribuam responsabilidades gerais e individuais por ações e monitorem em relação aos critérios especificados.

Se depois do tratamento ainda houver risco residual, deverá ser tomada uma decisão quanto à retenção desse risco ou repetir o processo de tratamento de risco.

Os riscos devem ser monitorados, bem como a efetividade do plano de tratamento de risco, suas estratégias e o sistema de gestão estabelecido para controlar a implementação. Os riscos e a efetividade das medidas de controle precisam ser monitorados para garantir que mudanças nas circunstâncias não venham a alterar as prioridades de risco. Poucos riscos são estáticos e não mudam com o tempo e as condições.

A comunicação e as consultas devem ser levadas em consideração em cada passo do processo de gestão de risco. É importante desenvolver um plano de comunicação para todos os *stakeholders*, tanto internos quanto externos, no estágio inicial do processo. Esse plano deve

tratar de questões relacionadas tanto com o próprio risco quanto com o respectivo processo de gestão.

3.3 Análise de risco para substâncias químicas

Segundo Paumgartten (1993) , todas as substâncias químicas podem causar efeitos adversos, dependendo da dose e das condições às quais os indivíduos a elas se expõem A toxicologia, isto é, o estudo dos efeitos danosos de substâncias químicas em organismos vivos, fornece a base de dados científicos na qual se apóia a avaliação de risco de efeitos adversos para a saúde.

A avaliação de risco (AR) é o processo de se estimar a probabilidade que um composto químico tem de vir a produzir efeitos adversos numa dada população, em determinadas condições de exposição, e consiste de quatro estágios: identificação de periculosidade (IP), avaliação da exposição (AE); avaliação da relação dose-efeito (ADE) e caracterização do risco (CR). O processo de avaliação de risco como um todo possibilita a realização da análise custo (risco)/benefício e, portanto, do gerenciamento do risco em bases racionais, sendo, assim, condição *sine qua non* para a tomada de decisões que visem o alcance do equilíbrio entre desenvolvimento econômico e adequada proteção da saúde pública e do meio ambiente.

A figura 3.4 apresenta um diagrama simplificado de avaliação de risco, , onde se destacam os quatro estágios supracitados.

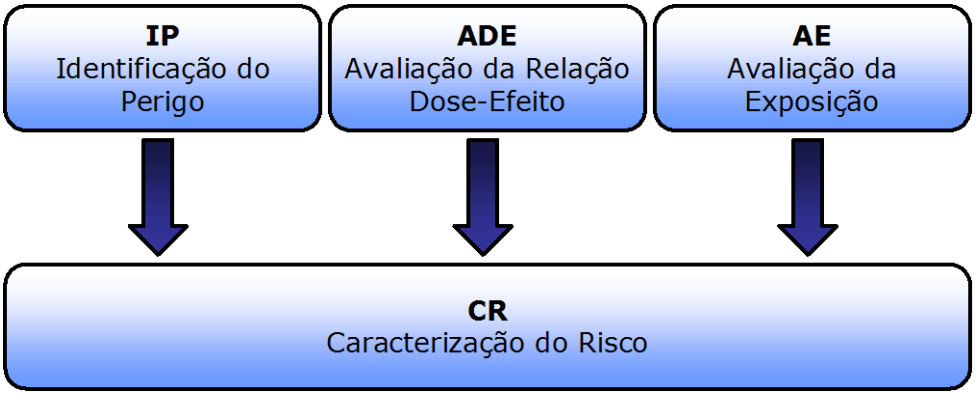


Figura 3.4- Diagrama de avaliação de risco. (Fonte: PAUMGARTTEN, 1993)

Identificação do perigo

A identificação do perigo é o primeiro estágio e está relacionado com a caracterização da natureza e das evidências de estudos de laboratório em animais ou seres humanos de causar efeitos adversos à saúde. A identificação do perigo deve fornecer a resposta à seguinte pergunta: a exposição ao agente químico causa efeito adverso à saúde?

Dados de estudos em animais e dados humanos de estudos epidemiológicos formam a base científica para a identificação de perigo da avaliação de risco.

Segundo Paumgartten (1993) , os estudos epidemiológicos se referem à real ocorrência de efeitos adversos à saúde humana, e como tal têm a vantagem de evitar a extrapolação dos estudos em animais para os efeitos à saúde humana – uma das maiores fontes de incertezas na estimativa dos riscos – e ainda, por exemplo, de serem realizados no ambiente natural humano, sob a influência de uma gama de fatores tais como consumo de álcool, cigarro, diferenças nutricionais, entre outros, os quais podem interagir com os efeitos biológicos do agente químico e podem também contribuir para a ocorrência do efeito adverso. Em estudos em animais é muito difícil, para não dizer impossível, levar em conta todas as variáveis que podem ou não ser relevantes na ocorrência de reações adversas em humanos.

Por outro lado, existe uma limitação inerente à aproximação dos estudos epidemiológicos: nunca se têm evidências de efeitos adversos à saúde humana antes da exposição humana ao agente químico. Em outras palavras, o estudo epidmiológico só pode ser realizado durante ou após a exposição. . Além do mais, existem outras duas limitações da aproximação epidemiológica na avaliação do risco: primeiro, a dificuldade de se isolar o efeito de uma única substância dos efeitos das exposições combinadas que ocorrem na vida real (por exemplo, a poluição do ar); segundo, a limitação é a ausência de dados quantitativos precisos sobre as exposições ocorridas no passado.

Avaliação da exposição

A avaliação da exposição refere-se à estimativa da quantidade de substância que é absorvida pelos seres humanos seguida de exposição (real ou antecipada) por diferentes rotas (vias de acesso). O tempo de exposição e o número de indivíduos expostos, ou prontos para serem

expostos, são parâmetros que também precisam ser levados em conta. A avaliação da exposição deve ser realizada de forma a responder à seguinte questão: quais são os níveis de exposição atualmente experimentados pelos indivíduos ou que podem ser antecipados para aqueles indivíduos, sob diferentes condições?

A tarefa de estimar qual dose de uma dada substância química pode ser absorvida por um indivíduo é bastante complexa, posto que isso envolve levar em conta todas as fontes potenciais de exposição, via água, ar, solo e alimentos. A degradação biótica e abiótica, a persistência ou acumulação no meio ambiente, a ingestão de solo contaminado e a pastagem pelo gado, a taxa de deposição de partículas, a absorção através da pele, a bioacumulação na cadeia alimentar, a farmacocinética humana e as mudanças na dieta e nos níveis de exposição ao longo da vida são apenas alguns dos fatores que precisam ser considerados, demonstrando, desta, forma, a enorme complexidade dessa tarefa.

Relação dose-efeito

Esse estágio envolve a avaliação da relação entre a dose da substância química e a incidência antecipada do efeito adverso na população exposta. Durante essa fase de avaliação do risco, a questão a ser respondida é a seguinte: qual é a relação entre a dose e a incidência da reação adversa em humanos?

Um dos aspectos mais controversos dos modelos de relação dose-efeito usados na avaliação de risco é a hipótese – aquela baseada na adoção de fatores de segurança – de que existem doses limites abaixo das quais nenhum efeito tóxico ocorre.

Caracterização do risco

A caracterização do risco sustenta-se nos três estágios anteriores e constitui a saída do processo de avaliação de risco como um todo. Os dados obtidos e analisados nos três estágios anteriores são reunidos, integrados e resumidos, e a conclusão sobre o risco de efeitos adversos é desenhada. A caracterização do risco deve fornecer informações sobre a estimativa de risco de uma forma útil e facilmente entendida pelos responsáveis pelas decisões em saúde pública. A questão geral a ser respondida nessa etapa final é: qual é a incidência

estimada de efeitos adversos à saúde em uma dada população, sob condições específicas de exposição?

3.4 Sistemas de priorização e pontuação de susbstâncias químicas (CRS)

O sistema de priorização e pontuação de substâncias químicas (Chemical Risk Scoring –CRS) é uma ferramenta que fornece informações práticas sobre a saúde humana e os fatores de risco ambientais (environmental hazard), exposição e/ou risco químico para a tomada de decisões na gestão de risco (SWANSON e SOCHA, 1997) .

O CRS pode ser utilizado para identificar e priorizar as substâncias químicas para estudos posteriores ou avaliação de risco, comparando-se substâncias químicas que podem ser utilizadas em processos industriais ou estabelecendo-se prioridades dentro das oportunidades de redução de risco.

3.4.1 Objetivos da estrutura de priorização e pontuação de substâncias químicas

O CRS tem três objetivos principais:

- Promover consistência e harmonização dentro dos métodos de CRS.
- Fornecer uma estrutura para organização e comunicação da informação.

Promover consistência e harmonização

Um dos objetivos do CSR é iniciar o processo de harmonização de um grande número de sistemas de pontuação atualmente em uso. Isso não significa que todos os sistemas devam utilizar a mesma metodologia de pontuação, mais importante do que isso é que os vários métodos utilizados sejam universalmente reconhecidos e empreguem princípios similares.

Organização e transmissão da informação

O sistema de CRS deve ser capaz de organizar e traduzir os dados de saúde das substâncias químicas, freqüentemente confusas, de forma que possa ser apresentado clara e consistentemente para o público-alvo, facilitando, assim, a comunicação sobre as substâncias químicas entre as indústrias, os governos, as universidades e o público em geral.

Existem vários elementos para se atingir a comunicação da informação: o público, os objetivos do estudo e a forma de apresentação.

Um paradoxo do CSR é que um conjunto completo de informações sobre uma substância química em particular pode ser difícil de ser encontrado; por outro lado, existem informações limitadas para diversas substâncias químicas. Antes de se decidir sobre a utilização de uma substância, uma regulamentação ou por testes posteriores das substâncias químicas, esses dados devem ser resumidos ou condensados de maneira útil e em uma linguagem de fácil entendimento, o que pode ser feito na forma de tabelas, gráficos ou outra forma visual.

A informação produzida deve ser capaz de suportar a proposta do estudo, seja o objetivo da gestão de risco, o relacionamento com a comunidade, a avaliação do impacto do ciclo de vida ou a priorização das substâncias para obtenção posterior de dados, ou a realização de outros testes. Definidos o objetivo e a posposta do estudo antes de se iniciar a coleta de dados, economiza-se tempo e assegura-se que os resultados a serem produzidos pelo sistema são comensuráveis com o objetivo e a proposta do estudo. Por exemplo, se um sistema específico de CRS é utilizado para avaliar os impactos humanos e ecológicos da liberação de substâncias tóxicas para a avaliação de ciclo de vida (LCA), os resultados deverão estar na mesma unidade do resto da avaliação do impacto, se as unidades são expressas como pontos ambientais, dólares ou risco.

Informações fornecidas para a atividade de gestão

Em geral, um sistema CRS fornece informação sobre a exposição relativa ou comparativa, o fator de risco ou risco intrínseco das substâncias químicas que ajudam na alocação de recursos. Essa informação auxilia nas decisões de gestão de riscos ou no estabelecimento de prioridades para avaliações futuras, testes ou coleta de dados adicionais.

Se o sistema CRS não diferencia adequadamente as substâncias químicas que serão pontuadas ou priorizadas, torna-se impossível utilizá-lo para o gerenciamento das decisões. Por exemplo, um sistema que prioriza substâncias químicas pelos efeitos à saúde humana e efeitos ecológicos, mas não fornece nenhum método para comparar ou combinar resultados, pode não apresentar as informações adequadas para a gestão de risco. Ao mesmo tempo, um sistema

que tem pouco refinamento e que categoriza as substâncias químicas pontuadas na mesma classe fornece ao usuário do sistema muito pouca informação útil.

A utilização dos sistemas CRS pode auxiliar no desenvolvimento de produtos mais limpos e melhorar o gerenciamento das substâncias químicas utilizadas no processo produtivo. Desta forma, governos e a iniciativa privada podem desenvolver uma lista de materiais restritos ou materiais preferenciais para guiar a escolha dos materiais mais adequados a serem utilizados no processo produtivo. Os materiais podem ser agrupados através da sua utilização e comparados entre si para a determinação daquele que possui o menor risco global para uma aplicação específica. A produção de produtos mais limpos pode ser auxiliada através da informação da pontuação das substâncias químicas para estimar o fator de risco global ou o fator de risco associado com o material na produção do produto final.

Um CRS deve apresentar o nível de confiança da priorização de modo fornecer ao usuário o nível de incerteza embutido nas decisões posteriores feitas na priorização das substâncias químicas. A incerteza associada à priorização das substâncias químicas não é demonstrada na maioria dos sistemas atualmente utilizados. Isso reflete em parte a determinação da incerteza; entretanto, a determinação e a comunicação da incerteza é um importante elemento do CRS.

3.4.2 Estrutura conceitual dos sistemas de priorização e pontuação de substâncias químicas

A estrutura conceitual do CRS descreve como o CRS está inserido na avaliação de risco químico e na gestão de risco. A figura 3.5 apresenta uma estrutura genérica aplicada a qualquer sistema de CRS.

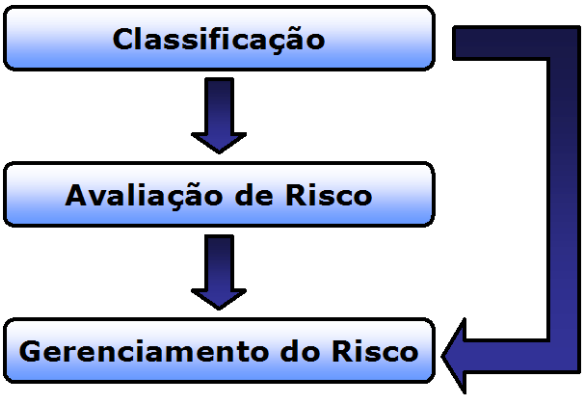


Figura 3.5-CRS e gerenciamento de risco.(Fonte: SWANSON, M. B.; SOCHA, A. C. ,1997).

O CRS fornece informações para o gerenciamento de risco direta ou indiretamente, dependendo do uso e do escopo das análises (Figura 3.5). É possível que tanto o sistema CRS interaja com a ação de gestão de risco quanto um sistema CRS identifique uma substância para a coleta de dados adicionais e/ou a avaliação de risco. O fator crítico é que o CRS é conduzido de maneira a fornecer informações relevantes e úteis para a gestão de risco ou outra decisão.

3.4.3 O paradigma da avaliação de risco

O CRS é consistente com o conceito de avaliação de risco, mas não é idêntico. É sabido que o perigo potencial de uma substância é uma função intrínseca da periculosidade e da exposição.

Assim, embora seja adequada a utilização da informação separada da exposição ou da periculosidade para alguns usos do CRS, a maioria das decisões necessitará da integração de ambas, ou seja, potencial de exposição e informação de periculosidade.

Geralmente o CRS não é considerado equivalente à avaliação de risco químico, embora, devido à grande variedade de sistemas CRS, em algumas aproximações não exista uma distinção clara entre CRS e avaliação de risco. Especialmente, pelo fato de as informações necessárias e a complexidade de diferentes aplicações de CRS poderem variar de uma forma simples ou um fator de corte único a uma avaliação de risco quantitativa (QRA). Os sistemas CRS podem empregar metodologias de QRA, por exemplo, quando a avaliação inclui a

avaliação de exposição específica do local e a avaliação do ponto final (*endpoint*) específico dos efeitos potenciais baseados nas avaliações de periculosidade e exposição.

Na maioria das vezes, poucos *endpoints* que representam os efeitos na saúde humana e no meio ambiente são avaliados com uma representação simples do potencial de exposição. Por exemplo, a toxicidade aguda nos mamíferos combinada com a carcinogenicidade, para representar os efeitos na saúde humana, e as propriedades físico-químicas, como o coeficiente de partição octano-água, para representar persistência no meio ambiente, podem ser utilizadas como uma camada de classificação simples das substâncias químicas.

O CRS geralmente é realizado em camadas, com o aumento da sofisticação dos níveis de análises e o aumento dos dados necessários movendo-se de uma camada de classificação para a próxima. A aproximação por camadas (Figura 3.6) é utilizada para classificar substâncias químicas de uma camada para a próxima, de modo a reduzir o número de substâncias para o qual existe um aumento das análises e dados adicionais.

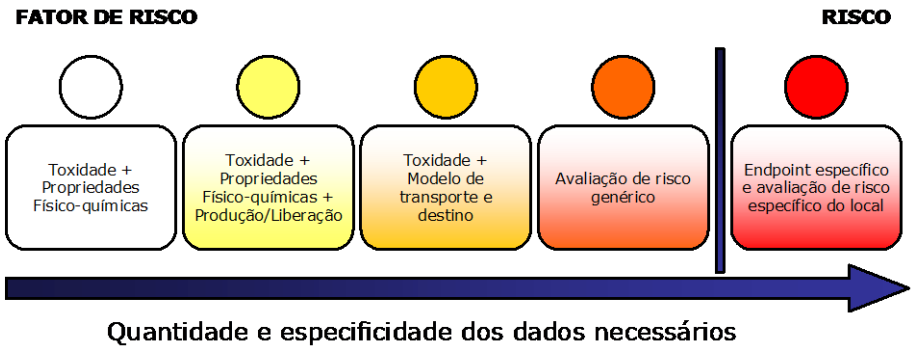


Figura 3.6- Estrutura conceitual do CRS. (Fonte: SWANSON, M. B.; SOCHA, A. C. ,1997).

O exemplo do parágrafo anterior representa uma das primeiras camadas. Um exemplo de camada no qual se exigem análises mais sofisticadas e dados adicionais seria um que combinasse vários endpoints de impactos à saúde humana e ao meio ambiente com análises de transporte e destino para cada uma das substâncias químicas, de forma a obter uma avaliação detalhada dos efeitos potenciais.

3.4.4 Estrutura genérica para o CRS

A estrutura genérica para o CRS (Figura 3.7) consiste de quatro etapas principais:

- Definição do escopo e do objetivo.
- Seleção do indicador.
- Priorização e pontuação.
- Saída e representação.

A definição do objetivo e o escopo são etapas críticas no CRS. A definição do objetivo é determinada através do objetivo da gestão de risco do processo CRS e dependerá, em parte, das conseqüências das decisões. A identificação das substâncias químicas que necessitarão de estudos adicionais precisa de um escopo e de níveis de confiança diferentes da identificação por órgãos governamentais de compostos banidos. A definição do objetivo conduz ao escopo, o qual pode ser pensado como a identificação da posição contínua do CRS para as análises. Isso inclui o ponto de partida e qualquer camada que deva ser utilizada. Além disso, é nessa etapa que se definem os métodos a serem utilizados no processo de informação. A definição do objetivo e a etapa de escopo conduzem o resto do processo de CRS, determinando quais dados serão necessários, como eles serão organizados e utilizados.

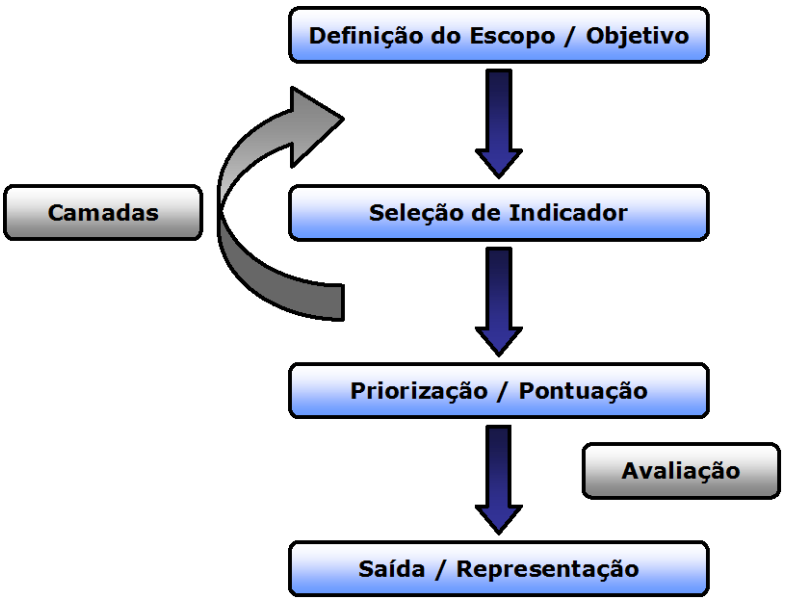


Figura 3.7-Estrutura genérica para o CRS. (Fonte: SWANSON, M. B.; SOCHA, A. C.,1997).

A seleção de um indicador envolve a identificação do tipo e a quantidade de dados necessários para o CRS em particular. Os tipos de informações toxicológicas e de exposição serão influenciados pela posição da identificação contínua na etapa do escopo. O objetivo da seleção do indicador é utilizar tipos apropriados e níveis de dados para informar de maneira adequada os gerenciadores de risco e outros que influenciam na decisão.

Na etapa da priorização e pontuação é que as análises efetivamente ocorrem. O método pelo qual os dados são utilizados para pontuar e/ou priorizar as substâncias químicas é definido como parte do estágio de definição do escopo e do objetivo. O processo deve ser simples, tal como a colocação de substâncias químicas em categorias baseadas em poucos *endpoints* ou em avaliações mais complexas que envolvam métodos de pontuação numérica e priorização.

A etapa de priorização e pontuação deve ser feita em camadas. A utilização de camadas é uma maneira de refinar as análises de modo a aumentar a eficiência e poupar recursos. Os tipos comuns de camadas reduzem o número de substâncias químicas que necessitarão de dados mais complexos e análises adicionais aplicadas a substâncias químicas. A utilização de camadas é essencialmente a avaliação gradual do risco com sucessivas etapas de análises. O tipo e o número de camadas dependem do escopo e dobjetivo do processo CRS.

A "Saída/Apresentação", na figura 3.7, refere-se à maneira na qual o resultado do CRS é colocado em uma forma útil e adequada. É importante lembrar que os usuários do sistema CRS podem diferir do analista. Isso significa que um esforço deve ser feito para fazer o processo transparente e comunicar as informações importantes ao usuário. A saída do CRS deve incluir o resultado do processo e uma descrição das considerações importantes e outros fatores – isso significando que o gerenciador do risco irá receber mais informações do que uma simples priorização ou pontuação das substâncias químicas – e conter uma descrição dos métodos utilizados nas análises, o que deve incluir fatores considerados e omitidos, a classificação e as camadas utilizadas, bem como as considerações importantes (por exemplo, como as lacunas de dados foram tratadas). As informações quantitativas adicionais devem incluir um resumo dos resultados, assim como os objetivos das análises, a análise de sensibilidade e, o mais importante, uma descrição da incerteza nas análises (as maiores fontes de incertezas e influências potenciais). Quaisquer esforços para validar os resultados devem também ser discutidos.

3.4.5 Tipos e usos do sistema CRS

3.4.5.1 Tipos de sistemas CRS

Vários tipos de sistemas CRS têm sido desenvolvidos. Os mais comuns podem ser classificados como:

- Classificação em categorias baseada em julgamentos de especialistas.
- Regras de decisão com critérios predefinidos.
- Pontuação do *endpoint* com ou sem avaliação numérica.
- Cálculos dos riscos genéricos

Dentro de cada classe existem inúmeras variações na estrutura do sistema, e muitos sistemas já existentes são, na realidade, híbridos dessas classes.

Todos esses tipos básicos de sistemas têm aplicações potenciais na priorização química, e um tipo de sistema não pode ser demonstrado como claramente superior aos outros para todos os usos. Cada sistema tem suas vantagens e desvantagens, fato que deverá ser considerado pelo desenvolvedor/usuário do sistema, antes do desenvolvimento ou utilização de um sistema em particular. Por exemplo, a pontuação do *endpoint* e o cálculo dos riscos genéricos são geralmente, mas não sempre, mais complexos e necessitam de mais dados do que a regra de decisão ou os sistemas de categorização simples. Isso porque ambos, freqüentemente, incluem mais *endpoints* e se integram em um grau mais elevado, além de também freqüentemente necessitarem de mais tempo e/ou de recursos para serem desenvolvidos e utilizados, e consenso sobre os resultados pode ser difícil de ser atingido. Além do mais, os sistemas de pontuação de *endpoints* complexos tendem a ser menos transparentes do que as regras de decisão ou os sistemas de categorização simples. A aproximação das regras de decisão permite separar as substâncias químicas em grupos com base em critérios múltiplos, sem a necessidade de agregação numérica dos diversos *endpoints*, o que ajuda na transparência desse sistema.

As aproximações através da categorização simples que incorpora os julgamentos dos especialistas podem freqüentemente ser desenvolvidas e aplicadas em tempo relativamente rápido, o que pode ser uma vantagem significativa em algumas aplicações, embora tais aproximações sofram, com freqüência, questionamentos dos resultados por

partes externas ao processo. Logo, estas são úteis para as camadas iniciais e os processos multicamadas, nos quais as decisões iniciais de priorização são confirmadas nas camadas subseqüentes.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Aspectos técnicos do co-processamento

4.1.1 Processo de fabricação de cimento

Segundo Fernandes (2006), o processo de fabricação de cimento está descrito na forma de um fluxograma esquemático na figura 4.1 :

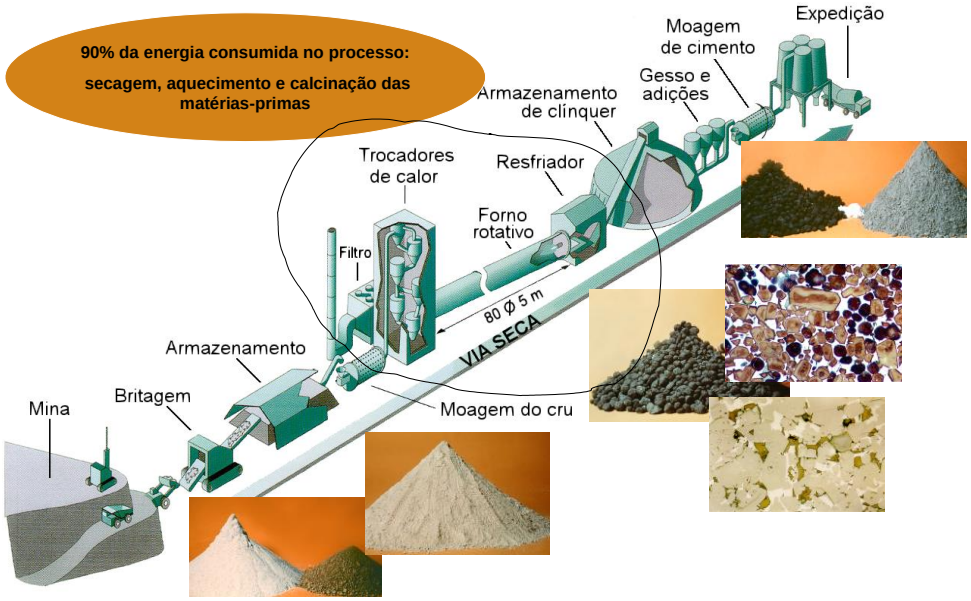


Figura 4.1- Fluxograma do processo de fabricação de cimento. (Fonte: ABCP, 2006)

1. Extração de calcário e argila em minas específicas, que em seguida são britados e estocados. Também podem ser utilizados como matéria-prima a areia, o minério de ferro, a bauxita; porém, isso nem sempre é necessário.

2. As matérias-primas são dosadas continuamente em moinhos de bolas ou verticais. Os moinhos recebem gases residuais do forno na faixa de 280 a 350°C para secar a matéria-prima dentro deles, bem como para atuar como fluido de transporte do material moído.

3. O produto do moinho é chamado de farinha, e esta é armazenada em um silo, de onde é continuamente extraída para alimentar o forno. O objetivo desse silo é também homogeinizar a farinha, reduzindo variações de propriedades químicas.

4. A farinha é alimentada ao sistema de forno de clinquerização, no topo da torre de preaquecimento, que é constituída de 4 a 6 ciclones.

5. Os ciclones da torre de preaquecimento possuem dois canais; o primeiro separa a farinha dos gases de exaustão do forno; o segundo, e mais importante, faz o preaquecimento dessa farinha com os gases em contra-corrente oriundos do forno, ou seja, atua como trocadores de calor. A eficiência desse sistema é muito alta: em cerca de 30 segundos a farinha é aquecida de 70°C (topo da torre) até 850°C (entrada do forno).

6. Cada ciclone da torre corresponde a um estágio de preaquecimento. No estágio que alimenta o forno, a temperatura da farinha é superior a 850°C e as reações de descarbonatação do calcário presente na farinha se iniciam. Em torres simples, a farinha alimenta a torre com PF de 35% e na entrada do forno atinge PF (perda ao fogo) de 20%. Já nos fornos com calcinadores, a perda ao fogo na entrada do forno é da ordem de 2%, ou seja, praticamente toda a farinha é descarbonatada na torre.

7. O calcinador pode ser classificado com sendo um leito fluidizado rápido, onde ocorre a descarbonatação da farinha em contato com os gases quentes originados da combustão dentro do calcinador. Nessa situação, cerca de 60% do combustível do forno se queimam no calcinador e os outros 40% no queimador do forno rotativo. Para isso, é necessário o ar de combustão limpo e quente (900°C) do resfriador através de um duto de ar terciário situado em posição paralela ao forno.

8. Na parte rotativa (figura 4.1), o material completa as reações de descarbonatação e inicia as reações de clinquerização com a finalidade de produzir os compostos ativos do clínquer, os quais serão responsáveis pela resistência mecânica do cimento.

9. No forno, a farinha escoa em contra-corrente com os gases quentes, e quando esta chega sob a chama inicia-se nesta região a fusão de parte dos componentes da farinha, onde cerca de 25 a 30% do material se funde, formando pelotas de 2 a 25 mm de diâmetro. A essas pelotas dá-se o nome de clínquer, e a região onde o clínquer é formado se denomina de zona de queima ou de clinquerização, a qual se localiza sob a chama, que em fornos de cimento possui comprimento de 15 a 23 m, aproximadamente..

10. O clínquer sai do forno com uma temperatura de 1250 a 1400°C, aproximadamente, e entra em resfriadores de clínquer.

11. O resfriador de clínquer tem o objetivo de resfriar o clínquer até cerca de 150°C e recuperar o calor para o ar de combustão. Esse ar recebe o nome de secundário e entra para a parte rotativa do forno. Se o forno possuir calcinador, parte do ar de combustão sai por um tubo paralelo ao tubo do forno em direção ao calcinador, como ar terciário.

12. O resfriador pode ser um leito fluidizado ou fixo, onde o ar frio percola uma camada de clínquer, fluidizando-a ou não, e assim resfriando o clínquer. O distribuidor de ar também é uma grelha transportadora que leva o clínquer para fora do resfriador.

13. O clínquer é estocado em silos específicos, que alimentam os moinhos de bolas, nos quais estas são moídas em conjunto com outros materiais (gesso, calcário, cinzas volantes, argilas pozolânicas, escórias siderúrgicas, etc.) para produzir diversos tipos de cimentos.

14. Os fornos podem queimar combustíveis líquidos, gasosos, resíduos pastosos e até pneus inteiros, mas, de forma clássica, no Brasil, atualmente o combustível principal é o coque de petróleo, que é moído até a faixa granulométrica adequada.

15. O eletrofiltro, responsável pelo abatimento da emissão de material particulado, é mostrado na figura 4.1.

As figuras 4.2 e 4.3 mostram os circuitos de sólidos e gases dentro da torre ciclônica, do calcinador, do forno e do resfriador.

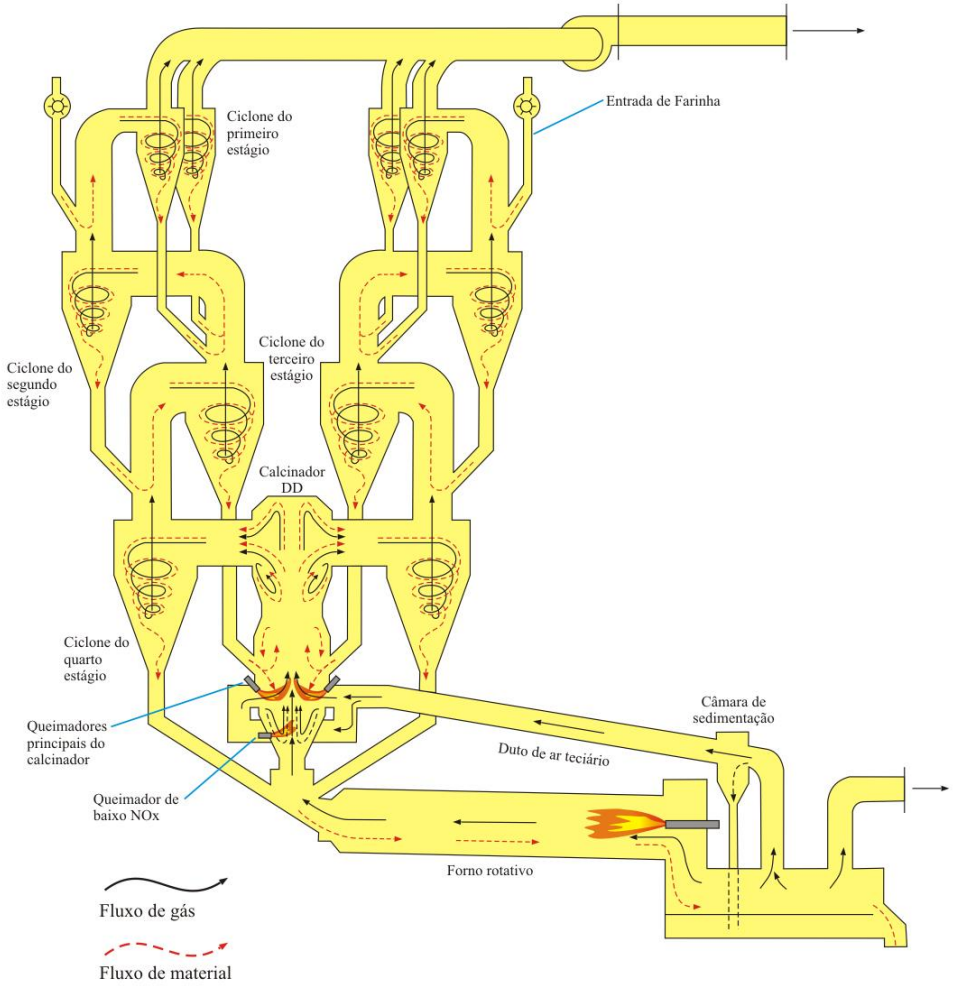


Figura 4.2 – Circuitos de sólidos e gases no forno modelo DD Process Kobe Steel, forno com calcinador para 3000 t/d clínquer.

(Fonte: Kobe Steel, 2004)

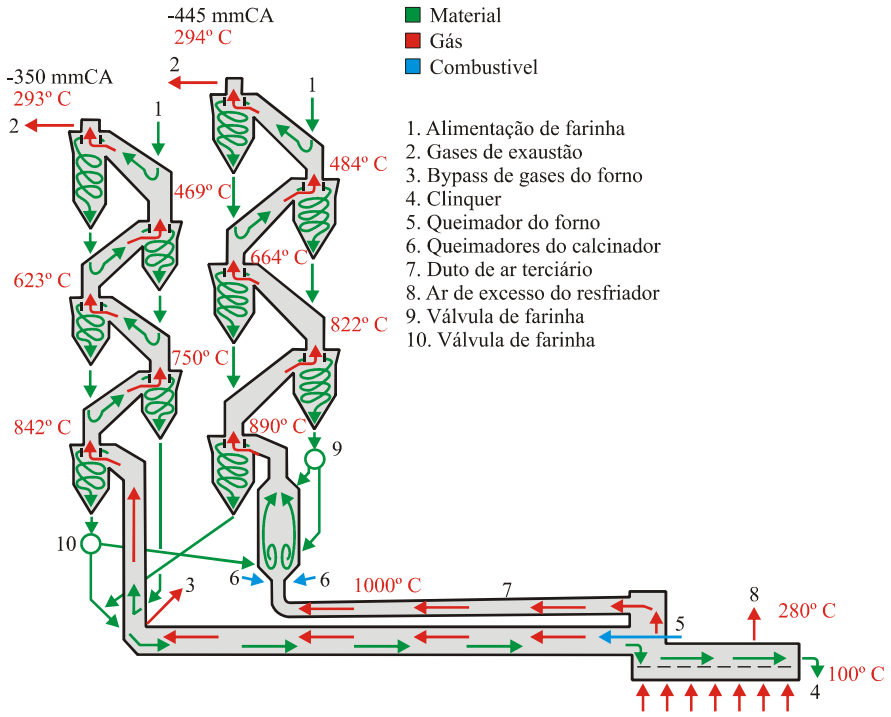


Figura 4.3 – Circuitos de sólidos e gases no forno modelo SLC FL Smidth, modelo com capacidade na faixa de 3.000-12.000 t/d clínquer.

(Fonte: FL Smidth, 2004)

4.1.2 Co-processamento de resíduos industriais em fornos de cimento

Nesta seção será apresentada toda a cadeia do processo de co-processamento, assim como dos detalhes desse processo dentro e fora da fábrica de cimento, de forma a elucidar os conceitos e as rotas de exposição humana aos materiais e poluentes dele decorrentes.

Segundo Sevá- Filho e Santi (2003), o sistema pode ser representado por cinco fases:

I) geração do resíduo;

II) transporte do resíduo da fonte geradora até a fábrica de cimento ou unidade de pré-tratamento ou mistura;

III) preparação da mistura de resíduos (*blends*);

IV) fabricação e despacho do cimento;

V) utilização do cimento.

A proposta da autora desta pesquisa considerou a proposta de Sevá-Filho e Santi (2003) de forma expandida. Conforme apresentado na figura 4.4, o volume considerado será a retirada do resíduo do gerador até a destinação final do resíduo da construção civil (RCC).

Figura 4.4 – Ciclo de vida do co-processamento.

O co-processamento, nas nove etapas propostas, dá-se conforme o exposto a seguir.

Na primeira etapa – acondicionamento do resíduo no gerador e carregamento do resíduo - ocorrem algumas operações que podem gerar particulados atmosféricos no caso de resíduos sólidos pulverulentos, compostos orgânicos voláteis, entre outros poluentes atmosféricos, dependendo da natureza do resíduo. No que diz respeito à contaminação do solo ou dos corpos hídricos, isso somente aconteceria em caso de derramamento ou vazamento da carga durante o acondicionamento ou carregamento do resíduo no gerador. Nessa etapa, o potencial de danos dos resíduos à saúde e à segurança dos trabalhadores está diretamente ligado à natureza do resíduo manuseado. A forma de acondicionamento dos resíduos no gerador que

envolve armazenamento temporário, locais onde é realizado o acondicionamento e tipo de embalagem utilizada para o acondicionamento do resíduo é fundamental para a avaliação dos possíveis riscos desta etapa.

Na segunda etapa – transporte do resíduo do gerador à planta – o risco de maior relevância é o acidente envolvendo caminhões que transportam o resíduo. É importante, portanto, que existam mecanismos para atendimento de emergência eficientes, de modo a minimizar as conseqüências em caso de um possível acidente. As rotas estabelecidas pelo órgão ambiental é um outro fator importante a ser seguido durante o transporte de resíduos. A Forma e condições do transporte do resíduo: condições do caminhão, qualificação da transportadora e caminhoneiros , atendimento aos requisitos estabelecidos na ANTT420, etc.

Na terceira etapa – amostragem e descarregamento de resíduos diretos e blendados – a pessoa que irá fazer a amostragem deve ter conhecimento das substâncias químicas de relevância para a área de saúde e segurança, de forma que as medidas preventivas sejam adotadas. Dentro da fábrica de cimento ou na planta de blendagem, essa pessoa e a pessoa que reali~~z~~za a análise do resíduo são as primeiras a terem contato com o resíduo antes das etapas subseqüentes. A Forma e condições de descarregamento do resíduo nas plantas de blendagem ou cimenteiras assim com as formas e condições de armazenamento temporário do resíduo antes do seu manuesio e injeção nos fornos de clínquer

Na quarta etapa – manuseio do resíduo através de diversas operações unitárias: mistura, britagem, picagem e peneiramento – é que ocorre a exposição do trabalhador que diretamente manuseia o resíduo, portanto, uma etapa que deve ser rigorasamente avaliada por ser a mais crítica. Nessa etapa são fundamentais para o controle dos impactos ambientais: o armazenamento adequado do resíduo, segundo os critérios estabelecidos nas NBR's para os tipos de estocagem em função da classe do resíduo estabelecido na NBR 10004; a existência de controles e monitoramentos dos efluentes líquidos e da água subterrânea, assim como a coleta de amostras de solo para verificar possíveis contaminações. A forma e condições nas quais são realizadas as oeprações unitárias supracitadas é fundamental para a avaliação dos possíveis riscos desta etapa.

Segundo Trivelato (2003), os possíveis fatores de risco químico referentes à etapa de preparação da mistura de resíduos (*blends*) e de alimentação do forno de clínquer são os seguintes:

- Todos os resíduos manipulados ou processados, tanto na unidade de blendagem como na fábrica de cimento, têm o potencial de entrar em contato com a pele ou atingir os olhos acidentalmente.
- Alguns resíduos liberam gases ou vapores potencialmente tóxicos ou nocivos. Por isso, todas as operações envolvendo a manipulação de resíduos – coleta de amostras, limpeza de derramamentos, misturas de resíduos, etc. – criam uma situação de inalação desses gases ou vapores, no mínimo, de curta duração. A manipulação de resíduos sólidos ou pastosos emite gases ou vapores durante toda a operação de blendagem, podendo criar situações de exposição repetida ou de longa duração a esses contaminantes atmosféricos. Alguns gases ou vapores que possuem baixo limiar de odor estão presentes em baixíssimas concentrações, mas suficientes para serem detectadas pelo olfato e causar sensação desagradável ou de desconforto, ou ainda sintomas não específicos como náuseas e dores de cabeça.
- Todos os resíduos sólidos secos em pó, quando manuseados ou armazenados sob a ação do vento, têm o potencial de gerar poeiras cuja composição qualitativa é a mesma do resíduo.
- Todos os resíduos sólidos, secos ou pastosos, em pó ou não, quando triturados, também geram particulados cuja composição é aproximadamente a mesma do resíduo.
- O manuseio de *blends* sólidos pode gerar particulados atmosféricos (poeiras) cuja composição é aproximadamente a mesma do *blend*, e que pode também gerar gases ou vapores se na mistura estiver presente algum resíduo que, quando misturado, libera esses gases e vapores. Considerando-se que houve a diluição desse resíduo no *blend*, a taxa de emissão é menor do que a do resíduo não misturado.

Na quinta etapa – transporte da mistura de resíduos aos pontos de armazenagem e/ou pontos de injeção de resíduos – algumas operações podem gerar particulados atmosféricos no caso de resíduos sólidos pulverulentos, compostos orgânicos voláteis, entre outros poluentes atmosféricos, dependendo da natureza do resíduo. No que diz respeito à contaminação do solo ou dos corpos hídricos, isso somente aconteceria em caso de derramamento ou vazamento da carga durante o carregamento do resíduo ao ponto de injeção. As rotas definidas entre a planta de blendagem e a cimenteira devem ser estabelecidas de tal forma que, em caso de acidente, este não represente um risco significativo

A sexta etapa – destruição térmica dos resíduos – representa o co-processamento em si, ou seja, é quando ocorre a destruição térmica da parte orgânica e a incorporação das cinzas no clínquer. Nessa etapa é fundamental um controle rígido das emissões de poluentes na chaminé do forno de clínquer e o controle da incorporação dos metais na estrutura cristalina do clínquer.

Um dos fatores mais importantes da etapa seis – a destruição térmica dos resíduos – refere-se ao ponto de injeção dos resíduos no forno de clínquer, uma vez que interfere diretamente nos impactos ambientais das emissões atmosféricas da chaminé do forno de clínquer.

Os pontos típicos de injeção de resíduos nas indústrias de cimento estão apresentados na forma de um fluxograma esquemático da figura 4.5:

Figura 4.5 – Pontos de entrada de resíduos em fornos de cimento

Os resíduos recebidos na cimenteira para co-processamento podem ser injetados diretamente no forno ou podem sofrer algum tipo de tratamento ou blendagem antes de sua injeção no forno, o que será denominado, nesta pesquisa, de resíduos diretos e resíduos blendados, respectivamente.

Os resíduos diretos que possuem características similares às matérias-primas tradicionais da indústria de cimento - os que possuem alguns dos principais óxidos, alumínio, cálcio, silício

ou ferro – são alimentados junto às matérias-primas. Tais resíduos não podem conter componentes orgânicos que possam ser liberados durante a injeção da farinha na torre de ciclones.

Algumas indústrias cimenteiras adicionam a parte orgânica do SPL ou carvão de criolita na moagem de combustível tradicional. O importante desse ponto de alimentação é que os resíduos não podem ter componentes que possam ser volatilizados a temperaturas típicas de moagem de combustível principal (o gás quente entra a uns 300^{o}C e sai a uns 100^{o}C).

Os pneus inteiros e os pneus picados são alimentados na caixa de fumaça e no pré-calcinador, respectivamente.

Os resíduos com características pastosas são alimentados na caixa de fumaça através de uma bomba *putzmesiter* (bomba tipo bomba de concreto).

Através do maçarico principal do forno podem ser alimentados resíduos líquidos ou sólidos pulverizados (CSS) que possuam conteúdo energético adequado para serem empregados como combustível alternativo.

A produção da mistura de resíduos geralmente é realizada por uma planta de pré-tratamento de resíduos, na qual os resíduos *in natura* são transformados em uma mistura de resíduos finamente divididos através de operações de mistura, britagem, picagem e peneiramento. A figura 4.6. apresenta um exemplo de mistura de resíduos pré-tratados com granulometria em torno de 10 μm.

Figura 4.6 – Resíduos industriais após receberem pré-tratamento em uma unidade de pré-tratamento de resíduos.

Na sétima etapa – utilização do cimento *portland* – a qualidade do produto, em termos de propriedades físicas, ambientais e de saúde e segurança do produto, é consequência da etapa anterior. O balanço de massa realizado na etapa seis para o co-processamento do resíduo, assim como a verificação da qualidade ambiental do produto através de ensaios específicos garantem a qualidade do produto.

Na oitava etapa – cimento *portland* aplicado nas construções – o item mais importante refere-se às propriedades físicas e ambientais, que, como na sétima etapa, são conseqüência da sexta etapa. O balanço de massa realizado na etapa seis para o co-processamento do resíduo, assim como a verificação da qualidade ambiental do produto através de ensaios específicos garantem a qualidade do produto. Os ensaios de solubilização no corpo de prova da argamassa representam a avaliação mais coerente dessa etapa.

A reutilização e reciclagem dos resíduos da nona etapa – fim de vida das construções: disposição dos resíduos da construção civil – é uma tendência tanto na indústria da construção como na indústria cimenteira. Na cidade de Belo Horizonte existe um exemplo bastante interessante do reaproveitamento de resíduos da construção civil pela Prefeitura Municipal (SILVA e BRITO, 2006)..

Enfim, cada uma dessas etapas possui riscos a elas associados, os quais devem estar dentro de uma faixa aceitável de risco, de forma que a utilização de combustíveis e matérias-primas alternativas – que é uma necessidade cada vez maior da indústria de cimento como forma de reduzir a utilização de matérias-primas não renováveis (combustíveis fósseis e matérias-primas provenientes da mineração) – contribua para o desenvolvimento sustentável da indústria cimenteira através da melhoria contínua dos seus procedimentos para a seleção de combustíveis e matérias-primas.

4.1.3 Aspectos ambientais do co-processamento

A análise dos dados de um caso real feita por dos Santos (2003) na unidade industrial da Holcim do Brasil, localizada no município de Pedro Leopoldo/MG, mostrou que as emissões atmosféricas do forno de co-processamento de resíduos, durante o período monitorado, não ultrapassaram os limites máximos de emissão de poluentes, ficando sempre abaixo dos limites impostos pelo órgão ambiental local. Exceção feita aos óxidos de nitrogênio que, dadas as características intrínsecas do processo, apresentaram taxas de emissão sempre na fronteira do

limite legal. A análise do co-processamento de resíduos sólidos industriais em fornos de cimento pode ser considerada como uma forma de destinação final adequada para esse tipo de resíduo, por não alterar significativamente o perfil dos poluentes atmosféricos emitidos pelo processo quando comparado com o perfil das emissões do mesmo forno na produção de clínquer sem co-processar resíduos industriais. A atividade de co-processamento ainda auxilia na minimização do volume de resíduos industriais que são dispostos no ambiente e na conservação dos recursos naturais, por reciclar o conteúdo energético e os materiais presentes no resíduo co-processado, reintroduzindo-o na cadeia produtiva.

Prisciandaro, Mazziotti e Veglio (2003), apresentaram uma ferramenta estatística que pode ser aplicada na análise de processo de dados reais de uma fábrica de cimento – como, por exemplo, no processo de produção de clínquer através da utilização de combustíveis alternativos (pneus picados e óleos usados) em fornos de cimento de duas fábricas de cimento. A estatística de t de Student , os modelos de regressão linear e os fatores de análises foram utilizados na análise de dados para avaliar o efeito nas emissões atmosféricas da chaminé, devido à alimentação desses combustíveis alternativos. Além do mais, uma grande melhoria no conhecimento do processo foi obtida pela análise estatística dos dados processados, os quais freqüentemente sofrem uma interação interna entre as variáveis do processo sob investigação. Os resultados experimentais estatisticamente analisados têm-se mostrado encorajadores: em até 20% dos casos de substituição de combustível regular por combustível alternativo, as características do clínquer, em particular, não foram modificadas e as emissões da chaminé (NO_x, SO_2 e CO principalmente) foram, no caso do uso de pneus, aumentadas levemente, mas permaneceram praticamente abaixo dos limites legais. No caso do uso de óleos usados, as emissões foram diminuidas. Algumas equações empíricas para relacionar as emissões da chaminé com alguns dados do processo foram também obtidas para utilização com fins de controle do processo.

Segundo Abad *et al*. (2004), a adição de pneus inservíveis ou de farinha animal não tem efeito sobre os níveis de emissão de dioxinas e furanos. O objetivo desse estudo foi avaliar a influência da utilização de resíduos tais como pneus e farinha animal como combustível secundário, durante a produção de clínquer nos níveis de emissão de PCDD e PCDF na atmosfera. Para tanto, foram avaliadas três fábricas de cimento na Espanha, onde foi conduzido o projeto. Os diferentes resíduos foram analisados separadamente em cada fábrica:

na primeira incluiu-se a utilização de farinha animal no forno, na segunda utilizaram-se pneus inservíveis, na terceira utilizou-se uma mistura dos dois. Em todos os casos, os valores de emissões de dioxinas e furanos permaneceram abaixo dos limites estabelecidos pela diretiva da União Européia de 0,1 ng I-TEQ/Nm3, com valores variando entre 0,001 a 0,0042 ng I-TEQ/Nm3. Nenhuma diferença significativa foi encontrada nessas fábricas em relação aos dados obtidos de outras fábricas de cimento que utilizam combustíveis tradicionais.

Navia *et al*. (2006) apresentaram a análise de ciclo de vida para a utilização de solo contaminado como matéria-prima alternativa na indústria de cimento. Solos vulcânicos podem ser utilizados para remover metais de águas contaminadas, e uma vez utilizados são dispostos em aterros. A utilização desse material na indústria de cimento como uma matéria-prima alternativa foi avaliada utilizando-se a metodologia de análise de ciclo de vida – uma possibilidade estudada do ponto de vista ambiental em uma fábrica do Chile, que possui o estado da arte em termos de fabricação de cimento, incluindo análises técnicas e financeiras. Dois cenários foram comparados: o cenário 1, que correponde ao processo de produção de cimento sem co-processamento, e o cenário 2, que representa o co-processamento do solo contaminado. Com exceção das categorias dos carcinogênicos (C) e dos minerais (M), os resultados comparativos foram favoráveis ao cenário 2, especialmente no que se refere à categoria de ecotoxicidade (E), por terem sido evitadas emissões mediante o aterro do solo contaminado. Além do mais, análises de sensibilidade foram realizadas para estudar a influência de parâmetros particulares (por exemplo, o transporte do solo contaminado, as emissões de CO_2 do processo de clinquerização e a lixiviação de metais pesados do solo contaminado) sobre os resultados da avaliação. A utilização de matérias-primas alternativas (no caso, o solo contaminado, que apresenta a vantagem de ser um resíduo de outros sistemas) permite o desenvolvimento da produção de cimento de maneira mais sustentável, melhorando os aspectos econômicos do processo. O solo contaminado pode ser tratado com custo zero para a planta de tratamento de água, cujo resultado é uma economia de 0,23 euros para cada tonelada de clínquer produzido. O gerenciamento completo para o solo contaminado irá fomentar sua utilização como absorvente mineral nas estações de tratamentos de efluentes.

Boughton e Horvath (2006) utilizaram a análise de ciclo de vida para a avaliação ambiental de resíduos picados da indústria automobilística através de três processos de destinação de resíduos, um deles o co-processamento em fornos de clínquer. A reciclagem de metais da

indústria automobilística, de ferramentas e sucatas de aço ocorre em operações de picotagem dedicadas. O resíduo picotado (SR) consiste de vidro, borracha, plástico, fibras, resíduos e outros pedaços menores que permanecem após a remoção de metais ferrosos e não ferrosos. Os mais de 3 milhões de SR gerados nos Estados Unidos a cada ano são enviados para aterro. As alternativas de recuperação de material ou de energia, ao invés da utilização de aterros, podem ser benéficas por causa da conservação dos recursos não-renováveis e da redução da disposição de resíduos. Nesse estudo, a saúde humana, os impactos ambientais gerados pelo aterro dos resíduos e três opções de recuperação (recuperação de energia e de matéria-prima na indústria cimenteira, hidrólises a óleo combustível leve e recuperação de material para reciclagem) foram quantificados e caracterizados por meio da metodologia de análise de ciclo de vida, e as comparações realizadas após a caracterização das emissões relativas às categorias potenciais de impacto de aquecimento global, de toxicidade aquática, de acidificação, de eutrofização, de toxicidade humana, de criação de oxidação fotoquímica e de ecotoxicidade terrestre. A recuperação de SR na indústria cimenteira pode representar a conservação de 1 milhão de toneladas de carvão por ano nos Estados Unidos. Comparada com o aterro, a recuperação de combustíveis e matérias-primas na indústria de cimento fornece benefícios líquidos para todas as características ambientais avaliadas, principalmente por se evitarem a extração de carvão e os impactos do aterro, na medida em que 750.000 toneladas de materiais recicláveis podem ser recuperado do SR. O sistema de recuperação de materiais foi muito sensível aos requisitos do processo energético, assim como as consideraçãoes sobre a porcentagem de recuperação e o tipo específico de material recuperado. A hidrólise do SR poderia produzir 250 milhões de galões de óleo combustível leve equivalente por ano. O processo de hidrólise requer uma quantidade significativa de eletricidade, mas os impactos são de certa forma contra-balanceados pelos impactos evitados na produção de combustíveis através de fontes de petróleo brutas. Primeiramente, devido ao alto consumo de eletricidade, os cenários de hidrólises e de recuperação de material e energia apresentaram alguns ganhos (alguns benefícios líquidos e alguns impactos líquidos elevados) quando comparados com o aterro. Os resultados dessa análise de ciclo de vida mostraram que a prática corrente de aterro na indústria de cimento, como substituitvo de matéria-prima e energia, foi ambientalmente benéfica, e que esta parece ser melhor do que os outros métodos de gerenciamento de resíduos estudados.

Corti e Lombardi (2004) utilizaram a análise de ciclo de vida para avaliação ambiental da disposição de pneus, de modo a comparar diferentes processos de destinação de pneus inservíveis: a combustão em processos convencionais de destruição energética (WtE); a substituição do combustível tradicional no processo de produção de cimento e duas hipóteses diferentes de utilização como material de enchimento, baseadas no processo de pulverização criogênica (CPP) e no processo de pulverização mecânica (MPP). As análises mostraram que a substituição de combustível na produção de cimento e a utilização nos processos convencionais de destruição térmica apresentaram um resultado interessante em termos de efeitos evitados, principalmente pela não-utilização de combustíveis convencionais. Entre essas duas alternativas, um resultado melhor foi obtido com a substituição do combustível no processo de cimento. Os processos de CPP e MPP para reutilização como material de enchimento apresentaram os piores resultados em termos de impactos ambientais em relação a outras alternativas, em função do alto consumo de energia relacionado ao processo de pulverização.

Josa *et al*. (2004) fizeram um inventário de análise de ciclo de vida das indústrias de cimento da Comunidade Européia – inventário este que é um pré-requisito para as análises de ciclo de vida (LCA). O estudo apresentou uma análise comparativa dos inventários de diferentes tipos de cimento produzidos na Europa. Foi considerada a produção de 1 kg de cimento do berço ao túmulo, e todos os resultados foram baseados nessa unidade de massa. A confiabilidade do inventário do cimento foi afetada pela incerteza ou não da representatividade dos dados, e as análises comparativas foram dificultadas devido à variação do volume de controle dos sistemas. Somente as quatros principais emissões (CO_2, NO_x, SO_2 e material particulado) foram consideradas. Os modelos teóricos utilizados fornecem uma estimativa razoável dos níveis de emissão, e por essa razão podem servir como referência para os valores medidos. No caso do CO_2, essa é definitivamente uma alternativa aplicável a medições *in situ*.

Houillon e Jolliet (2005), através da análise de cinco cenários para o tratamento do lodo de uma estação de tratamento de água para 300.000 habitantes - utilização na agricultura, incineração por leito fluidizado, oxidação a úmido, co-processamento em fornos de cimento e aterro – concluíram que, em termos de aquecimento global, o co-processamento em fornos de cimento apresentou o melhor balanço, enquanto o aterro e a utilização na agricultura apresentaram as piores pontuações.

De acordo com as conclusões apresentadas acima, os principais pontos que se referem aos aspectos ambientais do co-processamento de resíduos em fornos de clínquer se resumem em: (1) o perfil dos poluentes atmosféricos emitidos pelo processo, quando comparado com o perfil das emissões do mesmo forno na produção de clínquer sem o co-processamento de resíduos industriais, não foi alterado significativamente; (2) na análise do ciclo de vida da produção de cimento com e sem co-processamento, à exceção das categorias dos carcinogênicos (C) e dos minerais (M), os resultados comparativos são favoráveis ao co-processamento, (3) os resultados dessa análise de ciclo de vida mostraram que a prática de co-processamento na indústria de cimento como substituitvo de matéria-prima e energia foi ambientalmente benéfica, e que esta parece ser melhor do que os outros métodos de gerenciamento de resíduos estudados para a destinação de pneus inservíveis.

4.1.4 Aspectos de saúde e segurança do trabalhador do co-processamento

Segundo Trivelato (2003), a análise dos resultados do estudo em uma fábrica de cimento permite afirmar que, se considerada a variabilidade do processo produtivo, os procedimentos de avaliação dos riscos para novos resíduos e monitoramento das exposições, na forma em que são realizados na atualidade, são inadequados tecnicamente e necessitam ser reformulados com base em fundamentação teórica consistente.

No que se refere à legislação de proteção da saúde dos trabalhadores e da população em geral, Trivelato (2003) afirmou que é importante destacar as prescrições contidas na Lei Orgânica da Saúde Nº. 8.080/90. Na Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), as normas regulamentadoras (NR) da Portaria 3214/78, do Ministério do Trabalho, detalham e complementam as exigências estabelecidas no capítulo V da CLT, estabelecendo os parâmetros fundamentais para a proteção da saúde dos trabalhadores. Entretanto, não existe uma norma regulamentadora específica para a atividade de co-processamento de resíduos, e a variabilidade intrínseca ao processo produtivo dificulta a adaptação das normas existentes.

Em suma, o fato de não existir literatura disponível que trate desses aspectos constitui uma das motivações para a realização deste trabalho com foco na saúde e segurança.

4.1.5 Controle de processo no co-processamento

Segundo Guo e Eckert (1996), foram considerados os dados de um teste de equilíbrio medidos no forno e analisados as saídas dos metais nas emissões da chaminé, pó de retorno e o clínquer com base em tais dados foi elaborado equações para predizer todas as três saídas de metais a qualquer taxa de resíduos perigosos e sob condições estacionárias. Através das análises de dois estados estacionários, no início e no fim do teste de equilíbrio, essencialmente, as mesmas taxas dos metais foram encontradas no pó de retorno nas concentrações altas e baixas de metais. Aplicando-se as mesmas distribuições nas equações derivadas, as concentrações dos metais do pó de retorno foram preditas quando o forno não estava utilizando combustíveis alternativos perigosos. As concentrações medidas de arsênio, berílio, cádmio, cromo e chumbo no pó de retorno descartado, a altas taxas de alimentação de resíduos no forno, foram 68, 10, 72, 18 e 68 vezes aquelas preditas para taxas de alimentação sem resíduos perigosos.A situação intermediária do segmento não estacionário também foi analisada. Se a hipótese é de não acúmulo dos metais no forno, as concentrações de metais na fase intermediária no clínquer são muito maiores do que aquelas encontradas no estado estacionário.

Um estudo realizado por Kaante *et al.* (2004) mostrou a dependência do ar de combustão e o consumo energético do processo. Com base na ferramenta utilizada relação entre o consumo energético e a variação da mistura de combustível pode ser avaliada. Os custos energéticos e os padrões ambientais têm levado os produtores de cimento a avaliar a substituição de combustíveis convencionais por combustíveis alternativos. No estudo em questão, de maneira a selecionar um combustível alternativo, a ferramenta ASPEN PLUS foi utilizada em um forno de 4 estágios de 2900 t/dia, no qual se empregava o coque de petróleo como combustível tradicional. Como objetivo tinha-se otimizar o controle de processo e o consumo de combustível alternativo, mantendo-se a qualidade do clínquer. Foram então realizadas simulações, nas quais se variava a quantidade de combustíveis alternativos e os comparava aos casos de referência.

Segundo um estudo realizado por Guo (1997), os padrões de potabiliade da água podem ser excedidos quando se utiliza cimento com chumbo de solubilidade maior do que 70 ppb e cromo de solubilidade maior do que 540 ppb. Nesse estudo, um modelo matemático de lixiviação foi desenvolvido para avaliar o aumento potencial do chumbo e do cromo na água

em tubulações de cimento, e para tal foram considerados o processo inicial de umedecimento, a dissolução e a difusão dos metais nas linhas, o acúmulo dos metais na água parada na linha e a diluição dos metais através do fluxo de água. Os valores dos parâmetros físicos e químicos no modelo foram obtidos da literatura ou foram estimados. Para um forno de cimento estudado, foi recomendado que o pó de cimento não fosse recirculado totalmente quando os resíduos alternativos tivessem a quantidade máxima de chumbo permitida, e que se diminuísse a quantidade máxima permitida de cromo para o resíduo.

4.1.6 Qualidade do clínquer co-processado

Segundo Maringolo (2001), a análise dos dados de um caso real na Cimento Ribeirão Grande, em São Paulo, mostrou que o clínquer co-processado, principal componente do cimento *portland* da fábrica, manteve as resistências mecânicas à compressão a idades de 1, 3, 7 e 28 dias sempre acima dos limites normativos mínimos exigidos. Para atestar a imobilidade dos componentes inorgânicos incorporados ao clínquer, utilizaram-se ensaios microscópicos e análises químicas por espectrometria de absorção atômica e de raios X em clínqueres industriais não co-processados e co-processados; testes de lixiviação em cimentos de laboratório; química mineral por microssonda eletrônica e microscopia eletrônica de varredura em clínqueres dopados com Zn, V e Pb. Os resultados levaram, em linhas gerais, às seguintes considerações: a) a microestrutura dos clínqueres co-processados manteve-se preservada com a introdução do *blend* no sistema; b) as matérias-primas e o combustível fóssil respondem por boa parte dos elementos traços presentes no sistema. O *blend* introduz aporte extra dos elementos traços presentes na composição, enriquecendo seletivamente o clínquer co-processado; c) há, de maneira geral, grande compatibilidade dos elementos traços com o clínquer, mesmo de elementos voláteis como cádmio e mercúrio. Já o cobalto e, principalmente, o chumbo se mostraram menos compatíveis; d) nos clínqueres experimentais, a alita incorporou preferencialmente o zinco e o chumbo, a belita e o vanádio; e) não houve solubilização significativa de nenhum elemento de relevância ambiental dos cimentos que atestasse sua retenção nos retículos cristalinos dos minerais formadores do clínquer *portland*. A qualidade ambiental do clínquer *portland* co-processado deve abranger sua propriedade de reter elementos traços em solução sólida, a manutenção da integridade das relações texturais e a garantia da imobilidade dos componentes tóxicos no produto final, através de um controle sistemático dos clínqueres e também dos cimentos.

Segundo Caponero e Tenório (2000), o trabalho em escala de laboratório para o co-processamento de borra de processo de cobertura fosfática, no processo de produção de cimento, demonstrou que não ocorreu nenhum problema no processo de clinquerização do cimento com a adição de até 7% de borra, assim como não observou formação de fases atípicas com adições de até 5% da mesma matéria. E o maior elemento da borra, o zinco, apresentou uma média de incorporação de até 75%.

Segundo Eckert e Guo (1998), lixiviações significativas do cimento e do pó de retorno de metais específicos, especialmente Cr e Ba, resultaram da aplicação do procedimento padrão para a determinação de características de toxicidade (TCLP). Embora todas as concentrações dos testes de TCLP estivessem abaixo dos limites para resíduos perigosos definidos no RCA (Lei de conservação e recuperação de recursos). Quatro variações do TCLP foram avaliadas. O aumento da liberação dos metais de ordem III, relativo aos padrões TCLP, significou o aumento da lixiviação do cromo por soluções de água clorada, como resultado do aumento da dissolução do metal devido à complexação pelo cloretos. O pH final do extrato permaneceu alto. Dessa forma, a capacidade dessas amostras de cimento e pó de retorno de neutralizar a acidez dessas soluções lixiviadas não foi excedida, mesmo após duas exposições seqüenciais.

Num estudo desenvolvido por Serclérat, Moszkowicz e Pollet (2000), para avaliação da retenção na argamassa de metais pesados contidos nas matérias-primas, nos combustíveis fósseis ou nos resíduos alimentados no forno de cimento, as argamassas foram testadas em diversas situações e apresentaram as seguintes conclusões: a) o zinco mostrou-se insolúvel na faixa de pH de 7-13; b) o chumbo foi liberado apenas em meios alcalinos acima de pH 12,5; c) o cromo hexavalente, cujos sais são normalmente muito solúveis, foi retido através da fase hidratada, que é estável no meio químico onde se encontra a matrix do cimento. O chumbo e o cromo liberados estavam relacionados aos níveis de metal na argamassa. Os estudos de solubilidade do cromo e do sulfato de etringita revelaram que a liberação do cromo estava relacionada à proporção no cristal. Uma dissolução seletiva de parte do cromo da etringita foi realizada, o que demonstrou uma diminuição do nível de cromo no contato de tal sólido com a água. Tais resultados melhoraram o entendimento do mecanismo de liberação do cromo pelos blocos de argamassa.

Segundo Moudilou *et al.* (2002), os cimentos *portland* produzidos em fornos industriais têm de 10 a 300 mg/kg de metais traços. O comportamento desses metais endógenos tem sido alvo de diferentes estudos de lixiviação, e muitas dessas pesquisas concluiram que os metais pesados liberados são menores do que os limites de detecção dos métodos. Embora satisfazendo do ponto de vista ambiental, tal fato induz a uma lacuna no conhecimento do comportamento desses metais traços durante a lixiviação de materiais que têm como base o cimento. Em razão disso, foi projetado o CTG – Leach Concrete, um sistema de lixiviação dinâmico que se sobrepõe a essa dificuldade e permite o monitoramento de longo prazo.

Estudos realizados por Barros, Ternório e Espinosa. (2004) mostraram que a evaporação de zinco nos fornos de cimento se devia ao teor de cloro, e que as taxas de incorporação de Pb e Cd ficaram na faixa de 50% em peso. O zinco, o chumbo e o cádmio são elementos menores que podem ser trazidos para os fornos de cimento através dos resíduos. O trabalho em questão estudou a incorporação de ZnO, PbO e CdO, quando esses foram adicionados à matéria-prima do clínquer. O material cimentíceo foi preparado pela mistura de compostos puros, como opção para evitar o efeito de outros elementos e fornecer um melhor entendimento do comportamento desses metais durante o processo de clinquerização. As amostras continham teores de 0,05, 0,10, 0,30, 0,50, 0,80 e 1,00 em peso do metal específico (ZnO, PbO ou CdO) à farinha. A influência do cloro na taxa de incorporação do ZnO também foi avaliada.

Guo (1997), mediante estudo baseado em modelos matemáticos, concluiu que os padrões de água potável podem ficar próximos dos limites quando se utiliza cimento com chumbo de solubilidade maior do que 70 ppb e cromo de solubilidade maior do que 540 ppb. Para a fábrica de cimento estudada, o autor recomendou não recircular todo o pó de retorno quando os resíduos atingissem o limite máximo permitido, e diminuir o limite para o cromo nos resíduos. Para esse estudo o autor utilizou um modelo matemático de lixiviação desenvolvido para a avaliação do aumento potencial do chumbo e do cromo na água potável que utiliza linhas produzidas com concreto.

Andrade, Maringolo e Kihara (2003) verificaram, uma partição preferencial de alguns metais entre as fases cristalinas do clínquer ,através da sinterização em laboratório de clínqueres com a adição de V, Zn e Pb em farinhas padrões e análises em microssonda eletrônica, Foi observado que o V tem partição preferencial no C2S. O Zn aparece em grandes quantidades

no periclásio e os teores de zinco no C3S são maiores do que no C2S. O chumbo concentra-se em pequenas esferas e tem partição no C2S em pequenas quantidades.

Barros, Tenório e Espinosa (2002) demonstraram que o cromo e o níquel adicionados na farinha durante o processo de clinquerização em laboratório foram incorporados à estrutura cristalina do clínquer, mesmo quando concentrações relevantes de cloretos estavam presentes.

4.2 Sistemas de classificação de substâncias

4.2.1 Directiva 67/548/EEC

A diretiva de substâncias perigosas

Para a comunidade européia, a Diretiva 67/548/EEC estabelece critérios para a classificação, embalagem e rotulagem de substâncias perigosas.

O objetivo dessa classificação é identificar todas as propriedades físico-químicas, toxicológicas e ecotoxicológicas das substâncias e preparações que possam representar risco durante a manipulação ou utilização normais. Ao ser identificada qualquer propriedade perigosa, a substância ou preparação deve ser rotulada de modo que o(s) perigo(s) seja(m) indicado(s), a fim de proteger o consumidor, o público em geral e o ambiente.

Por "substâncias" entendem-se os elementos químicos e seus compostos no estado natural ou obtidos por qualquer processo de produção contendo qualquer aditivo necessário para preservar a estabilidade do produto e/ou qualquer impureza que derive do processo utilizado, mas excluindo qualquer solvente que possa ser separado sem afetar a estabilidade da substância ou modificar a sua composição. Uma substância pode ser quimicamente muito bem definida (por exemplo, a acetona) ou ser uma mistura complexa, de componentes de composições variáveis – por exemplo, os destilados aromáticos. No caso de algumas substâncias complexas, já foram identificados alguns dos seus componentes individuais.

Como resultado da adoção da Diretiva 67/548/EEC, em 1967, para aproximar as avaliações nacionais relacionadas aos riscos das substâncias químicas, introduziram-se os seguintes aspectos no sistema de classificação de substâncias perigosas da comunidade européia:

- Classificação de substâncias perigosas, colocando uma substância em uma ou mais classes de definições de características de risco, caracterizando o tipo e a severidade dos efeitos adversos que a substância pode causar.

- Embalagem de substâncias perigosas, embalagem adequada de proteção com base no conhecimento do risco da substância.

- Rotulagem de substâncias perigosas nas embalagens informando a natureza do risco das substâncias contidas e as medidas de segurança aplicadas durante o manuseio e a utilização.

4.2.2 Directiva 88/379/EEC

A diretiva de misturas perigosas (“preparações perigosas”)

A Diretiva 1999/45/EEC é a atualização da Diretiva 88/379/EEC, que trata da classificação embalagem e rotulagem de preparações perigosas. As disposições da Diretiva 67/548/EEC e da Directiva 1999/45/CE têm por objetivo fornecer um meio para colocar à disposição do público em geral e dos trabalhadores informações essenciais sobre as substâncias e as preparações perigosas. O rótulo chama a atenção das pessoas que manipulam ou utilizam essas substâncias e preparações para os perigos inerentes a alguns desses materiais.

Por "preparações" entendem-se as misturas ou soluções constituídas por duas ou mais substâncias.

A diretiva de junho de 1988 trata das leis, regulamentações e provisões administrativas dos estados membros relacionadas à classificação, embalagem e rotulagem de misturas perigosas. Essa diretiva, conhecida como “ Diretiva das Misturas”, introduziu regras harmonizadas para a classificação, embalagem e rotulagem de misturas perigosas de maneira a:

- Otimizar o funcionamento do mercado pela redução de obstáculos para o comércio de misturas com diferentes classificações e rotulagens dos estados membros.

- Fornecer, ao mesmo tempo, um alto nível de proteção a pessoas que entram em contato com essas misturas tanto no trabalho quanto no dia-a-dia, por meio da rotulagem, que fornece as informações essenciais dos riscos envolvidos e as medidas

necessárias que devem ser adotadas e os requisitos de embalagem, assim como pela introdução da ficha de segurança para os usuários industriais.

Uma mistura perigosa é aquela na qual pelo menos uma é classificada como perigosa, segundo as orientações da Diretiva 88/379. Estima-se que existam mais de 1 milhão de misturas no mercado europeu. Uma vez classificada, embalada e rotulada pelo produtor ou importador de acordo com as regras da Diretiva 88/379, a substância pode ser comercializada no mercado europeu sem qualquer obrigação adicional das autoridades nacionais.

Decidiu-se, desde o início, que a classificação das misturas não deveria rotineiramente ser baseada em testes de laboratório, como no caso das substâncias químicas. O número absoluto de misturas perigosas no mercado faria tal procedimento impraticáve,l além do que tais testes foram considerados, em geral, também inadequados em função dos custos industriais e da incompatibilidade entre o número de testes com animais necessários e o bem-estar animal. Ao invés da rotina utilizada de testes, um método de cálculo de classificação chamado "método convencional" foi adotado. De acordo com esse método, a classificação de misturas pode ser calculada do conhecimento das classificações das substâncias componentes e suas concentrações nas bases da fórmula fornecida na diretiva.

Claramente existe uma grande ligação entre a diretiva de misturas perigosas e a diretiva de substâncias perigosas. A Diretiva 88/379 não utiliza apenas as classificações da Diretiva 67/548, mas também utiliza as mesmas categorias de risco, o mesmo critério de rotulagem e o mesmo esquema de rotulagem, os mesmos métodos de testes (quando necessário) e as mesmas regras de embalagem. Como conseqüência dessa grande ligação é que as modificações na Diretiva 67/548, inevitavelmente, têm conseqüências para a classificação de misturas.

A diretiva de misturas tem sido continuamente desenvolvida nos últimos 10 anos. Em conseqüência dessas mudanças provenientes da diretiva de substâncias, foram introduzidas regras para a regulamentação de preparações gasosas (EEC) 793/93.

A tabela 4.1 apresenta os limites de corte para as misturas perigosas de acordo com a Diretiva 1999/45/EC.

Tabela 4.1 –Limites de corte para misturas perigosas (Diretiva 1999/45/EC)

Caretoria de risco da Substância	Misturas Gasosas % Vol/Vol	Outras Misturas % peso/peso
Muito Tóxica	≥ 0,02	≥ 0,1
Tóxica	≥ 0,02	≥ 0,1
Carcinogênica categoria 1 ou 2	≥ 0,02	≥ 0,1
Mutagênica categoria 1 ou 2	≥ 0,02	≥ 0,1
Tóxica para a reprodução categoria 1 ou 2	≥ 0,02	≥ 0,1
Nociva	≥ 0,2	≥ 1
Corrosiva	≥ 0,2	≥ 1
Irritante	≥ 0,2	≥ 1
Sensibilizante	≥ 0,2	≥ 1
Carcinogênica categoria 3	≥ 0,2	≥ 1
Mutagênico categoria 3	≥ 0,2	≥ 1
Tóxico para a reprodução categoria 3	≥ 0,2	≥ 1
Perigoso para o meio ambiente N		≥ 0,1
Perigoso para o meio ambiente (camada de ozônio)	≥ 0,1	≥ 0,11
Perigoso para o meio ambiente		≥ 1

Fonte: Directive 1999/45/EC

4.2.3 GHS (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals)

Mundialmente, o GHS estabelece os critérios para classificação e rotulagem de substâncias químicas. Os principais objetivos da implementação do GHS são:

- Melhorar a proteção da saúde humana e do meio ambiente através de um sistema internacionalmente compreendido para a comunicação de risco.
- Fornecer um sistema reconhecido para aqueles países que não possuam um sistema para tal finalidade.
- Reduzir a necessidade de testes e avaliações das substâncias.
- Facilitar o comércio internacional de substâncias que tenham os seus riscos adequadamente avaliados e identificados em uma base internacional.

As substâncias químicas, através das diferentes etapas de sua produção e seu manuseio, transporte e utilização, são um risco real à saúde humana e ao meio ambiente.

Para encarar esse risco, em função da realidade da extensão do comércio global de substâncias químicas e da necessidade de desenvolver programas nacionais para assegurar a utilização segura, o transporte e a disposição, reconheceu-se que um sistema internacionalmente harmonizado para classificação e rotulagem deveria fornecer os fundamentos de tais programas. Se os países têm informações consistentes e apropriadas sobre as substâncias químicas que importam ou produzem, a infra-estrutura para controle das exposições químicas e a proteção das pessoas e do meio ambiente podem ser estabelecidas de maneira comprensiva (GHS, 2005) .

O novo sistema, chamado "*Globally Harminized System of Classification and Labelling of Chemical* (GHS)", trata da classificação de substâncias químicas por tipos de risco e propõe elementos de comunicação de risco harmonizados, incluindo os rótulos e a ficha de segurança. O objetivo é assegurar que as informações dos riscos físicos e a toxicidade das substâncias químicas estejam disponíveis de maneira a aumentar a proteção à saúde humana e ao meio ambiente durante o manuseio, o transporte e a utilização das substâncias químicas. O GHS também fornece uma base de harmonização de regras e regulamentações sobre as substâncias químicas em níveis nacional, regional e mundial, sendo um importante fator também para o progresso do comércio (GHS, 2005).

A primeira edição do GHS, que pretendia servir como uma base inicial para a implementação do sistema global, foi aprovada por um comitê de especialistas na sua primeira sessão (11-13 dezembro de 2002) e publicado em 2003 (GHS, 2005).

Na segunda seção (10 de dezembro de 2004), o comitê de especialistas adotou um conjunto de emendas do GHS, as quais foram consolidadas no documento ST/SG/AC.10/C.3/32/Add.3 e ST/SG/AC.10/C.3/32/Add.3/corr.1. A primeira revisão do GHS (GHS Ver.1) leva em conta todas essas emendas, as quais incluem várias observações revisadas a respeito da classificação e da rotulagem, novas provisões para riscos e novos guias na utilização de enunciados relativos a métodos de prevenção e pictograms, e a preparação das fichas de segurança (GHS, 2005).

Os governos, as instituições regionais e as organizações internacionais são o público primário para o GHS, que também possui conteúdo e guias suficientes para o setor industrial, ao qual,

em última instância, caberá a implementação dos requisitos atualmente adotados (GHS, 2005).

O plano de implementação do Sumário Mundial em Desenvolvimento Sustentável (WSSD), adotado em Johannesburg em 2002, encorajou os países a implementar o GHS o mais rápido possível, com o objetivo de operacionalizá-lo totalmente até 2008 (GHS, 2005).

Considerações específicas para a classificação de misturas

Quando é realizada a classificação de uma mistura não testada baseando-se nos fatores de risco dos seus ingredientes, os valores genéricos de limites de corte para os ingredientes classificados da mistura são utilizados para as várias classes de risco do GHS (GHS, 2005).

Normalmente, as concentrações limites adotadas no GHS devem ser aplicadas uniformemente em todas as juridições e para todos os setores. Entretanto, se o classificador tem a informação de que o fator de risco de um ingrediente será menor do que o valor *cut-off* estabelecido no GHS, a mistura que contém tal ingrediente deverá ser determinada de acordo com essa classificação (GHS, 2005).

A tabela 4.2 apresenta os valores de corte para as classes de risco de saúde e ambientais de acordo com o GHS.

Tabela 4.2 – Concentrações / valores *cut-off* para as classes de risco de saúde e ambientais de acordo com o GHS

Classe de Risco	Valores/Concentrações de corte
Toxicidade aguda	≥ 1,0 %
Corrosão/irritação da pele	≥ 1,0 %
Sérios danos aos olhos/Irritação dos olhos	≥ 1,0 %
Sensibilização respiratória/Pele	≥ 1,0 %
Mutagenicidade: categoria 1	≥ 0,1 %
Mutagenicidade: categoria 2	≥ 1,0 %
Carcinogenicidade	≥ 0,1 %
Toxicidade à reproudção	≥ 0,1 %
Toxicidade específica à algum órgão do sistema humano (exposição única)	≥ 1,0 %
Toxicidade específica à algum órgão do sistema humano (exposição repetida)	≥ 1,0 %
Fator de risco ao meio ambiente aquático	≥ 1,0 %

Fonte: GHS (2005)

4.2.4 CHIP3 (Chemicals Hazards Information and Packaging)

No Reino Unido, os requisitos das Diretivas 67/548/EEC e 88/379/EEC foram implementados através do CHIP3 (Chemicals Hazards Information and Packaging)[1].

Para a adoção da CHIP 3 tem-se a diretiva de resíduos perigosos *Hazardous Waste Directive* – HWD, Council Directive 91/689/EC, que contém uma definição precisa e uniforme de resíduos perigosos no âmbito da comunidade européia, de forma a assegurar o correto gerenciamento e a regulamentação de tais resíduos.

O artigo 1(4) da HWD define como resíduos perigosos aqueles que contidos na lista feita pela comissão européia por conter uma ou mais propriedades de perigo estabelecidas no HWD. Existem 14 propriedades estabelecidas no anexo III do HWD, as quais são detalhadas na tabela 4.3.

[1] Disponível em: http://www.environment-agency.gov.uk/subjects/waste/1019330/1217981/1384307/

Tabela 4.3 -Propriedades perigosas (Hazardous Waste Directive Annex III)

H1	"Explosivo" : substâncias e misturas nas quais podem explodir sob o efeito de chama ou que é mais sensível ao choque ou fricção do que o dinitrobenzeno.
H2	"Oxidante" : Substâncias e misturas que apresentam reações altamente exotérmicas quando em contato com outras substâncias , particularmente com substâncias inflamáveis.
H3A	"Altamente Inflaméveis" ➢ Substâncias Líquidas e misturas que possuem ponto de fulgor abaixo de 21°C (incluindo líquidos extremamente inflamáveis), ou ➢ Substâncias e misturas que podem aquecer e finalmente pegar fogo em contato com o ar à temperatura ambiente sem qualquer aplicação de energia, ou ➢ Substâncias sólidas e misturas as quais podem rapidamente pegar fogo após contato rápido com uma fonte de ignição e a qual continua à queimar ou ser consumida após a remoção da fonte de ignição ou ➢ Substâncias gasosas e misturas as quais são inflamáveis no ar à pressões normais, ou ➢ Substâncias e misturas as quais , em contato com a água ou umidade do ar, libera gases altamente inflamáveis em quantidades perigosas.
H3B	"Inflamável": Substâncias Líquidas e misturas que possuem um ponto de fulgor igual ou maior do que 21°C e menor ou igual à 55°C.
H4	Substâncias e preparações não corrosivas as quais, através de contato imediato, prolongado ou repetitivo com a pele ou mucosas, podem causar inflamação.
H5	Nocivas: substâncias e misturas as quais, se elas são inaladas ou ingeridas ou se prenetram na pele , pode representar riscos limitados à saúde.
H6	Tóxico: substâncias e misturas (incluindo substâncias e misturas muito tóxicas) as quais , se inaladas ingeridas ou penetrarem na pele, podem envolver riscos sérios à saúde agudo ou crônico , ou mesmo a morte.
H7	Carcinogênico: substâncias e misturas as quais, se inaladas ingeridas ou penetrarem na pele, podem induzir câncer ou mesmo aumento da sua incidência.
H8	Corrosivo: Substâncias que podem destruir tecidos vivos com o contato.
H9	Infeccioso: Substância contendo microorganismos ou as suas toxinas as quais são conhecidamente ou acredita-se causar doenças no ser humano ou organismos vivos.
H10	Tóxicos para a reprodução: substâncias ou misturas as quais, se inaladas ingeridas ou penetrarem na pele, podem produzir ou aumentar a incidência de efeitos adversos não hereditários e/ou funções ou capacidade reprodutiva de homens e mulheres.
H11	Mutagênico: substâncias e misturas as quais, se inaladas ingeridas ou penetrarem na pele, podem induzir defeitos genéticos hereditários ou aumentar a sua incidência.
H12	Substâncias e misturas as quais liberam gases tóxicos ou muito tóxicos em contato com a água, ar ou ácido.
H13	Substâncias e misturas capaz por quaisquer meios, após disposição, de resultarem em outra substância, por exemplo lixiviado, os quais possuem qualquer das características listadas acima.
H14	Ecotóxico: substâncias e misturas as quais apresentem ou possam apresentar riscos imediatos ou posteriores à um ou mais áreas do meio ambiente.

Fonte: CHIP 3, 2ª edição, 2005.

Em 1994, uma lista com todos os resíduos perigosos ou não foi produzida pelo Council Directive 75/442/EEC), conhecida como "European Waste Catalogue" (EWC 1994).

Decidiu-se então quais resíduos do EWC 1994 deveriam ser considerados como perigosos, com base nas propriedades estabelecidas no HWD. Daí resultou uma lista de resíduos,

denominada “Hazardous waste list” (HWL), na qual se definem os resíduos perigosos requeridos no artigo 1(4) do HWD.

O EWC foi objeto de revisões periódicas de acordo com o artigo 1(4). Após vários anos de discussões entre os países da comunidade européia, a EWC 1994 e a HWL foram revisadas e fundidas, disso resultando o Catálogo de Resíduos da Comunidade Européia, o “*European Waste Catalogue 2002”* (EWC 2002).–

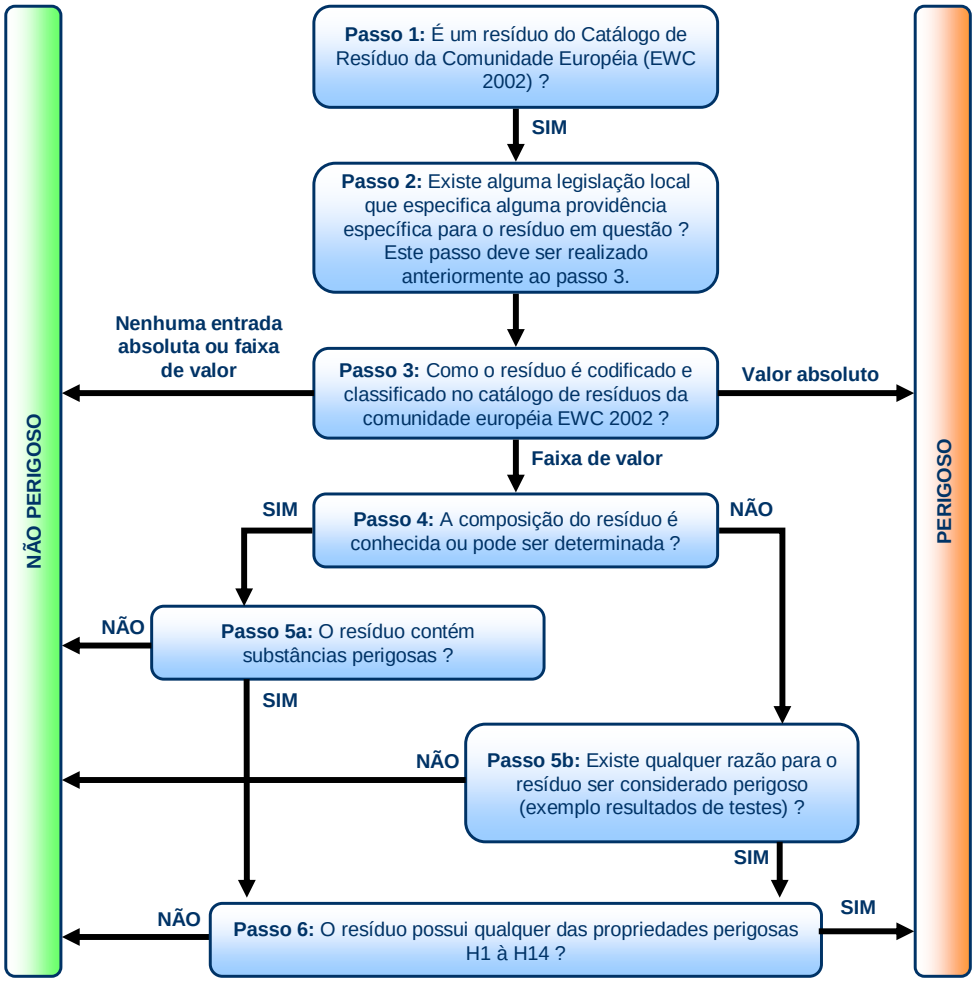
O catálogo revisado de resíduos da comunidade européia (EWC 2002)

O catálogo de resíduos da comunidade européia EWC 2002 contém os resíduos agrupados de acordo com a indústria, o processo ou o tipo de resíduo, , diferenciando resíduos perigosos e não-perigosos através da identificação de resíduos perigosos com um asterisco (*).

O EWC 2002 tem relação com outras legislações, quais sejam:

- Relaciona a classificação de determinados resíduos com a concentração de “substâncias perigosas” nos resíduos. São definidas como substâncias perigosas as substâncias classificadas como tal na Directive 67/548/EEC e suas emendas.
- Apresenta concentrações de corte para certas propriedades perigosas da Diretiva 88/379/EEC, a diretiva para misturas perigosas e suas subseqüentes emendas.

A figura 4.7 apresenta a metogologia para avaliação de resíduos perigosos segundo a CHIP3.



Nota: 1- Substâncias infecciosas devem ser consideradas neste estágio na metodologia de avaliação de resíduos perigosos

Figura 4.7- Metodologia para avaliação de resíduos perigosos (CHIP 3- 2005)

4.2.5 A NBR 10004

A classificação de resíduo perigoso conforme a NBR 10004

Em termos nacionais, a NBR 10004 classifica os resíduos perigosos como resíduos de classe I, ou seja, quando apresentam periculosidade,ou seja, que em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas possam apresentar: a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices, b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada, ou uma das características

de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, ou constem dos anexos A ou B, de acordo com os métodos citados no anexo J (Anexo I- Anexos da NBR 10004) (NBR 10004, 2004).

No caso de resíduos sólidos, os órgãos ambientais têm utilizado as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, em particular a NBR 1004, cuja primeira edição foi em 1987 (ABNT, 1987), revisada recentemente,(ABNT, 2004). No entanto, para uma gestão de risco do co-processamento mais ampla, como a apresentada nesta pesquisa, com foco nas substâncias químicas, essa norma traz muito pouca informação que possa ajudar na avaliação dos potenciais de danos presentes nos ingredientes dos resíduos.

A figura 4.8 apresenta a classificação dos resíduos sólidos quanto ao risco à saúde pública e ao meio ambiente.

Os resíduos, sugundo a NBR10004, são então classificados em dois grupos: perigosos e não-perigosos, sendo estes últimos ainda subdivididos em inertse e não-inertes.

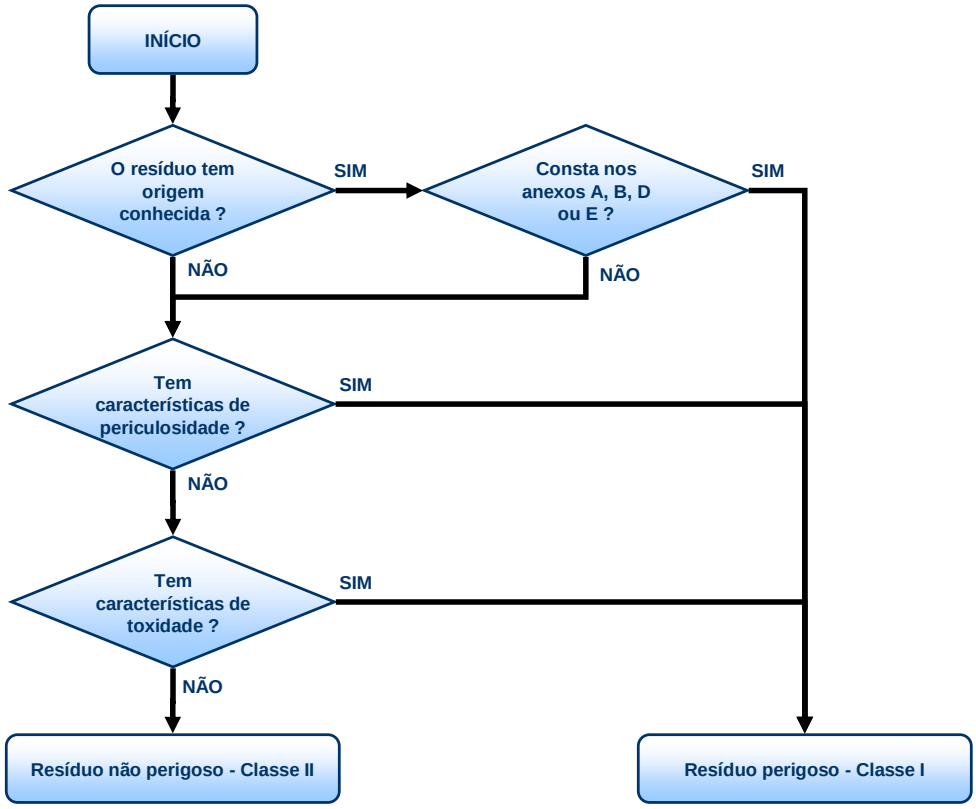


Figura 4.8- Classificação de resíduos
Fonte: NBR 10004 , 2004..

4.2.6 ANTT 420

No Brasil, a Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT), através da Resolução nº 420, de 12 de fevereiro de 2004 (ANTT420), regulamenta o transporte terreste de produtos perigosos.

A ANTT 420 é a tradução de uma versão já desatualizada do chamado "orange book". A proposta do GHS incorpora o "orange book" (transporte) e complementa com os aspectos de local de trabalho e consumidor.

A aplicação da ANTT 420 para o transporte de resíduos perigosos é realizada conforme figura 4.10.

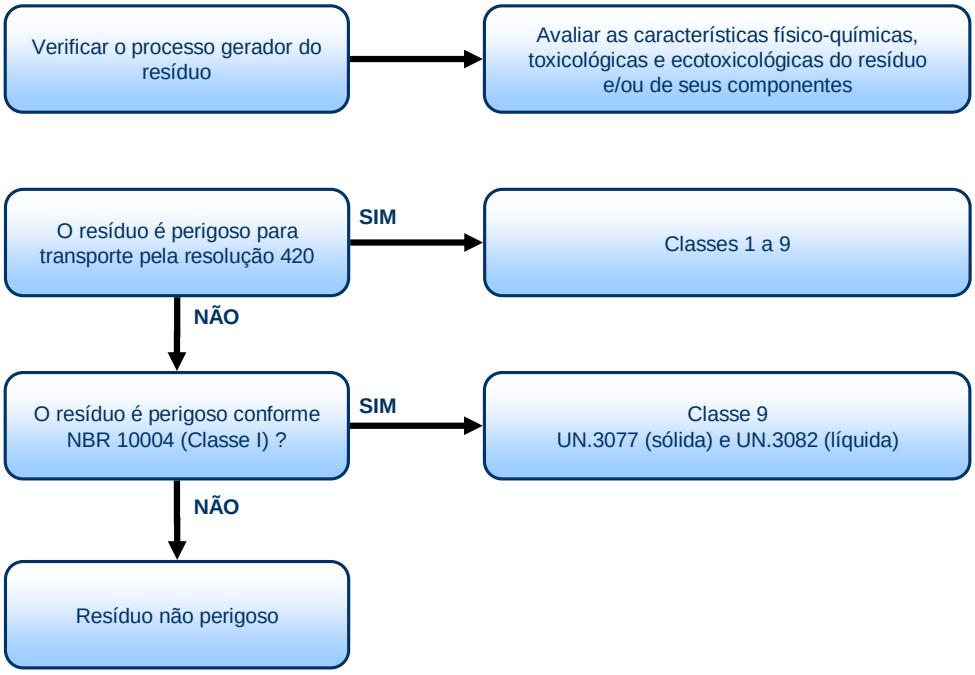


Figura 4.9- Transporte de resíduos perigosos

Fonte: Vieira, 2006.

Segundo a ANTT 420 ,

> a classificação de um produto considerado perigoso para o transporte deve ser feita pelo seu fabricante ou expedidor, orientado pelo fabricante, tomando como base as características físico-químicas do produto, alocando-o numa das classes ou subclasses da ANTT 420. [...] No caso de produtos, substâncias ou artigos novos deverá ser encaminhado pelo seu fabricante, solicitação de enquadramento acompanhado do relatório de ensaio do produto, à Agência Nacional deTransportes Terrestres – ANTT, autoridade competente para análise e estudos junto ao Fórum do Comitê de Peritos sobre Transporte de Produtos Perigosos das Nações Unidas. [...] resíduos, para efeitos de transporte, são substâncias, soluções, misturas ou artigos que contêm, ou estão contaminados por um ou mais produtos sujeitos às disposições da ANTT 420 e suas Instruções Complementares, para os quais não seja prevista utilização direta, mas que são transportados para fins de despejo, incineração ou qualquer outro processo de disposição final.Um resíduo que contenha um único componente considerado produto perigoso, ou dois ou mais componentes que se enquadrem numa mesma classe ou subclasse, deve ser classificado de acordo com os critérios aplicáveis à classe ou subclasse correspondente ao componente ou componentes perigosos. Se houver componentes pertencentes a duas ou mais classes ou subclasses, a classificação do resíduo deve levar em conta a ordem de

precedência aplicável a substâncias perigosas com riscos múltiplos, estabelecida de acordo com a ANTT 420.

A ficha de emergência exigida na ANTT 420 serve para fins de transporte. Para fins de local de trabalho, deve ser utilizada a ficha de segurança para local de trabalho, que inclui os 16 itens da MSDS ou FISPQ.

4.2.7 Comparação dos limites de corte: Diretiva 1999/45/EC, GHS e CHIP3

A tabela 4.4. apresenta um comparativo entre os limites de corte dos três sistemas de classificação avaliados neste trabalho quais sejam: Diretiva 1999/45/EC, GHS e CHIP3.

Tabela 4.4 – Comparativo entre os *cut-off* dos sistemas de classificação de substâncias (Diretiva 1999/45/EC, GHS e CHIP3)

Caretoria de risco da substância	Misturas Gasosas % Vol/Vol (Diretiva 1999/45/EC)	Outras Misturas % peso/peso (Diretiva 1999/45/EC)	CHIP3 % peso/peso	GHS % peso/peso
Muito Tóxica	≥ 0,02	≥ 0,1	≥ 0,1	N/a
Tóxica	≥ 0,02	≥ 0,1	≥ 3,0	≥ 1,0
Carcinogênica categoria 1 ou 2	≥ 0,02	≥ 0,1	≥ 0,1	≥ 0,1
Mutagênica categoria 1 ou 2	≥ 0,02	≥ 0,1	≥ 0,1	Cat 1-≥ 0,1 Cat. 2- ≥ 1,0
Tóxica para a reprodução categoria 1 ou 2	≥ 0,02	≥ 0,1	≥ 0,5	≥ 0,1
Nociva	≥ 0,2	≥ 1,0	≥ 25,0	N/a
Corrosiva	≥ 0,2	≥ 1,0	N/a	≥ 1,0
Irritante	≥ 0,2	≥ 1,0	≥ 10,0 ou ≥ 20,0 dependendo da frase de risco	≥ 1,0
Sensibilizante	≥ 0,2	≥ 1,0	N/a	≥ 1,0
Carcinogênica categoria 3	≥ 0,2	≥ 1,0	≥ 1,0	≥ 0,1
Mutagênico categoria 3	≥ 0,2	≥ 1,0	≥ 1,0	N/a
Tóxico para a reprodução categoria 3	≥ 0,2	≥ 1,0	≥ 5,0	≥ 0,1
Perigoso para o meio ambiente N		≥ 0,1	N/a	≥ 1,0
Perigoso para o meio ambiente (camada de ozônio)	≥ 0,1	≥ 0,1	≥ 0,1	N/a
Perigoso para o meio	N/a	≥ 1,0	Muito	N/a

ambiente aquático			tóxico- ≥ 0,25; tóxico- ≥ 2,5; e nocivo-≥ 25,0	

Fonte: Diretiva 1999/45/EC (1999), CHIP 3 (2005) e GHS (2005)

4.2.8 Limitações dos sistemas de classificação de substâncias

Os sistemas de classificação não têm a intenção de padronizar os procedimentos de avaliação do risco ou decisões de gerenciamento do risco (tais como o estabelecimento de limites de exposição permitidos para trabalhadores expostos), os quais requerem alguma avaliação de risco além da classificação do perigo (fator de risco). Além do mais, os requisitos de inventário químico em muitos países não estão relacionados aos sistemas de classificação de substâncias (GHS, 2005).

Fator de risco versus risco

Cada classificação de risco e sistema de comunicação (local de trabalho, consumidor e transporte) começa com a avaliação do fator de risco das substâncias ou produtos químicos. O grau da sua capacidade de dado depende de sua propriedades intrínsecas, isto é, sua capacidade de interferir com os processos biológicos normais, sua capacidade de queimar, explodir, corroer, etc. Isso baseado primeiramente na revisão dos estudos científicos disponíveis. O conceito de risco ou a probabilidade de ocorrer o dano e, conseqüentemente, a comunicação daquela informação são introduzidos quando a exposição é considerada em conjução com os dados a respeito dos potenciais fatores de risco. A aproximação básica para a avaliação de risco é dada pela fórmula:

Fator de risco X exposição = risco

Logo, podem-se minimizar tanto o fator de risco como a exposição para a minimização do risco ou a probabilidade do dano. A comunicação de risco de sucesso alerta o usuário quanto a presença do fator de risco e a necessidade de minimizar a exposição e os riscos resultantes.

4.3 Legislação aplicada ao co-processamento

4.3.1 Conama 264/99 e regulamentações estaduais de co-processamento

Em nível nacional, a Resolução CONAMA 264/99 impõe valores máximos para a emissão de alguns poluentes e, para que não haja riscos de se ultrapassarem tais limites, exige a instalação de intertravamento que interrope a alimentação do resíduo quando: há queda dos teores de oxigênio ou da temperatura normal de operação, quando a pressão interna no forno assume valores positivos, na falta de energia elétrica, quando do mau funcionamento dos monitores de CO, O_2 e dos equipamentos de controle de poluição, quando a temperatura interna no precipitador eletrostático atinge valores acima de 200°C, o que poderia comprometer sua eficiência de reternção de partículas (DOS SANTOS, 2003).

A CONAMA 264/99 estabelece que o pessoal envolvido com a operação das unidades de mistura, pré-condicionamento e co-processamento de resíduos deverá receber, periodicamente, treinamento específico com relação ao processo, o manuseio e a utilização de resíduos, bem como sobre procedimentos para situações emergenciais e anormais durante o processo. No entanto, não estabelece a metodologia que deve ser utilizada; desta forma, a metodologia proposta poderia ser uma das ferramentas utilizadas principalmente no que se refere à comunicação dos riscos através das frases R e S.

A CONAMA 264/99 também estabece que os resíduos a serem recebidos pela unidade de mistura e/ou pela instalação responsável por sua utilização sejam previamente analisados para determinação de suas propriedades físico-químicas e registro das seguintes informações:

- A origem e a caracterização do resíduo.
- Métodos de amostragem e análise utilizados, com respectivos limites de detecção, de acordo com as normas vigentes.
- Os parâmetros analisados em cada resíduo.
- Incompatibilidade com outros resíduos.

Na esfera estadual, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul possuem instruções normativas que também regulam as taxas de emissões e alguns parâmetros operacionais.

A tabela 4.6 apresenta os limites de emissão de poluentes para fontes que co-processam resíduos industriais nos Estados Unidos e na Comunidade Econômica Européia.

Na tabela 4.7 são apresentados os limites de emissão para os principais poluentes gerados no processo de produção de clínquer co-processado, regulados pela Resolução CONAMA 264/99 e pelas agências ambientais estaduais que possuem regulamentação específica para a atividade de co-processamento de resíduos em fornos de clínquer.

Tabela 4.5 – Padrões de emissão de poluentes atmosféricos para a atividade de co-processamento de resíduo em fornos de cimento, regulamentados por instituições internacionais e nacionais

Poluente	CEE Diretiva 2000 de 27/12 [1] (mg/m3)	USEPA CFR 40 Part 63 13.02.2002 [3]		CONAMA 264/99[5]
		Fontes Pré-existentes	Fontes Novas	
Partículas Totais	30	0,15 kg/ t farinha seca	0,15 kg/ t farinha seca	70 mg/m3 de farinha seca [4]
Hidrocarbonetos Totais	10	20 ppm	20 ppm	20 ppm
HCl	10	130 ppm	86 ppm	1,8 kg/h ou 99% de EDR
HF	1	Não se aplica	Não se aplica	5 mg/m3
SO2	500	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
NOx (expresso como NO2 equivalente)	200 800 [2]	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
CO	50	100 ppm	Não se aplica	100 ppmv
Cd	0,05	0,3 mg/m3		0,1 mg/m3
Pb	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	0,35 mg/m3
Tl	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	0,1 mg/m3
Hg	0,05	0,12 mg/m3		0,05 mg/m3
Soma de: As, Be, Co, Ni, Se, Te	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	1,4 mg/m3
Soma de: As, Be, Co, Ni, Se, Te, Zn, Sn, Cr, Pb, Sb, Mn, Cu	0,5	As+ Be+Cr=0,056 mg/m3		7,0 mg/m3
Soma de: As, Co, Ni, V, Cr, Pb, Sb, Mn, Cu	0,5	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Dioxinas e Furanos	0,1 ng/m3	0,2 ng/m3		0,5 ng/m3 [6]

1.Valores corrigidos para 10% de oxigênio na chaminé e o volume de gás em base seca corrigidos para condições normais de pressão e temperatura (273K e 101,3 kPa)

2. para fontes pré-existentes a 4.12.2000

3. valores corrigidos à 7% de oxigênio nos gases de exaustão

4. corrigido para 11% de oxig~enio nos gases de exaustão

5. Valores corrigidos para 7% de oxigênio na chaminé e o volume de gás em base seca corrigidos para condições normais de pressão e temperatura (273 K e 101,3 kPa)

6. regulamentada pela CONAMA 316

Fonte: dos Santos (2003), modificada pela autora.

Tabela 4.6 – Limites máximos de poluentes estabelecidos pela CONAMA e pelas agências ambientais que possuem regulamentação específica para a atividade de co-processamento de resíduos em fornos de clínquer

Poluente	CETESB P4.263 (2003)	IAP (SEMA 041)	FEAM (DN 026)	FEPAM	FEEMA	CONAMA 264/99
Particulado	70 mg/Nm3 [1]	70 mg/Nm3 [2]	70 mg/Nm3 [1]	0,15 kg/t farinha	50 mg/Nm3 [1]	70 mg/Nm3 [1]
NOx	800 [3]	1000 mg/Nm3 [2]	560 mg/Nm3 [1]	Não se aplica	560 mg/Nm3 [1]	Não se aplica
SOx	350 [3]	400 mg/Nm3 [2]	280 mg/Nm3 [1]	Não se aplica	100 mg/Nm3 [1]	Não se aplica
CO	100 ppmv [2]	100 ppmv [2]	100 ppm [1]	100 ppm [2]	50 ppm [1]	100 ppm [2]
HF	4 mg/Nm3 [3]	5 mg/Nm3 [2]	5 mg/Nm3	5 mg/Nm3	2 mg/Nm3 [1]	5 mg/Nm3 [2]
HCl	10 mg/Nm3 [3]	1,8 kg/h	1,8 kg/h	1,8 kg/t [2]	50 mg/Nm3 [1]	1,8 kg/h [2]
Hg	0,04 mg/Nm3 [3]	0,05 mg/Nm3 [2]	Não se aplica	0,05 mg/Nm3 [2]	0,2 mg/Nm3 [1]	0,05 mg/Nm3 [2]
Cd	Não se aplica	0,1 mg/Nm3 [2]	Não se aplica	0,10 mg/Nm3 [2]	0,2 mg/Nm3 [1]	0,10 mg/Nm3 [2]
Tl	Não se aplica	0,1 mg/Nm3 [2]	Não se aplica	0,10 mg/Nm3 [2]	0,2 mg/Nm3 [1]	0,10 mg/Nm3 [2]
Pb	0,275 mg/Nm3 [3]	0,35 mg/Nm3 [2]	Não se aplica	0,35 mg/Nm3 [2]	5 mg/Nm3 [1]	0,35 mg/Nm3 [2]
Cd+ Tl+ Hg (Classe I)	Cd+ Tl= 0,05 mg/Nm3 [3]	Não se aplica	0,28 mg/Nm3 [1]	Não se aplica	0,2 mg/Nm3 [1]	Não se aplica
As+ Co+ Ni+ Se+ Te (Classe II)	As+ Be+ Co+ Ni+ Se+ Te= 1,0 mg/Nm3 [3]	As+ Be+ Co+ Ni+ Se+ Te= 1,4 mg/Nm3 [2]	1,4 mg/Nm3 [1]	As+ Be+ Co+ Ni+ Se+ Te= 1,4 mg/Nm3 [2]	Soma e cada elemento individualmente = 1,0 mg/Nm3 [1]	As+ Be+ Co+ Ni+ Se+ Te= 1,4 mg/Nm3 [2]
Sb+ Pb+ Cr+ CN+ F+ Cu+ Mn+ Pt+ Pd+ Rh+ V+ Sn (Classe III)	As+ Be+ Co+ Cr+ Cu+ Mn+ Ni+ Pb+ Se+ Sn+ Te+ Zn=5,0 mg/Nm3 [3]	As+ Be+ Co+ Cr+ Cu+ Mn+ Ni+ Pb+ Se+ Sn+ Te+ Zn=7,0 mg/Nm3 [2]	7,0 mg/Nm3 [1]	As+ Be+ Co+ Cr+ Cu+ Mn+ Ni+ Pb+ Se+ Sn+ Te+ Zn=7,0 mg/Nm3 [2]	Soma e cada elemento individualmente = 5,0 mg/Nm3 [1]	As+ Be+ Co+ Cr+ Cu+ Mn+ Ni+ Pb+ Se+ Sn+ Te+ Zn=7,0 mg/Nm3 [2]
Classe I+ Classe II + Classe III	Não se aplica	Não se aplica	1,4 mg/Nm3 [1]	Não se aplica	5,0 mg/Nm3 [1]	Não se aplica
Classe I+ Classe III	Não se aplica	Não se aplica	7,0 mg/Nm3 [1]	Não se aplica	5,0 mg/Nm3 [1]	Não se aplica
Classe II + Classe III	Não se aplica	Não se aplica	7,0 mg/Nm3 [1]	Não se aplica	5,0 mg/Nm3 [1]	Não se aplica
THC	20 ppmv	20 ppmv [2]	20 ppmv	20 ppmv	20 ppmv	20 ppmv
BTXE	Não se aplica	Não se aplica	100 (limite individual)	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Dioxinas e Furanos	0,1 ng/m3 [1]	0,5 ng/m3 [4]	0,5 ng/m3 [4]	0,5 ng/m3 [4]	0,5 ng/m3 [4]	0,5 ng/m3 [4]

Fonte: CONAMA 264/99, DN 026/98, SEMA 041/02, CETESB P4.263/03, FEEMA e FEPAM

4.3.2 Normas Regulamentadoras

Segundo Trivelato (2003), não existe critérios legais explícitos para a gestão do co-processamento, mas apenas critérios genéricos constantes na NR15.

Na NR15 é estabelecido o "Limite de Tolerância", ou seja, a concentração ou intensidade máxima ou mínima relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador durante a sua vida laboral.

Em síntese, as normas regulamentadoras mais diretamente aplicáveis ao co-processamento são as NR 7, NR9 e NR15, que estabelecem o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO), o Programa de Prevenção dos Riscos Ambientais (PPRA) e as atividades e operações insalubres, respectivamente. No entanto, em um processo produtivo como o co-processamento, em que as variações são constantes, os atuais procedimentos estabelecidos nas normas regulamentadoras não são suficientes para a gestão adequada dos riscos à saúde e à segurança do trabalhador do co-processamento.

4.3.3 NBR 11174 e NBR 12235

No Brasil, as normas brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, em particular a NBR 11174 e a NBR 12235, estabelecem os critérios para armazenamento de resíduos perigosos e não perigosos. Já o armazenamento temporário de resíduos nas fábricas de cimento, para o seu posterior co-processamento, deve ser realizado conforme as NBR 11174 1 e NBR 12235, que estabelecem o armazenamento de resíduos classe II (não inertes) e classe III (inertes) e o armazenamento de resíduos sólidos perigosos.

Geralmente esses requisitos são exigidos durante o licenciamento da fábrica de cimento para o co-processamento e representam as melhores práticas em termos de armazenamento temporário de resíduos.

4.4 Iniciativa de sustentabilidade do cimento

O objetivo desta seção é apresentar os outros requisitos que fazem parte da gestão das empresas signatárias da Iniciativa de Sustentabilidade do Cimento.

Em 1999, dez das maiores companhias de cimento do mundo formaram um grupo para promover o desenvolvimento sustentável da indústria cimenteira, o *Cement Sustainability*

Initiative (CSI), ou Iniciativa de Sustentabilidade do Cimento (htpp://www.wbcsdcement.org/), que foi o primeiro setor industrial filiado ao WBCSD (sigla em inglês do Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável) a adotar espontaneamente uma série de iniciativas para reduzir a emissão de CO_2 no planeta, por meio de ações conjuntas e individuais. Três anos depois de sua criação, o grupo lançou uma agenda de metas e compromissos para compensar e mitigar os impactos da indústria do cimento no meio ambiente.

O plano de ações estabeleceu o prazo de 20 anos para o cumprimento dos objetivos definidos em 2002, e o progresso das iniciativas acordadas será apresentado a cada 5 anos – algumas ações, como o monitoramento e a redução da emissão de CO_2, terão seus resultados divulgados anualmente. Um dos compromissos assumidos pelas empresas que compõem a CSI é reportar, ainda em 2006, seus resultados individuais.

Dentre as propostas da CSI está a de disseminar no setor cimenteiro as melhores práticas de cada signatário do acordo. Além das dez empresas fundadoras, seis novos integrantes se incorporaram nos últimos anos ao movimento, que atualmente responde por metade da produção cimenteira do mundo, excetuando-se o volume produzido pela China.

Depois da água, o concreto é o material mais usado no mundo, e sua produção cresce aceleradamente. Somente no ano de 2006 usaram-se três toneladas de concreto por pessoa, em todo o planeta. Seu processo de manufatura envolve a utilização de diversos tipos de matérias-primas – o cimento é o principal – e atualmente é responsável por cerca de 5% das emissões de CO_2 no mundo, o principal gás associado ao aquecimento global.

A CSI foi desenvolvida em parceria com o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (em inglês, WBCSD), organização que promove a sustentabilidade no mundo empresarial em 30 países.

A agenda de ações da Iniciativa de Sustentabilidade do Cimento é composta por seis grandes grupos de trabalho:

- Mudanças Climáticas.
- Uso Responsável de Combustíveis e Matérias-Primas.

- Saúde e Segurança.
- Redução das Emissões.
- Impactos Locais.
- Divulgação e Comunicação.

A agenda de ações foi baseada em amplas discussões com as partes interessadas em vários países do mundo através de workshops. No Brasil, a pesquisa com as partes interessadas foi realizada em Curitiba, com a participação de entidades de classe, da comunidade, do meio acadêmico, de órgãos ambientais, entre outros.

4.4.1 Mudanças climáticas

A proteção do clima – particularmente o gerenciamento das emissões de dióxido de carbono (CO_2), principal gás causador do efeito estufa – constitui uma das principais prioridades da CSI e de seus signatários. Atualmente, o processo de produção do cimento responde por 5% das emissões de dióxido de carbono causadas pelo ser humano.

Metade dessas emissões resulta do processo químico para obtenção do clínquer (concentrado de areia e calcário que dá origem ao cimento), e 40% advêm da queima de combustíveis. Os 10% restantes são fruto do uso de eletricidade e do transporte do produto final.

Quando o plano de ações da CSI foi elaborado, as empresas que compõem o grupo concordaram em lançar um Protocolo de CO_2, com diretrizes para definir e tornar públicas as emissões de cada empresa, além de desenvolver uma estratégia de mitigação para as emissões causadoras do processo de mudanças climáticas, com objetivos individuais a serem publicados em 2006.

Os compromissos assumidos individualmente pelas empresas da CSI.

- Utilizar a ferramenta estabelecida no Protocolo de CO_2 para definir e tornar pública a linha base de emissões.
- Desenvolver uma estratégia de mitigação do processo de mudanças climáticas.
- Publicar as metas e progressos até 2006.

- Relatar anualmente as emissões de CO_2 de acordo com o protocolo.

Como medir o progresso

Para medir e avaliar o progresso da redução de CO2, a CSI determinou os seguintes indicadores:

- Número e percentual de unidades da empresa que aplicaram as diretrizes do Protocolo de CO2 do WBCSD no seu inventário de emissões.
- Total bruto e líquido das emissões de CO2 por tonelada de produto cimentício.

4.4.2 Uso responsável de combustíveis e matérias-primas

Diversos subprodutos e resíduos, tanto de outros setores industriais quanto resíduos comuns, podem ser reaproveitados como matéria-prima para as fábricas de cimento ou como combustível para seus fornos. A mesma destinação pode ser dada para alguns tipos de biomassa, como casca de arroz e casca de castanha de caju, por exemplo.

Essas aplicações constituem excelente alternativa para reduzir o impacto ambiental da indústria cimenteira, pois substituem o uso de combustíveis fósseis, reduzem as taxas de emissão de CO_2, diminuem a quantidade de resíduos armazenados em depósitos e aterros e, assim, amenizam as chances de contaminação do solo ou de lençóis freáticos.

A preocupação em substituir combustíveis fósseis por outros tipos de resíduos é antiga no Brasil. Em 1979, com a crise mundial do petróleo, o setor assumiu o compromisso com o governo federal de reduzir o consumo e promover a substituição dos derivados do óleo. Seis anos depois, a taxa de substituição era de 95% (ABCP, 2006).

Em parte, isso foi possível graças ao potencial do país para co-processar resíduos, que atualmente chega a 1,5 milhão de toneladas por ano. O processo é feito de acordo com normas nacionais e internacionais e não afeta a qualidade do cimento produzido. Além dos ganhos ambientais, tem também as vantagens econômicas, já que gera empregos e impostos (ABCP, 2006).

Os tipos de materiais reutilizados variam conforme as normas de cada país e de cada indústria. Para tanto, a CSI desenvolveu algumas “diretrizes do co-processamento”:

Compromissos assumidos individualmente pelas empresas da CSI.

- Aplicar o conjunto de ações das "Orientações para a Seleção e Uso de combustíveis e matérias-primas na produção de cimento".

Diretrizes do co-processamento

O objetivo das diretrizes do co-processamento é atingir os benefícios da utilização de combustíveis e matérias-primas alternativas de maneira responsável. Seus principais pontos são:

- Garantir saúde e segurança por meio do protocolo de resíduos, equipamento, treinamento, controles, monitoramento de saúde e planos de emergência.

- Recusar a lista de resíduos banidos (nucleares, de saúde infecciosos, armas químicas ou biológicas destinadas à destruição, baterias, resíduos não conhecidos ou não especificados).

- Garantir a qualidade do produto: ele deve permanecer dentro das especificações e ser submetido ao controle ambiental (testes de lixiviação).

- Cumprir requisitos legais e promover as melhores práticas: obter as licenças e atender as condicionantes, avaliar os riscos de saúde e segurança antes da utilização dos resíduos, mesmo quando as autoridades locais não exigem.

- Monitorar e controlar as entradas, os processos, os produtos e as emissões: avaliar as propriedades físicas e químicas

- Monitorar e controlar as entradas, os processos, os produtos e as emissões: avaliar as propriedades físicas e químicas, controlar os metais voláteis (Hg, Cd, Tl) e os metais pesados que são lixiviados (testes de lixiviação), garantir a rastreabilidade dos resíduos da recepção até o tratamento final e se os pontos de alimentação dos AFR (sigla em inglês para *alternative fuels e raw materials*, ou seja, combustíveis e matérias-primas alternativas) são adequados.

- Monitorar e controlar as entradas, os processos, os produtos e as emissões: monitorar as emissões de acordo com as diretrizes do documento "Monitoramento das Emissões".

- Comunicar transparentemente.

- Manter o ambiente seguro quando utilizados AFR: assegurar que os efluentes não irão degradar o meio ambiente.

- Estocagem e manuseio dos AFR: deverão ser realizados de modo a evitar vazamentos, lixiviação e emissões fugitivas, odores e barulho a níveis razoáveis.

Como medir o progresso

As companhias que compõem a CSI concordaram em monitorar, reduzir e reportar os seguintes indicadores de performance:

- **USO DE ENERGIA**

  - Taxa de substituição energética por combustíveis fósseis alternativos.

  - Ttaxa de substituição energética por biomassas.

- **USO DE MATÉRIAS-PRIMAS**

  - Taxa de substituição de matérias-primas tradicionais por matérias-primas alternativas.

  - Fator clínquer/cimento: razão entre o consumo de clínquer e a produção de cimento, calculado de acordo com o protocolo de cimento da CSI.

Como apresentado nesta seção, a iniciativa de sustentabilidade do cimento estabeleceu uma agenda de ações de vanguarda para o uso sustentável de combustíveis e matérias-primas, sendo as diretrizes bastante claras no que se refere à promoção das melhores práticas mesmo quando as autoridades locais não exigem.

Desta forma, as empresas que fazem parte dessa iniciativa têm o compromisso de serem umas das impulsionadoras na melhoria das políticas públicas rumo ao desenvolvimento sustentável.

Esta dissertação de mestrado tem como objetivo complementar a tradução das diretrizes estabelecidas no *Guidelines for the selection and use of fuels and raw materials in the cement manufacturing process* (CSI, 2005), em um procedimento prático que possa ser utilizado pelas indústrias cimenteiras no Brasil na avaliação de combustíveis e matérias-primas para a indústria de cimento de forma responsável.

4.4.3 Saúde e segurança dos funcionários

A CSI desenvolveu sistemas efetivos para medir, monitorar e relatar o desempenho das empresas que participam da iniciativa, a fim de trocar informações que possam ser usadas e transformadas em recomendações para a prevenção de acidentes e a melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores.

Informações de 14 dos 16 membros da CSI mostram que

> [...]as principais causas de morte são acidentes com veículos, quedas de grandes alturas e problemas associados aos procedimentos de isolamento de sistemas elétricos. Avaliações preliminares indicam como causas freqüentes de acidentes com afastamento: quedas, escorregamentos, tropeços, impactos decorrentes de quedas de objetos e manejo impróprio de ferramentas e equipamentos (CSI, 2005).

Esses fatores foram analisados e discutidos pela força-tarefa da CSI em saúde e segurança, com a intenção de auxiliar as empresas a desenvolver programas de prevenção de acidentes mais eficazes. A necessidade de melhorar e expandir a cultura da segurança no trabalho entre os funcionários e os contratados constitui outra meta. O principal objetivo é atingir a marca de zero acidente no ambiente de trabalho.

Os compromissos assumidos individualmente pelas empresas da CSI.

Aplicar as recomendações da força-tarefa de saúde e segurança nos sistemas de gestão, no monitoramento dos dados e nos processos públicos de prestação de contas.

Como medir o progresso

O desempenho na área de saúde e segurança é verificado de acordo com os seguintes indicadores:

FATALIDADES

- Número de fatalidades e taxa de fatalidade por 10 mil empregados diretos.
- Número de fatalidades para empregados indiretos (contratados e subcontratados).
- Número de fatalidades envolvendo terceiros (não contratados diretos ou indiretos).

ACIDENTES COM AFASTAMENTO

- Acidentes com afastamento e taxa de freqüência (por 1 milhão de homens-horas), para empregados diretos.
- Número de acidentes com afastamento para empregados indiretos (contratados e subcontratados).

4.4.4 Redução das emissões

O processo de produção de cimento implica a emissão de certos tipos de gases na atmosfera. Essas emissões são monitoradas e divulgadas conforme normas locais, nacionais e, em alguns casos, internacionais – há diversos métodos efetivos para garantir o respeito aos limites de emissões.

Como os sistemas de medição e divulgação variam de acordo com a empresa e o país onde ela se encontra, a CSI desenvolveu um protocolo para o monitoramento das emissões. Material particulado, óxidos de nitrogênio (NOx) e os compostos de enxofre (SOx) foram considerados os principais poluentes em termos de volume, mas as empresas participantes também concordaram em monitorar a emissão de outras substâncias, tais como dioxinas e furanos, compostos orgânicos voláteis e os metais pesados (mercúrio, cádmio e tálio).

Como parte da iniciativa, cada empresa estabeleceu metas individuais e se comprometeu a monitorar e publicar as emissões até o final de 2006, baseadas em indicadores de performance comuns aos membros da CSI. Assim, os *stakeholders* da indústria cimenteira passam a dispor de informações claras e confiáveis sobre a natureza das emissões, seus impactos e o que se está fazendo para reduzi-las.

Os compromissos assumidos individualmente pelas empresas da CSI

- Aplicar as recomendações do protocolo de medição, monitoramento e divulgação das emissões.

- Disponibilizar os dados sobre emissões e deixá-los acessíveis aos *stakeholders* até 2006.

- Estabelecer metas de redução das emissões para os poluentes relevantes e relatar publicamente as melhorias.

4.4.5 Impactos locais e nas comunidades

A ferramenta mais importante para medir os impactos ambientais e sociais é a *Environmental and Social Impact Assessment* (ESIA, ou Avaliação do Impacto Ambiental e Social), um conjunto de diretrizes elaborado por consultores independentes, órgãos governamentais, instituições financeiras e ONGs, dentre outros *stakeholders* da indústria do cimento, sob a coordenação do WBCSD (Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável, na sigla, em inglês).

As empresas signatárias da CSI comprometeram-se a elaborar individualmente planos específicos de reabilitação para as minas em atividade – os planos de descomissionamento –, os quais devem ser comunicados aos *stakeholders* locais e regularmente revistos e atualizados. Para tanto, a CSI estabeleceu diretrizes baseadas na ESIA, prevendo informações sobre diversas fases da operação da unidade – dependendo do caso, desde a construção da fábrica até o seu fechamento.

Os compromissos assumidos individualmente pelas empresas da CSI

- Aplicar as orientações da ESIA e desenvolver ferramentas para integrá-las ao processo de decisão.

- Estabelecer planos de reabilitação das minas em operação e das áreas das fábricas e divulgá-los aos *stakeholders* até 2006.

4.4.6 Divulgação e comunicação

As empresas que fazem parte da CSI acreditam que os princípios e as metas relacionados à sustentabilidade, presentes na estratégia que rege sua maneira de fazer negócios, devem permear os processos de tomada de decisão e disseminar-se em todas as atividades da indústria cimenteira. Para tanto, é imprescindível que a visão de sustentabilidade integre-se aos sistemas internos de gestão.

As corporações assumiram o compromisso de incentivar seus funcionários e outras empresas do setor a seguir esse caminho, o que pode ser feito com o desenvolvimento de programas de capacitação e com a adoção de códigos de conduta e práticas avançadas de governança, por exemplo. Mais que isso, comprometeram-se a disponibilizar aos *stakeholders* todas as informações necessárias para que eles acompanhem e fiscalizem esse movimento rumo à sustentabilidade. A comunicação e o relato dos indicadores de performance e das metas conjuntas e específicas estabelecidos pela CSI possibilitam aos *stakeholders* internos e externos acessar e avaliar o desempenho de cada companhia. É mais que uma mera prestação de contas, trata-se de uma forma de mostrar que a indústria do cimento contribui para a busca de uma sociedade mais sustentável.

Os compromissos assumidos individualmente pelas empresas da CSI

- Integrar os programas de desenvolvimento sustentável aos sistemas de gestão, monitoramento e comunicação existentes.
- Publicar um documento sobre ética nos negócios até 2006.
- Estabelecer um processo sistemático de comunicação com os *stakeholders* para entender e responder às suas expectativas.
- Relatar os progressos do processo de comunicação com os *stakeholders*.
- Desenvolver um sistema de gestão ambiental auditável para todas as plantas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O objetivo deste capítulo é apresentar o procedimento e critérios gerais empregados no estudo de avaliação de risco do co-processamento de resíduos e seus respectivos procedimentos e critérios específicos nas áreas de impacto: saúde e segurança, meio ambiente, qualidade do produto e processo produtivo.

5.1 Características gerais do estudo

O estudo realizado constituiu no desenvolvimento de um procedimento para a avaliação de riscos no co-processamento de resíduos industriais em fornos de clínquer, com o objetivo de verificar as medidas de controle adicionais, quando aplicáveis, necessárias para auxiliar o processo de análise de aceite de resíduos para o co-processamento.

Os procedimentos para avaliação dos riscos associados à utilização de resíduos industriais no co-processamento basearam-se nos critérios gerais da Norma Australiana de Gerenciamento de Riscos (AS/NZS 4360:1999), com foco nas substâncias químicas presentes no resíduo e nas áreas de impacto selecionadas (saúde e segurança, meio ambiente, qualidade do produto e processo produtivo) para apontar os riscos de novos resíduos ou os riscos já existentes para resíduos atualmente co-processados, imaginando-se o cenário atual de uma determinada fábrica de cimento. Os critérios de corte utilizados para a classificação de substâncias químicas presentes no resíduo foram os estabelecidos na Diretiva Européia 1999/45/EC.

Tal procedimento foi aplicado, a título de exemplo, a quatro resíduos industriais comumente co-processados no Brasil pela indústria cimenteira: SPL em três cenários de utilização, borra ácida., borra de fundo de tanque da indústria petrolífera, pó de aciaria da indústria de aço.

A seleção dos exemplos de resíduos seguiu os seguintes critérios: a) grande representatividade dos resíduos selecionados no volume total de resíduos co-processados no Brasil; b) tipologias diferenciadas para a verificação da aplicabilidade da metodologia em uma ampla faixa de caracterização físico-quimica.

Através da comparação dos limites de corte apresentados na seção 4.2.7 Como os resíduos são misturas de vários componente alguns deles podem não contribuir de forma significativa para que o resíduo seja classificado como perigoso. Para excluir esses componentes e facilitar o processo de avaliação de riscos foram utilizados limites de corte da Diretiva Européia para a

classificação de misturas. Componentes que estejam abaixo dessas concentrações portanto não serão classificados como perigoso.

No estudo foram considerados os limites da Diretiva Européia 1999/45/EC, pois, no caso do co-processamento, os resíduos representam matérias-primas e combustíveis alternativos para a fabricação de cimento.

5.2 Procedimentos gerais para estimar o risco

No fluxograma apresentado na figura 5.1, as cinco etapas básicas para a gestão de risco para o aceite de resíduos para co-processamento são descritas:

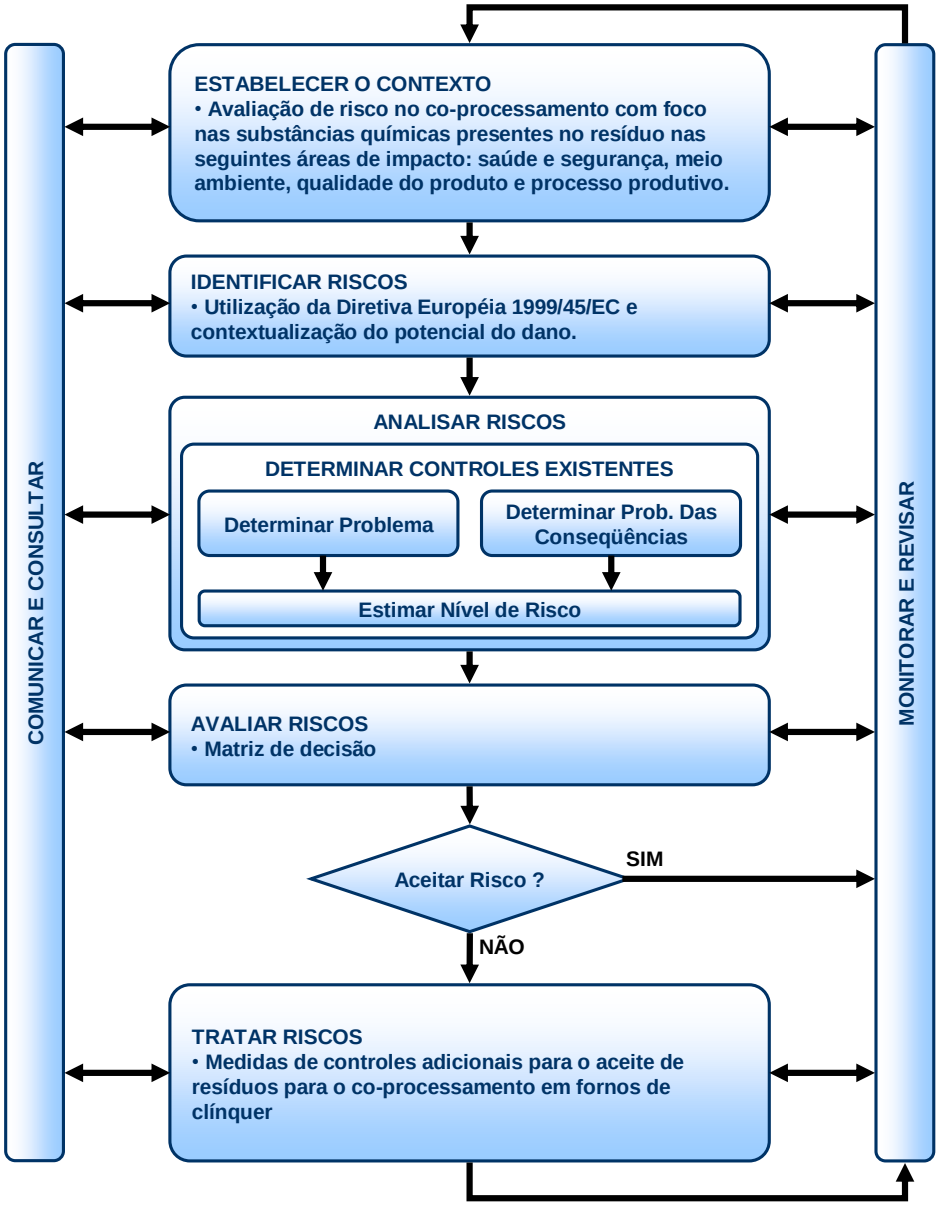


Figura 5.1 – Gestão de risco

Fonte: AS/NZS 4360:1999. Modificado pela autora.

Estabelecimento do contexto

Nesta estapa foram definidos os objetivos, procedimentos e estrutura de gestão de riscos.

No estudo realizado, o enfoque se deu nas substâncias químicas presentes nos resíduos e as áreas de impacto selecionadas foram saúde e segurança do trabalhador, meio ambiente, qualidade do produto e processo produtivo.

Identificação do risco

Nessa etapa foi utilizada a Diretiva Européia 1999/45/EC para a classificação das substâncias químicas presentes no resíduo que potencialmente poderiam causar danos.. Uma vez classificadas as substâncias químicas, identificou-se que conseqüências adversas ou danos poderiam efetivamente acontecer no co-processamento do resíduo e como isto poderia acontecer.

A identificação dos riscos foi feita considerando-se o contexto de utilização do resíduo – tais como forma de injeção, ponto de injeção, etc. –.

Análise do risco

Essa terceira etapa envolve:

a. a determinação dos controles existentes ,

b. a determinação de índices probabilidade das conseqüências estabelecidas nos itens anteriores e índices de gravidade ou severidade dessas conseqüências;

c. a estimativa do nível ou categoria de risco através de uma matriz de risco.

As tabelas 5.1 e 5.2 apresentam, respectivamente, os de índices de conseqüências e de índices de probabilidade, propostos a partir da adaptação dos índices propostos no Apêndice E da Norma Australiana de Gerenciamento de Riscos.

Tabela 5.1 –Índices para estimativa da conseqüência ou impacto.

Nível	Descrição	Exemplo de detalhe de descrição
1	Insignificante	Sem lesões ou prejuízos financeiros
2	Menor	Tratamento de primeiros socorros, contenção imediata no local das substâncias liberadas, prejuízo financeiro médio
3	Moderada	Necessidade de tratamento médico, contenção das substâncias liberadas no local requer auxílio externo, alto nível de prejuízo financeiro
4	Maior	Grande número de lesões, perda de capacidade de produção, liberação de substâncias fora do local sem efeitos negativos, grande perda financeira
5	Catastrófica	Mortes, liberação de substâncias tóxicas fora do local com grande efeito negativo, perdas financeiras imensas

Fonte: AS/NZS 4360:1999; Trivelato, 2006. Modificado pela autora.

Tabela 5.2 – Índices de probabilidade

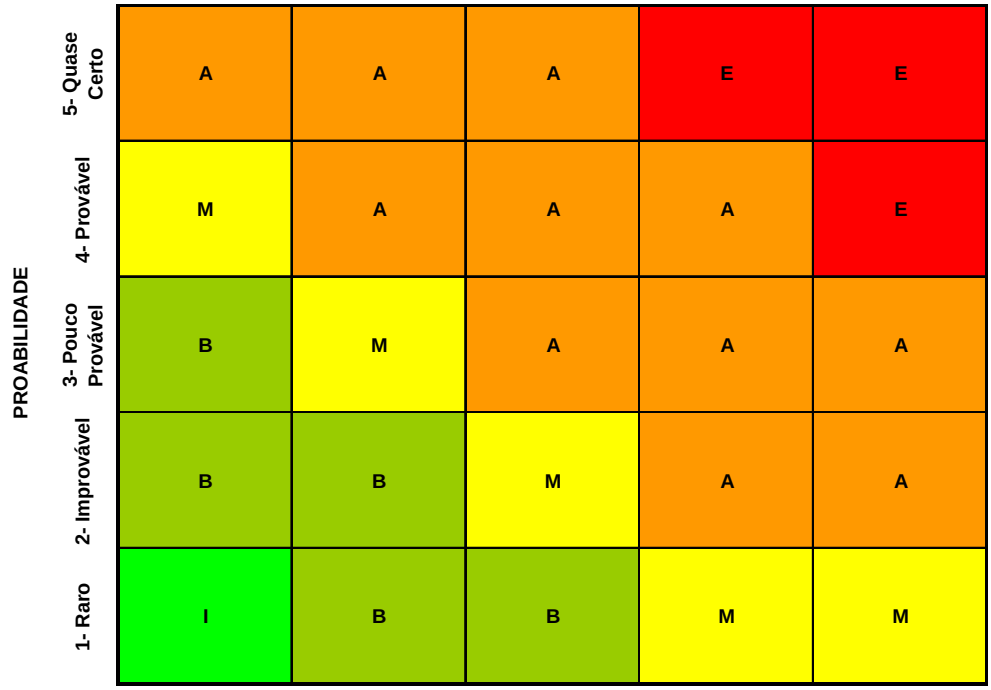
Nível	Descrição	Descrição
5	Quase certo	Deve ocorrer na maioria das circunstâncias
4	Provável	Provavelmente ocorrerá na maioria das circunstâncias
3	Pouco Provável	Deve ocorrer em algum momento
2	Improvável	Pode vir a ocorrer em algum momento
1	Raro	Talvez ocorra somente em circunstâncias excepcionais

Fonte: AS/NZS 4360:1999; Trivelato, 2006. Modificado pela autora.

Essas tabelas foram adaptadas para definir os critérios específicos para cada uma das áreas de impactos: saúde e segurança do trabalhador, meio ambiente, qualidade do produto e processo produtivo.

Avaliação do risco

Com base na análise de risco descrita anteriormente, o julgamento do risco é feito através da matriz de risco, apresentada na figura 5.2, que combina índices de prioridade e conseqüência para se definir cinco categorias de importância de riscos – E (risco Extremo), A (risco alto), M (risco moderado), B (risco baixo) e I (risco irrelevante). Para cada categoria de risco são definidas prioridades que orientam o processo de tomada de decisão. . Essa matriz de decisão é única e será utilizada em todas as áreas de impacto (saúde e segurança, meio ambiente, qualidade do produto e processo produtivo).



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 5.2- Matriz de nível de risco para análise qualitativa de risco.
Fonte: AS/NZS 4360:1999 ; Trivelato, 2006. Modificado pela autora.

Tratamento do risco

Nessa etapa são verificadas as medidas de controle adicionais que serão necessárias , quando aplicáveis, para o aceite de resíduos para co-processamento em fornos de clínquer.

5.3 Critérios específicos para estimar o Risco e respectivos procedimentos

5.3.1 Riscos à Saúde e Segurança

A aplicação do procedimento de gestão de risco descrito na figura 5.1 para a análise de aceite de resíduos para o co-processamento, no que se refere à saúde e segurança do trabalhador, é assim descrito:

Estabelecimento do contexto

Foi feita a análise dos riscos envolvidos no co-processamento de resíduos em fornos de clínquer em relação à saúde e à segurança, com o objetivo de verificar as medidas de controle adicionais, caso aplicáveis, necessárias para auxiliar o processo de decisão de aceite de resíduos.

Etapas analisadas

O volume de controle analisado para a questão de saúde e segurança foram as etapas três – resíduos blendados e diretos: amostragem e descarregamento do resíduos; quatro – manuseio do resíduos através das diversas operações unitárias: mistura, britagem, picagem e peneiramento – e cinco – transporte da mistura de resíduos aos pontos de armazenamento e/ou pontos de injeção de resíduos, conforme descrito na figura 4.4 - Ciclo de vida do co-processamento. Como pode ser inferido, não foram consideradas as operações externas à fábrica de cimento nessa etapa.

Identificação do risco

Passo 1-8: Informações sobre os potenciais de dano do resíduo utilizando-se o catálogo de resíduos da comunidade européia e o manual de classificação de resíduos da agência ambiental do Reino Unido (CHIP 3, 2005).

Passo 9: Caracterizar a composição do resíduo (utilizando informações do gerador do resíduo, fluxogramas do processo gerador do resíduo, entrevistas com o gerador do resíduo, informações contida no catálogo de resíduos da comunidade européia, internet, livros e outras fontes de informações).

Passo 10: Determinar, com base no processo gerador do resíduo, e nos cátions e ânions presentes, como esta substância se encontra no resíduo. Se não for possível avaliar a forma como a substância se encontra no resíduo, o pior cenário deverá ser utilizado para a avaliação do resíduo.

Passo 11: Classificar os componentes que contribuem para a periculosidade do resíduo, idenficando as frases de risco que se aplicam. Pode-se utilizar para isto o ASL (*Approved Supply List, do Reino Unido*) ou fontes alternativas, tais como a ficha de segurança, devem ser utilizados para todas as frases de risco do resíduo.

A fonte de informações utilizadas para a classificação de cada uma das substâncias foi a "Approved Supply List" (ASL, 8ª. edição) da Health and Safety Comission. Quando as informações não eram encontradas no ASL, outras bases de dados foram utilizadas. Essas outras bases de dados estão resumidas na tabela 5.3.

Tabela 5.3- Base de dados para a classificação das substâncias químicas

Base de Dados	Fornecedor	Endereço Web
ATSDR	Agency for toxic Substances and Disease Registry	http://www.atsdr.cdc.gov/hazdat.html
CHEM-FINDER (pseudo data base)	Cambridgsoft	http://chemfinder.cambridgesoft.com
European Inventory of Chemicals on European Inventory of Existing Chemicals (EINECS)	European Chemicals Bureau (ECB)	http://ecb.jrc.it/classification-labelling/
International Programme on Chemical Safety (IPCS INCHEM)	World Health Organization (WHO)	http://www.inchem.org/pages/icsc.html
Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS)	NIOSH	http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgsyn-a.html

Fonte: CHIP3, modificado pela autora.

Passo 12: Determinação das concentrações de corte das substâncias químicas e classificar as substâncias perigosas considerando as faixas de concentração limites para classificação.

Passo 13: Determinação dos cenários de uso e possíveis riscos

O procedimento para o levantamento do Potencial de dano do resíduo ou seja, classificação do resíduo nas categorias de gravidade ou conseqüências está descrito na figura 5.3.

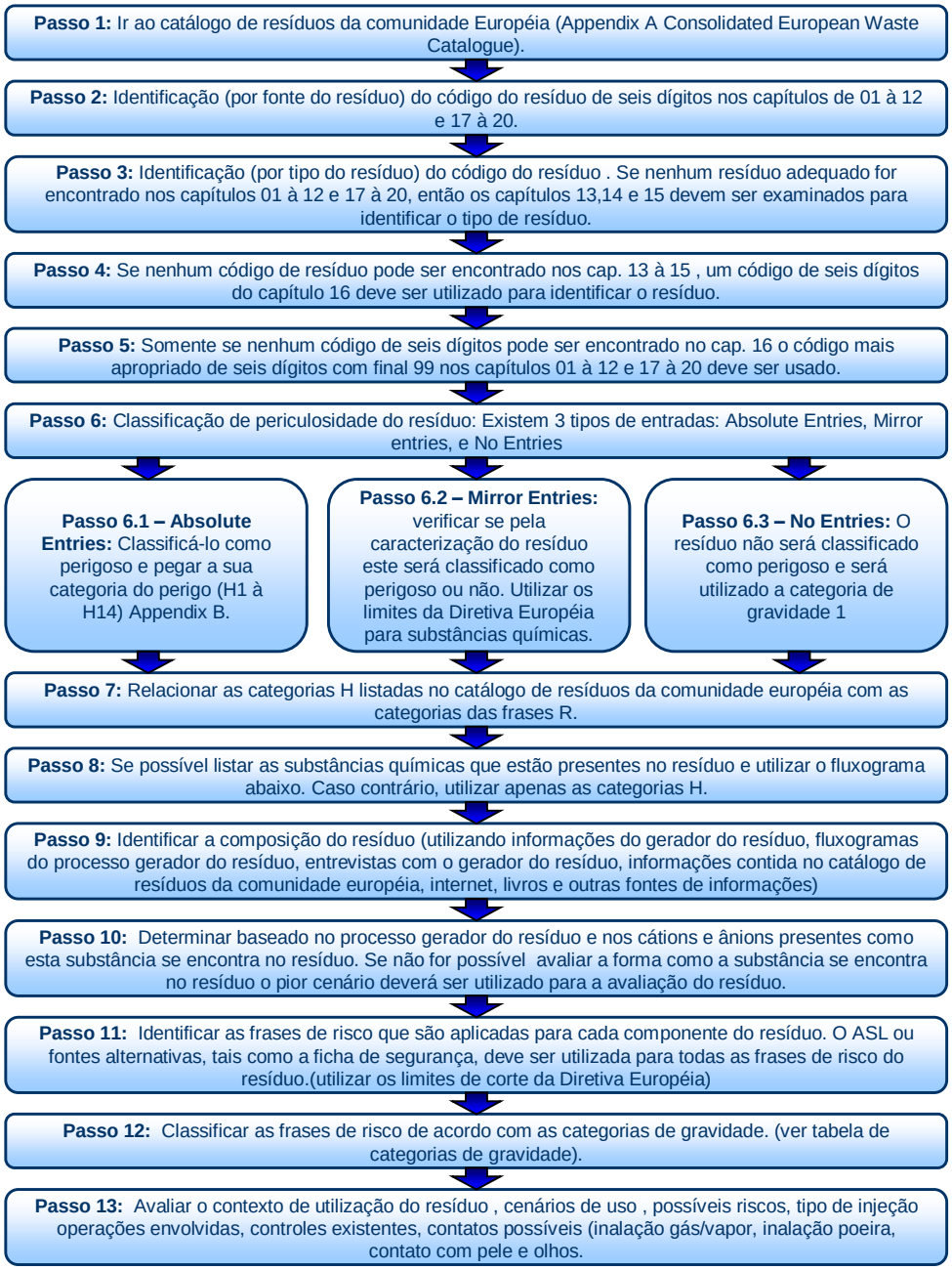


Figura 5.3- Fluxograma para a classificação do resíduo nas categorias de gravidade (conseqüência)

Análise do risco

Essa terceira etapa envolve:

a. a determinação dos controles existentes ,

b. a determinação da probabilidade das conseqüências estabelecidas nos itens anteriores e respectivas índices de conseqüências ou gravidade .

c. a estimativa do nível ou categoria de risco através da matriz de risco.

As tabelas 5.4 e 5.5 apresentam, respectivamente, as tabelas de índices de conseqüências gerais para a saúde e a segurança e os índices de consequências à saúde humana baseado nas frases R e frases H (CHIP3).

Tabela 5.4- Tabela de indices de conseqüências gerais - Danos à saúde humana.

Índices de Consequência	Descrição	Danos à SST
1	Insignificante	Sem lesões
2	Menor	Danos que requerem apenas tratamento de primeiros socorros
3	Moderada	Danos com necessidade de tratamento médico
4	Maior	Grande número de lesões, morte, doença ou lesão incapacitante.
5	Catastrófica	Mortes múltiplas > de 3 mortes

.
Fonte: AS/NZS 4360: 1999

Tabela 5.5- Tabela de indices de conseqüências com base nas frases R e frases H (CHIP3). - Danos à saúde humana.

Índices de Consequência	Descrição	Frases R	Frases H (CHIP 3)
1	Insignificante	R67	
2	Menor	R20, R21, R22, R36, R37, R38, R40 cat.1, R45 cat.3, R46 cat.3, R49 cat.3, R60 cat.3, R61 cat.3, R62 cat.3, R63 cat.3, R64 cat.3,	H5, H4,

		R65, R66	
3	Moderada	R23, R24, R25, R29, R31, R34 (pele e olhos), R45 cat.2, R46 cat.2, R49 cat.2, R48, R60 cat.2, R61 cat.2, R62 cat.2, R63 cat.2, R64 cat.2, R68	H6(T), H12, H8, H5 (Xn)
4	Maior	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R26, R27, R28, R32, R35, R39, R41, R42, R45 cat.1, R46 cat.1, R49 cat.1, R48 (incapacitante), R60 cat.1, R61 cat.1, R62 cat.1, R63 cat.1, R64 cat.1, R68 (incapacitante)	H1, H13, H2, H3B (ponto de fulgor 21°C-55°C), H3A (ponto de fulgor < 21°C), H3, H6(T+), H8, H4, H7, H11, H6(T), H10
5	Catastrófica	Dependendo das quantidades: R30, R31, R32, R33, R34, R35, R36, R37, R38, R39, R40, R41, R42, R43, R44 e categoria 4 podendo atingir mais de 3 pessoas.	categoria 4 podendo atingir mais de 3 pessoas.

As frases R combinadas deverão ser classificadas em função da frase mais restritiva (categoria de conseqüência mais severa).

O índice de gravidade ou conseqüência é intríseco ao resíduo e não depende do contexto de sua utilização. Esses índices foram utilizados nas as avaliações de saúde e segurança para seres humanos, quer sejam decorrentes de exposições ocupacionais ou ambientais.

Para definição do indice de probabilidadeforam utilizados três níveis de avaliação conforme a disponibilidade de informações: análise qualitativa, semi-quantitativa e quantitativa.

As categorias genéricas de probabilidades estão resumidas na tabela 5.6.

Tabela 5.6- Índices de probabilidades de danos à saúde e segurança

Índices de Probabilidade	Análise Quantitativa	Análise Semi-quantitativa	Análise Qualitativa
1	E/LEO : < 0,1	E estimada/LEO : < 0,1	As condições de controle representam as melhores práticas disponíveis (equipamento de controle coletivo, enclausuramento total do tratamento de resíduo (circuito fechado), sistema de tratamento de compostos orgânicos voláteis, etc. A inalação de gases ou vapores em qualquer operação de manuseio de resíduos (importante: fração volátil), o contato com a pele ou olhos (irritantes, corrosivos, sensibilizantes) e a inalação de poeiras e contato com a pele e olhos talvez ocorra somente em circunstâncias excepcionais.
2	E/LEO : > 0,1- < 0,5	E estimada /LEO : > 0,1- < 0,5	As condições de controle representam boas práticas tais como utilização de equipamentos de controle coletivo e equipamentos de controle individual em todas as situações de exposição. A inalação de gases ou vapores em qualquer operação de manuseio de resíduos (importante: fração volátil) , o contato com a pele ou olhos (irritantes, corrosivos, sensibilizantes) e a inalação de poeiras e contato com a pele e olhos pode vir a ocorrer em algum momento.
3	E/LEO : > 0,5-< 1,0	E estimada /LEO : > 0,5-< 1,0	As condições de controle representam boas práticas tais como utilização de equipamentos de controle individual na maioria das situações de exposição. A inalação de gases ou vapores em qualquer operação de manuseio de resíduos (importante: fração volátil) , o contato com a pele ou olhos (irritantes, corrosivos, sensibilizantes) e a inalação de poeiras e contato com a pele e olhos deve ocorrer em algum momento.
4	E/LEO : > 1,0 -< 3,0	E estimada /LEO : > 1,0 -< 3,0	As condições de controle são insuficientes na maioria das situações de exposição. A inalação de gases ou vapores em qualquer operação de manuseio de resíduos (importante: fração volátil) , o contato com a pele ou olhos (irritantes, corrosivos, sensibilizantes) e a inalação de poeiras e contato com a pele e olhos provavelmente ocorrerá na maioria das circunstâncias.

Índices de Probabilidade	Análise Quantitativa	Análise Semi-quantitativa	Análise Qualitativa
5	E/LEO > 3,0	E estimada /LEO > 3,0	As condições de controle são insuficientes em todas as situações de exposição. A inalação de gases ou vapores em qualquer operação de manuseio de resíduos (importante: fração volátil) , o contato com a pele ou olhos (irritantes, corrosivos, sensibilizantes) e a inalação de poeiras e contato com a pele e olhos deve ocorrer na maioria das circunstâncias.

Legenda:

E real- Exposição ocupacional ao agente analisado do resíduo avaliada.

LEO- Limite de exposição ocupacional ao agente analisado

E estimada- Exposição ocupacional ao agente analisado estimada, ou seja, a exposição já existente na fábrica sem a presença desse resíduo (medições anteriores) ou à exposição a um resíduo com propriedades semelhantes.

Nessa etapa é fundamental a avaliação do cenário de uso do resíduo e o levantamento dos possíveis riscos já descritos anteriormente na seção 4.1.2 – Co-processamento de resíduos industrias em fornos de cimento, para as etapas três, quatro e cinco.

Avaliação do risco

A matriz de risco para o processo de tomada de decisão é a mesma para todas as áreas de impacto e já foi descrita na seção de critérios gerais para estimar o risco.

Tratamento do risco

Nessa etapa foram verificadas as medidas de controle adicionais necessárias, quando aplicáveis, para o aceite de resíduos para co-processamento em fornos de clínquer. Dentre os possíveis controles adicionais, podem ser citados:

1. Modificação do ponto de injeção de resíduo.
2. Modificação da forma de injeção do resíduo.
3. Modificação do processo de blendagem das misturas.
4. Isolamento das áreas mais críticas de forma a evitar o compartilhamento geral do risco.

5. Reduzir fontes geradoras de poeiras.

6. Cobertura das correias transportadoras de resíduos.

7. Reavaliar os dispositivos de captação seguindo as recomendações do manual de ventilação industrial da ACGIH.

8. Implantar sistemas de exaustão de poeiras geradas no processo de manuseio do resíduo.

9. Utilização adequada dos EPI.

10. Especificar adequamente os EPI´s em função dos riscos levantados para o resíduo

11. Adequar a proteção respiratória nas operações onde exista a emanação de gases em altas concentrações.

5.3.2 Riscos ao meio ambiente

A avaliação dos riscos associados ao meio ambiente foi realizada em quatro áreas de impacto específicas, quais sejam: avaliação geral, emissões atmosféricas, poeira do cimento e qualidade ambiental do cimento. Nesta seção serão apresentados os critérios e procedimentos específicos para cada uma das áreas de impacto.

Avaliação geral

A determinação do índice de conseqüência utiliza critérios gerais de perigos para o meio ambiente estabelecidos no sistema de classificação de substâncias proposto pelas diretivas européias relacionados, principalmente, aos efeitos adversos à flora e à fauna.

O sistema de classificação da comunidade européia já possui uma classificação com relação aos efeitos das substâncias para o meio ambiente, conforme demonstrado a seguir. Caso as substâncias sejam classificadas, o agrupamento das frases R nos índices de gravidade foi considerado o seguinte:

Tabela 5.7- Classificação das frases R de meio ambiente nos índices de gravidade

Frases R	Descrição	Índice de Gravidade
R50	Muito tóxica para organismos aquáticos	4
R51	Tóxica para organismos aquáticos	3
R52	Nociva aos organismos aquáticos.	2
R53	Pode causar efeitos de longo prazo nos ambientes aquáticos.	3
R54	Tóxico para a flora	2
R55	Tóxico para a fauna	2
R56	Tóxico para organismos do solo	2
R57	Tóxico para abelhas	2
R58	Pode causar efeitos adversos de longo prazo ao meio ambiente	2
R59	Afeta a camada de ozônio	3

As frases R de meio ambiente combinadas deverão ser classificadas segundo a frase R mais restritiva.

Essa é a primeira avaliação geral em relação ao meio ambiente que deverá ser realizada.

Os índices de probabilidade serão estimados de maneira qualitativa em função dos controles existentes e do contexto analisado.

Tabela 5.8- Índices de probabilidade da avaliação geral de meio ambiente

Índices de Probabilidade	Análise Qualitativa
1	As condições de controle representam as melhores práticas disponíveis : armazenamento adequado do resíduo segundo os critérios estabelecidos nas NBR´s para os tipos de estocagem em função da classe do resíduo estabelecido na NBR10004. Existem controles e monitoramentos dos efluentes líquidos, água subterrânea e coleta de amostras de solo para verificar possíveis contaminações.
2	As condições de controle representam boas práticas disponíveis : armazenamento adequado do resíduo segundo os critérios estabelecidos nas NBR´s para os tipos de estocagem em função da classe do resíduo estabelecido na NBR10004.
3	As condições de controle existem : armazenamento adequado do resíduo segundo os critérios estabelecidos nas NBR´s para os tipos de estocagem em função da classe do resíduo estabelecido na NBR10004. No entanto em algum momento os controles podem não ser suficientes fazendo com que as emissões possam exceder os valores de referência em algum momento (exemplo: estocagem fora das áreas adequadas por algum motivo, etc..).
4	As condições de controle são insuficientes na maioria das situações (estocagem inadequada dos resíduos).
5	As condições de controle são insuficientes em todas as situações (estocagem inadequada dos resíduos).

Estabelecimento do contexto

Foram analisados os riscos envolvidos no co-processamento de resíduos em fornos de clínquer em relação ao meio ambiente (avaliação geral), os impactos à flora e à fauna, com o objetivo de verificar as medidas de controle adicionais, caso aplicáveis, necessárias para auxiliar o processo de decisão de aceite de resíduos.

Etapas analisadas

Essa avaliação geral é valida para todas as etapas que envolvem o resíduo antes da destruição térmica do mesmo, ou seja, conforme a figura 4.4 – Ciclo de vida do co-processamento (pág.42); as etapas um – acondicionamento do resíduo no gerador e carregamento do resíduo; dois – transporte do resíduo do gerador às plantas de blendagem ou diretamente às fábricas de cimento; três – resíduos blendados e diretos: amostragem e descarregamento do resíduos; quatro – manuseio do resíduo através das diversas operações unitárias: mistura, britagem, picagem e peneiramento; cinco – transporte da mistura de resíduos aos pontos de armazenamento e/ou pontos de injeção de resíduos

Identificação do risco

Passo 1-8: Informações sobre os potenciais de dano do resíduo através do catálogo de resíduos da comunidade européia.

Passo 9: Identificar a composição do resíduo (utilizando informações do gerador do resíduo, fluxogramas do processo gerador do resíduo, entrevistas com o gerador do resíduo, informações contidas no catálogo de resíduos da comunidade européia, internet, livros e outras fontes de informações).

Passo 10: Determinar, com base no processo gerador do resíduo e nos cátions e ânions presentes, como essa substância se encontra no resíduo. Se não for possível avaliar a forma como a substância se encontra no resíduo, o pior cenário deverá ser utilizado para a avaliação do resíduo.

Passo 11: Identificar as frases de risco de meio ambiente (R50-R59) que são aplicadas para cada componente do resíduo. O ASL (Approved Supply List) ou fontes alternativas, tais como a ficha de segurança, deve ser utilizada para todas as frases de risco do resíduo.

Passo 12: Determinação das concentrações de corte das substâncias químicas.

Passo 13: Determinação dos cenários de uso e possíveis riscos

Análise do risco

O eixo gravidade ou conseqüência só depende do resíduo e não do contexto da sua utilização. O eixo de gravidade com as frases R de meio ambiente só foi utilizada na avaliação geral de meio ambiente. As outras avaliações ambientais (emissões atmosféricas, poeira do cimento e qualidade ambiental do cimento) seguiram o mesmo índice de gravidade utilizada na avaliação de saúde e segurança, uma vez que tais riscos impactam na saúde humana.

No índice de probabilidades foi utilizada a avaliação qualitativa já descrita anteriormente na tabela 5.8, de probabilidade da avaliação geral de meio ambiente.

Nessa etapa é fundamental a avaliação do cenário de uso do resíduo e o levantamento dos possíveis riscos descritos na seção 4.1.2 – Co-processamento de resíduos industriais em fornos de cimento, para as etapas um a cinco, assim como do tipo de injeção do resíduo, as das operações envolvidas, os dos ontroles existentes

Os riscos possíveis: acidente durante o transporte do resíduo, vazamentos durante todas as operações envolvidas com o resíduo, geração de poeiras fugitivas, etc.

Avaliação do risco

A matriz de decisão é a mesma para todas as áreas de impacto e já foi descrita na seção de critérios gerais para estimar o risco.

Tratamento do risco

Nessa etapa foram verificadas as medidas de controle adicionais necessárias, quando aplicáveis, para o aceite de resíduos para co-processamento em fornos de clínquer. Dentre os possíveis controles adicionais podemos citar:

- Acondicionamento adequado dos resíduos no gerador utilizando embalagens apropriadas segundo as características físico-químicas dos resíduos.
- Armazenamento temporário adequado dos resíduos conforme as NBR 11174 1 e NBR 12235, que estabelecem o armazenamento de resíduos classe II (não inertes)

e classe III (inertes) e o armazenamento de resíduos sólidos perigosos, respectivamente.

- Transporte segundo os requisitos estabelecidos na ANTT420.
- Treinamento e capacitação dos transportadores de resíduos e os caminhoneiros que realizam tal transporte.
- Reciclagem periódica dos caminhoneiros.
- Procedimentos internos para avaliação dos geradores e agenciadores de resíduos.
- Procedimentos internos para a avaliação das transportadoras.
- Forma e condições de descarregamento do resíduo nas plantas de blendagem ou cimenteiras que evitem o vazamento e derramamento.
- Sistemas de contenção adequados .
- Formas e condições de armazenamento temporário do resíduo antes do seu manuesio/injeção nos fornos de clínquer, conforme as NBR 11174 1 e NBR 12235, que estabelecem o armazenamento de resíduos classe II-(não inertes) e classe III (inertes) e o armazenamento de resíduos sólidos perigosos, respectivamente.
- Formas e condições de manuseio do resíduo adequados, com os respctivos sistemas de controle, durante todo o ciclo de operações unitárias realizadas: misturas, picagem, britagem, peneiramento, etc.
- Forma e condições do transporte do resíduo ou misturas de resíduos adequadas dentro da fábrica de cimento.
- Tipos de injeção do resíduo que minimizem o impacto ambiental: vazamentos, geração de poeiras fugitivas, etc.

Emissões atmosféricas

A segunda avaliação ambiental refere-se às possíveis emissões atmosféricas na principal fonte fixa da fabricação de cimento: o forno de clínquer.

O eixo gravidade foi o mesmo considerado na avaliação de saúde e segurança com exceção dos seguintes elementos:

- cádmio, do mercúrio e do tálio possuem um limite de corte menor do que o utilizado na avaliação de saúde e segurança em função da sua alta volatilidade (Sprung *et al*, 1984). Logo, para serem considerados do índice de gravidade 4 deverão atingir os valores de 100 ppm para Cd e Tl e 10 ppm para Hg.

- Devido ao fato do cobre ser um catalisador das reações de dioxinas e furanos, para que mesmo seja considerado do índice de conseqüência 4, deverá ter Cu > 5000 ppm no resíduo, e para ser considerado do índice de conseqüência 3, deverá ter teores de cobre no resíduo entre 1000-5000 ppm. Abaixo de 1000 e acima de 100 ppm será considerado do índice de conseqüência 2, e abaixo de 100 ppm do índice de conseqüência 1.

Estabelecimento do contexto

Procedeu-se à análise dos riscos envolvidos no co-processamento de resíduos em fornos de clínquer em relação às emissões atmosféricas, com o objetivo de verificar as medidas de controle adicionais, caso aplicáveis, necessárias para auxiliar o processo de decisão de aceite de resíduos.

Etapas analisadas

O volume de controle analisado para a questão das emissões atmosféricas foi a etapa seis – destruição térmica dos resíduos, conforme a figura 4.4. – Ciclo de vida do co-processamento.

Identificação do risco

Essa etapa segue os mesmos procedimentos já estabelecidos na mesma etapa para a identificação dos riscos à saúde e segurança.

Análise do risco

Os índices de consequências à saúde humana foram os mesmos utilizados para a avaliação de saúde e segurança descritos nas tabelas 5.4 e 5.5,

No eixo de probabilidades foram utilizados três níveis de avaliação conforme a disponibilidade de informações: análise qualitativa, semi-quantitativa e quantitativa.

Os índices de probabilidades estão resumidos na tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Índices de probabilidade da matriz de risco de meio ambiente (emissões atmosféricas)

Probabilidade	Quantitativa	Semi-quantitativa	Qualitativa
1	E atm real/VR : < 0,1	E estimada/VR : < 0,1	As condições de controle representam as melhores práticas disponíveis (filtro de mangas, fornos com menores fatores de emissão para dioxinas e furanos, excelente controle operacional, pontos de injeção adequados para cada tipo de resíduo, monitoramento contínuo das emissões com fator de marcha acima de 90% (MP, NOx, SOx, THC e Hg) e monitoramentos descontínuos semestrais (dioxinas e furanos, metais pesados), etc.
2	E atm real /VR : > 0,1- < 0,5	E estimada /VR : > 0,1- < 0,5	As condições de controle representam as boas práticas disponíveis (eletrofiltro bem operado, fornos com menores fatores de emissão para dioxinas e furanos, excelente controle operacional, pontos de injeção adequados para cada tipo de resíduo, monitoramento contínuo das emissões com fator de marcha acima de 90% (MP, NOx, SOx e THC) e monitoramentos descontínuos anuais (dioxinas e furanos, metais pesados), etc.
3	E atm real /VR : > 0,5-< 1,0	E estimada /VR : > 0,5-< 1,0	As condições de controle existem (eletrofiltro ,controle operacional, pontos de injeção adequados para cada tipo de resíduo, monitoramento contínuo das emissões com fator de marcha acima de 90% (MP, NOx, SOx e THC) e monitoramentos descontínuos bianuais (dioxinas e furanos, metais pesados), etc. No entanto, em algum momento os controles podem não ser suficientes, fazendo com que as emissões excedam os valores de referência em algum momento.
4	E atm real /VR : >	E estimada /VR : >	As condições de controle são insuficientes na maioria das situações (eletrofiltro com operação deficiente,

Probabilidade	Quantitativa	Semi-quantitativa	Qualitativa
	1,0 -< 3,0	1,0 -< 3,0	pobre controle operacional, tecnologia de fornos com fatores de emissão de dioxinas e furanos maiores). Monitoramento contínuo com baixo fator de marcha e monitoramentos descontínuos sem freqüência estabelecida.
5	E atm real /VR > 3,0	E estimada /VR > 3,0	As condições de controle são insuficientes em todas as situações (eletrofiltro com operação precária na maioria das vezes, pobre controle operacional, tecnologia de fornos com fatores de emissão de dioxinas e furanos maiores). Monitoramento contínuo com baixo fator de marcha e monitoramentos descontínuos sem freqüência estabelecida.

Legenda:

E atm real- Emissão atmosférica real ao agente analisado do resíduo avaliado (teste de queima do resíduo específico).

VR atm - Limite de emissão atmosférica ao agente analisado (ver tabela com os valores de VR atm)

E atm estimada- Emissão atmosférica ao agente analisado estimada, ou seja, o nível de emissão já existente na fábrica sem a presença desse resíduo (medições anteriores) ou à emissão à um resíduo com propriedades semelhantes.

No caso das emissões atmosféricas, o E atm estimado pode ser avaliado através das estimativas de volatilidade (Sprung *et al*, 1984) ou mesmo através de balanço de massa de metais no forno de clínquer.

Tabela com as VR atm. Os critérios adotados para as VR atm foram os seguintes:

- primeira escolha: limites para cada um dos agentes individuais na CONAMA 264/99
- segunda escolha: limites para cada um dos agentes individuais nas legislações estaduas brasileiras (em caso de mais de uma referência utilizou-se a mais restritiva)
- terceira escolha: o limite do agente individual em alguma norma internacional (neste caso utilizou-se a mais restritiva).
- Quarta escolha: foi utilizado o critério de somatório da conama 264/99.

Tabela 5.10 - VR atm para emissões atmosféricas

Item	VR (valor de referência)- valor de limite de emissão	Referência
THC	20 ppmv (7% de O2)	CONAMA 264/99
HF	5 mg/Nm3 (7% de O2)	CONAMA 264/99
HCl	1,8 kg (7% de O2)	CONAMA 264/99
Cd	0,10 mg/Nm3 (7% de O2)	CONAMA 264/99
Hg	0,05 mg/Nm3 (7% de O2)	CONAMA 264/99
Tl	0,10 mg/Nm3 (7% de O2)	CONAMA 264/99
As	0,02 mg/Nm3 (10% de O2)	TA Luft
Co	0,012 mg/Nm3 (10% de O2)	TA Luft
Ni	0,015 mg/Nm3 (10% de O2)	TA Luft
Se	0,013 mg/Nm3 (10% de O2)	TA Luft
Te	0,013 mg/Nm3 (10% de O2)	TA Luft
Sb	0,02 mg/Nm3 (10% de O2)	TA Luft
Pb	0,35 mg/Nm3 (10% de O2)	CONAMA 264/99
Cr	0,02 mg/Nm3 (10% de O2)	TA Luft
Cu	0,02 mg/Nm3 (10% de O2)	TA Luft
Mn	0,19 mg/Nm3 (10% de O2)	TA Luft
Pt	1,4 mg/Nm3 (7% de O2)- somatório classe 2	DN 026
Pd	1,4 mg/Nm3 (7% de O2)- somatório classe 2	DN 026
Rh	1,4 mg/Nm3 (7% de O2)- somatório classe 2	DN 026
V	0,015 mg/Nm3 (10% de O2)	TA Luft
Sn	0,02 mg/Nm3 (10% de O2)	TA Luft
Zn	7,0 mg/Nm3 (7% de O2)- somatório classe 3	CONAMA 264/99
Be	7,0 mg/Nm3 (7% de O2)- somatório classe 3	CONAMA 264/99

Fonte: CONAMA 264/99, DN026 e TA Luft (Norma Alemã BImSchG).

Nessa etapa é fundamental a avaliação do cenário de uso do resíduo e o levantamento dos possíveis riscos, levando-se em conta:

- Tecnologia do forno (tipo de forno: fornos sem queima secundária, forno com torre de preaquecimento com 4 estágios, fornos longos via seca, fornos via úmida, fornos com pré-calcinador (In line calciner e Separate line calciner , etc).
- Sistemas de resfriamento do clínquer
- Ponto de injeção do resíduo
- Parâmetros do processo de combustão,: tais como momentum axial total, momento tangencial, swirl, etc.

- Composição dos gases de combustão
- Volatilidade dos elementos, coeficientes de partição dos elementos no forno: chaminé, pó de retorno ou clínquer, presentes nos resíduos ou matérias-primas e combustíveis tradicionais (Sprung *et al,* 1984)
- Split dos combustíveis: calcinador e maçarico principal
- Sistemas de abatimenos das emissões de material particulado: filtro eletrostático, filtro de mangas, etc.
- Presença de elementos nos resíduos que se alimentados via matéria-prima interferem na emissão tais como pirita, compostos orgânicos, compostos nitrogenados, etc. As Emissões de compostos orgânicos do maçarico principal são insignificantes devido às altas temperaturas da chama sendo que a principal origem dos compostos orgânicos está na matéria-prima ou em resíduos alimentados juntamente com a mesma.
- Fator de emissão de dioxinas e furanos e compostos orgânicos em função da tecnologia do forno (SINTEF, 2004): fornos via úmida possuem maiores fatores de emissão.
- Operação do forno: entupimentos, operação normal, etc.
- Presença de cloreto: 1) Queimador principal ou queima secundária-nenhuma interação entre as substâncias orgânicas de combustíveis convencionais ou alternativos e nenhuma influência na formação de dioxinas e furanos 2) Matérias-primas: alguns compostos orgânicos clorados podem ser emitidos na parte fria do forno e componentes alternativos- crítico se o material contêm substâncias cloradas críticas.
- Controles existentes
- Possíveis impactos do co-processamento de resíduos nas emissões. A tabela 5.11 resume os possíveis impactos da utilização de resíduos no co-processamento nas emissões atmosféricas da chaminé principal do forno de clínquer.

Tabela 5.11- Possível Influência de fontes alternativas de combustíveis e matérias-primas (resíduos) nas emissões atmosféricas do forno de clínquer.

Emissão	Injeção do resíduo via queimador principal	Injeção do resíduo via queima secundária	Injeção do resíduo via matéria-prima
NOx	-	Tipo de combustível pode influenciar positiva ou negativamente	-
SO2	-	-	Pirita na matéria-prima
HCl	Entrada restrita devido a problemas de processos. Não está relacionado a problemas de emissões.		
NH3	-	-	Compostos de amônia
Metais Pesados	Hg (mais crítico) e Cd, Tl	Hg (mais crítico) e Cd, Tl	Hg (mais crítico) e Cd, Tl
Compostos Orgânicos Voláteis	-	Na maioria das situações não existe influência	Presença de compostos orgânicos críticos no resíduo com entrada via matéria-prima
Dioxinas e Furanos	-	-	Presença de substâncias orgânicas muito críticas no resíduo com entrada via matéria-prima

Fonte: EIPPC, 2001; NPI, 1999; EPA AP-42, 1994; NAEI, 2002; Battelle, 2002; VDZ ,2001; SINTEF, 2004.

Formatado: Alemão (Alemanha)

Avaliação do risco

A matriz de decisão é a mesma para todas as áreas de impacto e já foi descrita na seção de critérios gerais para estimar o risco.

Tratamento do risco

Nessa etapa foram verificadas as medidas de controle adicionais necessárias, quando aplicáveis, para o aceite de resíduos para co-processamento em fornos de clínquer. Dentre os possíveis controles adicionais, podem-se citar:

- Modificação do ponto de injeção de resíduo.
- Modificação da forma de injeção do resíduo.

- Otimização do processo e sistemas especialistas para controle da taxa de injeção dos resíduos no forno.
- Diminuição do desvio padrão dos resíduos através da injeção de misturas ao invés do resíduo *in natura.*
- Procedimento para controle da logística de chegada dos resíduos.
- Balanço de metais pesados para avaliar, na rotina, o impacto dos resíduos nas emissões atmosféricas.

Poeira de cimento

A terceira avaliação de meio ambiente refere-se aos possíveis efeitos devido à utilização do cimento pelo trabalhador da construção civil, assim como aos efeitos da poeira de cimento nos trabalhadores da fábrica de cimento.

O eixo gravidade foi o mesmo considerado na avaliação de saúde e segurança.

Estabelecimento do contexto

Fez-se a análise dos riscos envolvidos no co-processamento de resíduos em fornos de clínquer em relação à poeira do cimento, com o objetivo de verificar as medidas de controle adicionais, caso aplicáveis, necessárias para auxiliar o processo de decisão de aceite de resíduos.

Etapas analisadas

O volume de controle analisado, conforme descrito na figura 4.4 Ciclo de vida do co-processamento, é a etapa sete – utilização do cimento *portland.*

Identificação do risco

Essa etapa segue os mesmos procedimentos já estabelecidos na mesma etapa para a identificação dos riscos à saúde e segurança.

Análise do risco

Os índices de conseqüências foram avaliados conforme tabelas 5.4 e 5.5. já apresentadas anteriormente.

No eixo de probabilidades foram utilizados três níveis de avaliação conforme a disponibilidade de informações: análise qualitativa, semi-quantitativa e quantitativa.

Os índices de probabilidades estão resumidos na tabela 5.12.

Tabela 5.12- Índices de probabilidades da matriz de risco de meio ambiente (poeira do cimento)

Índices de Probabilidade	Análise Quantitativa	Análise Semi-quantitativa	Análise Qualitativa
1	ppm cimento /VR ppm cimento : < 0,1	ppm cimento estimada /VR ppm cimento: < 0,1	As condições de controle representam as melhores práticas disponíveis.
2	ppm cimento /VR ppm cimento: > 0,1- < 0,5	ppm cimento estimada /VR ppm cimento : > 0,1- < 0,5	As condições de controle representam as boas práticas disponíveis.
3	ppm cimento /VR ppm cimento: > 0,5- < 1,0	ppm cimento estimada /VR ppm cimento: > 0,5-< 1,0	As condições de controle existem. No entanto, em algum momento os controles podem não ser suficientes, fazendo com que as emissões excedam os valores de referência em algum momento.
4	ppm cimento /VR ppm cimento: > 1,0 - < 3,0	ppm cimento estimada /VR ppm cimento: > 1,0 -< 3,0	As condições de controle são insuficientes na maioria das situações .
5	ppm cimento /VR ppm cimento > 3,0	ppm cimento estimada /VR ppm cimento > 3,0	As condições de controle são insuficientes em todas as situações .

Legenda:

.ppm cimento – Concentração real do elemento no cimento.

VR ppm cimento – Valor de referência para a concentração do elemento no cimento com base no LEO do elemento e LEO do cimento.

.ppm cimento estimada- Concentração estimada do elemento no cimento.

No caso da avaliação da poeira do cimento, o ppm cimento estimado pode ser avaliado através das estimativas de volatilidade (Sprung *et al.*, 1984) ou mesmo através de balanço de massa de metais no forno de clínquer.

Para a análise semi-quantitativa, será necessário o conhecimento do teor de metais pesados no cimento e os limites de exposição ocupacional para os metais e para a poeira de cimento (VR).

$$VR.ppm_{cimento} = \left(\frac{LEO_{elemento}}{LEO_{cimento}} \right) x100x10000 \qquad \textbf{Equação 5-1}$$

na qual:

VR.ppm – Valor de referência de ppm no cimento

LEO elemento – Limite de exposição ocupacional ao agente químico especificado

LEO cimento – Limite de exposição ocupacional à poeira do cimento

Essa regra apresenta três exceções:

- Cromo (VR ppm cimento: 100 ppm)
- Cobalto (VR ppm cimento: 100 ppm)
- Berílio (VR ppm cimento: 100 ppm)

No caso do cromo e do cobalto, essa regra não se aplica em função do problema de eczema do cimento (WEILER e RUSSEL, 1980). E o berílio, devido à sua altíssima toxicidade.

Tabela 5.13 - VR do cimento para a poeira do cimento

Elemento	LEOcimento	LEOelemento	Referência	VR.ppm cimento
Sb	10 mg/Nm3	0,5	ACGIH	50.000
As	10 mg/Nm3	0,5	ACGIH	50.000
Be	10 mg/Nm3	0,002	ACGIH	100
Cd	10 mg/Nm3	0,05	ACGIH	5.000
Cr	10 mg/Nm3	0,05	ACGIH	100
F	10 mg/Nm3	2,5	ACGIH	250.000
Co	10 mg/Nm3	0,1	ACGIH	100
Hg	10 mg/Nm3	0,05	ACGIH	5.000
Pb	10 mg/Nm3	0,15	ACGIH	15.000
Ni	10 mg/Nm3	0,1	ACGIH	10.000
Se	10 mg/Nm3	0,2	ACGIH	20.000
Te	10 mg/Nm3	0,1	ACGIH	10.000
Tl	10 mg/Nm3	0,1	ACGIH	10.000
V	10 mg/Nm3	0,05	ACGIH	5.000
Zn	10 mg/Nm3	5	ACGIH	500.000

Fonte: ACGIH

Nessa etapa é fundamental a avaliação do cenário de uso do resíduo e o levantamento dos possíveis riscos, levando-se em conta:

- Operações envolvidas
- Controles existentes
- Possíveis contatos: inalação de poeira e contato com pele e olhos.

- **Avaliação do risco**

A matriz de decisão é a mesma para todas as áreas de impacto e já foi descrita na seção de critérios gerais para estimar o risco.

- **Tratamento do risco**

Nessa etapa foram verificadas as medidas de controle adicionais necessárias, quando aplicáveis, para o aceite de resíduos para co-processamento em fornos de clínquer. Dentre os possíveis controles adicionais, podem-se citar:

- Procedimentos adequados para a utilização do cimento para o trabalhador da construção civil.

- Sistemas de controle de emissão de particulado para evitar emissões fugitivas na fábrica de cimento.

5.3.2.1 Qualidade ambiental do cimento

A quarta avaliação ambiental refere-se às possíveis efeitos à saúde humana devido à aplicação do cimento nas construções e fim do ciclo de vida do cimento (qualidade ambiental do cimento) .

O eixo gravidade foi o mesmo considerado na avaliação de saúde e segurança.

Estabelecimento do contexto

Foram analisados os riscos envolvidos no co-processamento de resíduos em fornos de clínquer em relação à qualidade ambiental do cimento, com o objetivo de verificar as medidas de controle adicionais, caso aplicáveis, necessárias para auxiliar o processo de decisão de aceite de resíduos.

Etapas analisadas

O volume de controle analisado para a questão da qualidade ambiental do cimento foram as etapas oito – cimento *portland* aplicado nas construções, e nove – fim de vida das construções: disposição dos resíduos da construção civil, conforme apresentado na figura 4.4 – Ciclo de vida do co-processamento.

Identificação do risco

Essa etapa segue os mesmos procedimentos já estabelecidos na mesma etapa para a identificação dos riscos à saúde e segurança.

Análise do risco:

Os índices de conseqüências utilizados para esta avaliação já foram descitos nas tabelas 5.4 e 5.5.

No eixo de probabilidades foram utilizados três níveis de avaliação conforme a disponibilidade de informações: análise qualitativa, semi-quantitativa e quantitativa.

Os índices de probabilidades estão resumidos na tabela 5.15.

Tabela 5.14 –Índice de probabilidades da matriz de risco de meio ambiente (qualidade ambiental do cimento)

Índices de Probabilidade	Análise Quantitativa	Análise Semi-quantitativa	Análise Qualitativa
1	ppm cimento /VR ppm cimento : < 0,1	ppm cimento estimada /VR ppm cimento: < 0,1	As condições de controle representam as melhores práticas disponíveis.
2	ppm cimento /VR ppm cimento: > 0,1- < 0,5	ppm cimento estimada /VR ppm cimento : > 0,1- < 0,5	As condições de controle representam as boas práticas disponíveis.
3	ppm cimento /VR ppm cimento: > 0,5- < 1,0	ppm cimento estimada /VR ppm cimento: > 0,5-< 1,0	As condições de controle existem. No entanto, em algum momento os controles podem não ser suficientes, fazendo com que as emissões excedam os valores de referência em algum momento.
4	ppm cimento /VR ppm cimento: > 1,0 - < 3,0	ppm cimento estimada /VR ppm cimento: > 1,0 -< 3,0	As condições de controle são insuficientes na maioria das situações .
5	ppm cimento /VR ppm cimento > 3,0	ppm cimento estimada /VR ppm cimento > 3,0	As condições de controle são insuficientes em todas as situações .

Legenda:

.ppm cimento – Concentração real do elemento no cimento.

VR ppm cimento – Valor de referência para a concentração do elemento no cimento com base na literatura científica.

ppm cimento estimada – concentração estimada do elemento no cimento.

No caso da avaliação da poeira do cimento, o ppm cimento estimado pode ser avaliado através das estimativas de volatilidade (Sprung *et al.*, 1984) ou através de balanço de massa de metais no forno de clínquer e, posteriormente, na moagem de cimento.

Tabela 5.15 - VR do cimento para a qualidade ambiental do cimento.

Elemento	VR.ppm cimento
Sb	~3500
As	~300
Be	~100
Cd	~10
Cr	~100
F	~550
Co	~100
Hg	~ 1,5
Pb	~400
Ni	~150
Se	~100
Te	~450
Tl	~0,020
V	~700

Fonte: BUWAL Directive, Hornain, Bucchi, Hazelwood *et al.*,

Nessa etapa é fundamental a avaliação do cenário de uso do resíduo e o levantamento dos possíveis riscos, levando-se em conta:

- Teor "natural" de metais presentes no cimento devido à utilização de matérias-primas e combustíveis tradicionais para verificar os elementos críticos para cada fábrica especificamente.
- Controles existentes.

Avaliação do risco

A matriz de decisão é a mesma para todas as áreas de impacto e já foi descrita na seção de critérios gerais para estimar o risco.

Tratamento do risco

Nessa etapa foram verificadas as medidas de controle adicionais necessárias, quando aplicáveis, para o aceite de resíduos para co-processamento em fornos de clínquer. Dentre os possíveis controles adicionais estão os procedimentos para o acompanhamento periódico dos ensaios de amostra bruta de lixiviação e solubilização dos metais do cimento (avaliação da qualidade ambiental do cimento).

5.3.3 Riscos à qualidade do produto

Estabelecimento do contexto

Análise dos riscos envolvidos no co-processamento de resíduos em fornos de clínquer em relação à qualidade do produto com o objetivo de verificar as medidas de controle adicionais, caso aplicáveis, que são necessárias para auxiliar o processo de decisão de aceite de resíduos.

Etapas analisadas

O volume de controle analisado para a questão de qualidade do produto foram as etapas sete – utilização do cimento *portland* – e oito – cimento *portland* aplicado nas construções conforme descrito na figura 4.4 – Ciclo de vida do co-processamento.

Identificação do risco

Passo 1: Analisar os elementos inorgânicos presentes no resíduos. Os elementos orgânicos não terão importância na avaliação da influência do co-processamento na qualidade do produto, uma vez que são completamente destruídos a altas temperaturas do forno.

Passo 2: Se a concentração do elemento analisado for maior do que 1000 ppm, avaliar as frases de qualidade relativas ao elemento em estudo (ver Apêndice I – frases de qualidade (frases Q)).

Passo 3: Identificar as frases de qualidade que são aplicadas para cada componente do resíduo e classificá-las nas categorias de gravidade.

Passo 4: Determinação dos cenários de uso e possíveis riscos

O procedimento para o levantamento do potencial de dano do resíduo, ou seja, a classificação do resíduo nas categorias de gravidade ou conseqüências, está descrito na figura 5.14.

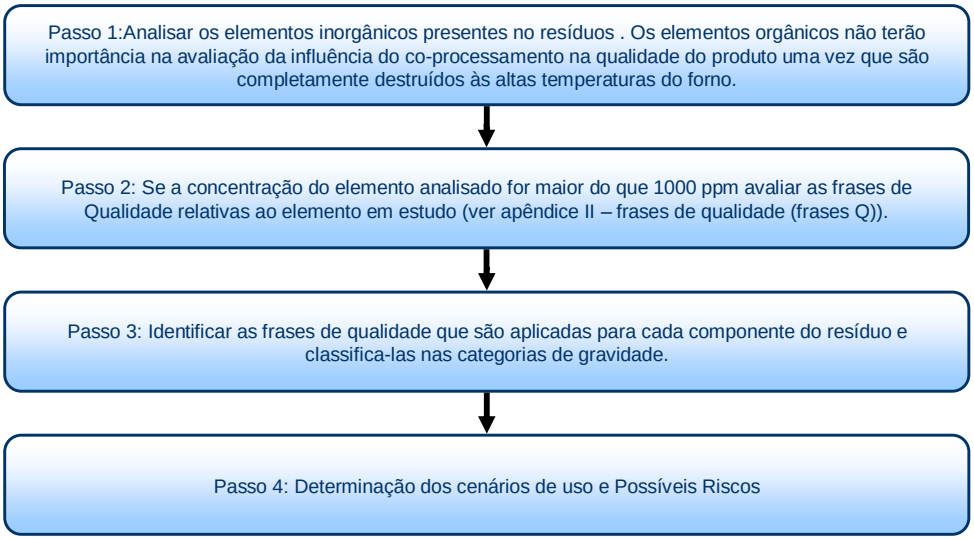


Figura 5.4 –Fluxograma para a classificação do resíduo nas categorias de gravidade (conseqüência) para a área de impacto qualidade do produto

Análise do risco

As tabelas 5.17 e 5.18 apresentam, respectivamente, as tabelas de conseqüências gerais específicas para qualidade do produto e as consequências à qualidade do produto baseadas nas frases Q.

Tabela 5.16 – Índice de conseqüências gerais. Danos potenciais à qualidade do produto.

Índice de Consequências	Descrição	Danos à Qualidade do Produto
1	Insignificante	Sem alterações nas propriedades do cimento.
2	Menor	Pequenas alterações nas propriedades do cimento, mas sem impactos na sua aplicação.
3	Moderada	Alterações moderadas nas propriedades do cimento que implicam reprocessamento do cimento.
4	Maior	Grandes alterações nas propriedades do cimento que implicam perda da produção do cimento e retirada do material do mercado.
5	Catastrófica	Não aplicável.

Fonte: AS/NZS 4360:1999. Modificado pela autora.

Tabela 5.17- Índice de conseqüências com base nas frases Q. Danos à qualidade do produto.

Nível	Descrição	Frases Q
1	Insignificante	Q2, Q3, Q6, Q12, Q15, Q18, Q20
2	Menor	Q8, Q10, Q11, Q13, Q17, Q19
3	Moderada	Q4, Q7, Q9, Q14, Q16
4	Maior	Q1, Q5
5	Catastrófica	Não Aplicável.

O eixo gravidade ou conseqüência só depende do resíduo e não do contexto da sua utilização. O eixo de gravidade baseado nas frases Q só foi utilizado para a avaliação dos riscos do co-processamento na qualidade do produto. Ver Apêndice II sobre a definição das frases Q.

No eixo de probabilidades foram utilizados três níveis de avaliação conforme a disponibilidade de informações: análise qualitativa, semi-quantitativa e quantitativa.

Os índices de probabilidades estão resumidos na tabela 5.18.

Tabela 5.18 – Índices de probabilidades da matriz de risco de qualidade do produto

Probabilidade	Quantitativa	Semi-quantitativa	Qualitativa
1	Ppm cimento /VR ppm cimento : < 0,1	ppm cimento estimada /VR ppm cimento: < 0,1	As condições de controle representam as melhores práticas disponíveis.
2	Ppm cimento /VR ppm cimento: > 0,1- < 0,5	ppm cimento estimada /VR ppm cimento : > 0,1- < 0,5	As condições de controle representam as boas práticas disponíveis.
3	Ppm cimento /VR ppm cimento: > 0,5-< 1,0	ppm cimento estimada /VR ppm cimento: > 0,5-< 1,0	As condições de controle existem. No entanto, em algum momento, os controles podem não ser suficientes, fazendo com que as emissões excedam os valores de referência em algum momento.
4	Ppm cimento /VR ppm cimento: > 1,0 -< 3,0	ppm cimento estimada /VR ppm cimento: > 1,0 -< 3,0	As condições de controle são insuficientes na maioria das situações .
5	Ppm cimento /VR ppm cimento > 3,0	ppm cimento estimada /VR ppm cimento > 3,0	As condições de controle são insuficientes em todas as situações .

Para a análise semi-quantitativa, será necessário o conhecimento do teor de metais pesados no cimento e os limites de referência encontrados na literatura (VR).

A tabela 5.20 apresenta os valores de referência para o cimento em relação à qualidade do produto.

Tabela 5.19- VR para o cimento para qualidade do produto

Elemento	VR.ppm cimento
F	5.000
Mg	20.000
P (P2O5)	10.000
Ti (TiO2)	10.000
V	10.000
Cr	5.000
Mn	5.000
Co	10.000
Ni	5.000
Cu (CuO)	1.000
Zn (ZnO)	10.000
As	50.000
Se	1.000
Sr (SrO)	5000
Mo	15.000
Ba (BaO)	3.000-5.000
Pb (PbO)	1.000

Fonte: Hornain e Bucchi (1980); Hazelwood *et al*., 1982; Bhatty (PCA), *Sarofim et al.,* Kirchner, G.

Nessa etapa é fundamental a avaliação do cenário de uso do resíduo e o levantamento dos possíveis riscos, levando-se em conta os procedimentos para avaliação na rotina da qualidade do cimento e do clínquer, incluindo os elementos traços.

Avaliação do risco

A matriz de decisão é a mesma para todas as áreas de impacto e já foi descrita na seção de critérios gerais para estimar o risco.

Tratamento do risco

Nessa etapa foram verificadas as medidas de controle adicionais necessárias, quando aplicáveis, para o aceite de resíduos para co-processamento em fornos de clínquer. Dentre os possíveis controles adicionais, podem-se citar:

- Redução do desvio padrão do resíduo com relação aos elementos traços e elementos minoritários.
- Implantar balanço de álcalis enxofre na rotina.
- Implantar balanço de massa para elementos minoritários e traços no cimento.
- Procedimentos para avaliação de elementos minoritários e traços no cimento.
- Teste de bancada para verificação na prática o grau de influência na qualidade do cimento e determinação da quantidade do resíduo que pode ser co-processada ser afetar a qualidade do produto.

5.3.4 Riscos ao processo produtivo

Estabelecimento do contexto

Fez-se a análise dos riscos envolvidos no co-processamento de resíduos em fornos de clínquer em relação ao processo produtivo, com o objetivo de verificar as medidas de controle adicionais, caso aplicáveis, necessárias para auxiliar o processo de decisão de aceite de resíduos.

Etapas analisadas

O volume de controle analisado para a questão do processo produtivo foi a etapa seis – destruição térmica dos resíduos, conforme descrito na figura 4.4 – Ciclo de vida do co-processamento.

Identificação do risco

Passo 1 : Analisar os elementos inorgânicos presentes no resíduos, principalmente enxofre, álcalis (sódio e potássio) e cloretos.

Passo 2: Avaliar a gravidade (conseqüência) da presença dos elementos, principalmente enxofre, álcalis (sódio e potássio) e cloretos, de acordo com a tabela de avaliação de conseqüências para o processo produtivo.

Passo 3: Identificar as faixas de gravidade aplicadas para cada componente do resíduo avaliado.

Passo 4: Determinação dos cenários de uso e possíveis riscos

O procedimento para o levantamento do potencial de dano do resíduo, ou seja, a classificação do resíduo nas categorias de gravidade ou conseqüências está descrita na figura 5.17.

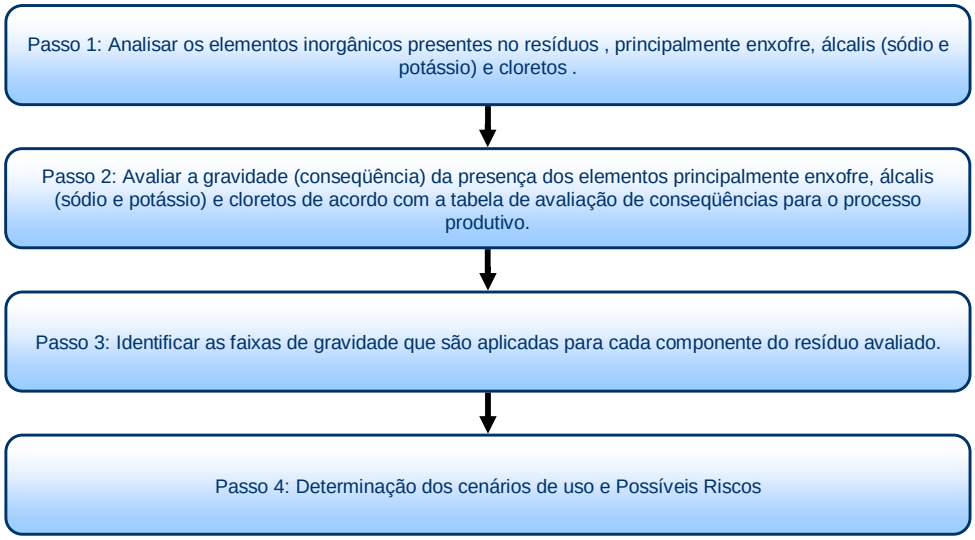


Figura 5.5 – Fluxograma para a classificação do resíduo nas categorias de gravidade (conseqüência) para a área de impacto processo produtivo.

Análise do risco

A tabela 5.20 apresenta os índices de conseqüências gerais relativas ao processo produtivo.

Tabela 5.20 - Índices de conseqüências gerais - Danos potenciais ao processo produtivo

Índices de Consequências	Descrição	Danos ao Processo Produtivo	Frases P	Kg elemento / ton clínquer
1	Insignificante	Sem alterações no processo produtivo.	P1, P2, P3, P7, P9, P17	SO3- < 3,0 Na2O equivalente- < 5 Cl- < 0,1
2	Menor	Pequenas alterações no processo produtivo.	P5, P6, P14, P15, P16, P18, P23	SO3- 3,0-7,5 Na2O equivalente- 5-10 Cl- 0,1-0,25
3	Moderada	Alterações moderadas no processo produtivo implicando maior limpeza da caixa de fumaça, maior consumo térmico, etc.	P4, P20	SO3- 7,5 Na2O equivalente- 10 Cl- 0,25
4	Maior	Mais de duas paradas de forno no mês devido à utilização do resíduo (entupimento de ciclones, ataque ao refratário, etc)	P8, P10, P11, P12, P13, P19, P21, P22, P24	SO3 > 7,5 Na2O equivalente > 10 Cl > 0,25
5	Catastrófica	Não aplicável.	-	-

Fonte: AS/NZS 4360:1999. Modificado pela autora e J.I. (PCA).

O eixo gravidade ou conseqüência só depende do resíduo e não do contexto da sua utilização.

As frases P estão definidas no Apêndice II.

No eixo de probabilidades foi utilizada apenas a avaliação qualitativa.

Os índices de probabilidades estão resumidos na tabela 5.21

.Tabela 5.21 – Índices de probabilidades da matriz de risco ao processo produtivo

Índices de Probabilidade	Análise Qualitativa
1	As condições de controle representam as melhores práticas disponíveis.
2	As condições de controle representam as boas práticas disponíveis.
3	As condições de controle existem. No entanto, em algum momento, os controles podem não ser suficientes, fazendo com que as emissões excedam os valores de referência em algum momento.
4	As condições de controle são insuficientes na maioria das situações .
5	As condições de controle são insuficientes em todas as situações .

Nessa etapa é fundamental a avaliação do cenário de uso do resíduo e o levantamento dos possíveis riscos, levando-se em conta os rocedimentos para avaliação na rotina do controle do processo produtivo.

Avaliação do risco

A matriz de decisão é a mesma para todas as áreas de impacto e já foi descrita na seção de critérios gerais para estimar o risco.

Tratamento do risco

Nessa etapa foram verificadas as medidas de controle adicionais necessárias, quando aplicáveis, para o aceite de resíduos para co-processamento em fornos de clínquer. Dentre os possíveis controles adicionais, podem-se citar:

- Implantar balanço de álcalis, enxofre, cloretos diariamente.
- Rever a matriz energética possibilitando maior aporte de álcalis, enxofre e cloretos.
- Rever as matérias-primas tradicionais (frentes na mina) que possuam características de álcalis, enxofre e cloretos mais adequadas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar os resultados da aplicação da metodologia de avaliação de riscos para o aceite para o co-processamento de resíduos em fornos de clínquer à quatro resíduos.

6.1 SPL Moído

6.1.1 Descrição geral do resíduo

A indústria de alumínio define como SPL todo o material utilizado na célula de fundição com exceção das barras coletoras, a barreira de vapor e o bloco de alumínio.

A Agência ambiental americana regula somente a porção do SPL que contêm carbono.

O SPL é um resíduo perigoso segundo a lista americana devido aos teores de cianetos (nenhum nível específico) e as práticas antigas de disposição que causaram uma contaminação significante da água subterrânea.

A figura 6.1. apresenta uma típica célula de redução de alumínio.

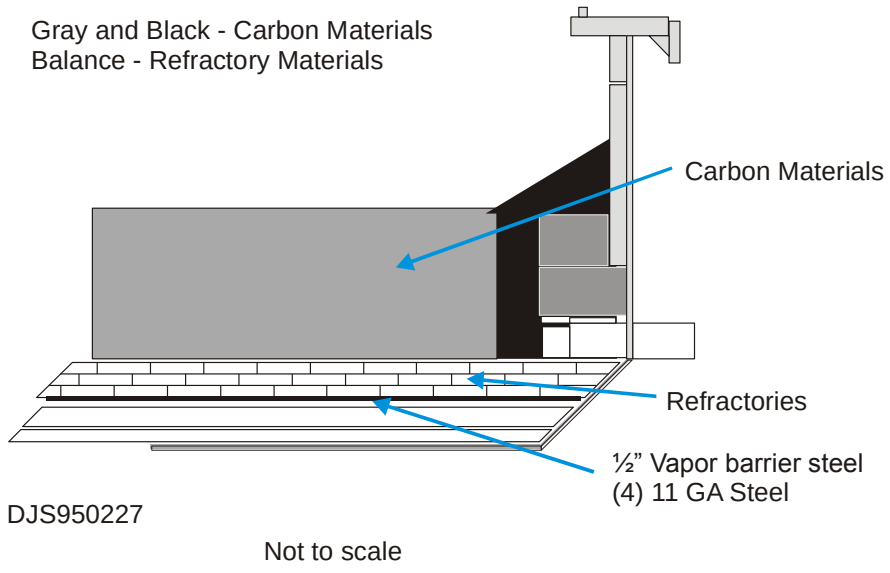


Figura 6.1- Célula de Redução de Alumínio . (Alcoa)

A composição química típica do SPL avaliado nesta dissertação de mestrado foi a seguinte:

Tabela 6.1- Composição química Típica do SPL

Elemento	Composição Química (%)
Carbono	25-60
Fluoreto	10-18
Sódio	7-18
Alumínio	8-20
Cianeto	50 ppm
Sílica	3-4
Cálcio	3-4
Enxofre	0-0,3
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos	0-300 ppm
Umidade	< 3

Fonte: SENAI (2006)

Primeiro Contexto de Utilização do SPL : O SPL chega a unidade moído em caminhões cebola. Ao chegar à unidade ele é acoplado ao sistema pneumático que transfere o resíduo para um silo balança de onde é injetado ao forno.

A figura 6.2. apresenta o fluxograma de injeção do SPL moído.

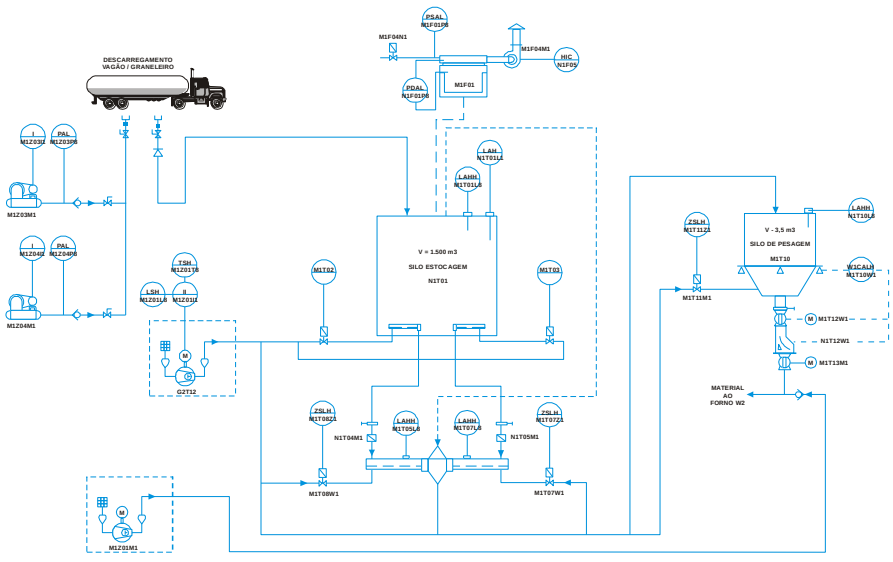


Figura 6.2- Fluxograma de Injeção do SPL Moído

Do catálogo de resíduos da comunidade Européia:

> "16.11.01- carbon- based linings and refractories from metallurgical process containing dangerous substances. M
>
> Likely contaminants may include metal oxides (including those deposited from fumes), organic compounds, and benzene and phenols if chemically bonded cores are used. Hazards may include H3A (third indent), H4 à H7, H12 à H13" .

Pelo catálogo de resíduos da comunidade européia não tivemos informações que pudessem auxiliar na categorização da gravidade. Logo, vamos tentar conseguir mais informações.

Os possíveis agentes químicos presentes no resíduos que poderiam trazer impactos significativos seriam os seguintes :

- Na3AlF6: R20/22 (1%) - 48/23/25 (0,1%) - 51/53 (meio ambiente)
- NaCN: R26/27/28 (0,1%) - 32 (0,1%) - 50/53 (meio ambiente)

Devido aos valores de corte e das concentrações presentes no resíduos só o Na3AlF6 foi classificado como Xn R20/22- nocivo por inalação e ingestão e R 48/23/25- tóxico: risco de efeitos graves para a saúde em caso de exposição prolongada por inalação e ingestão.

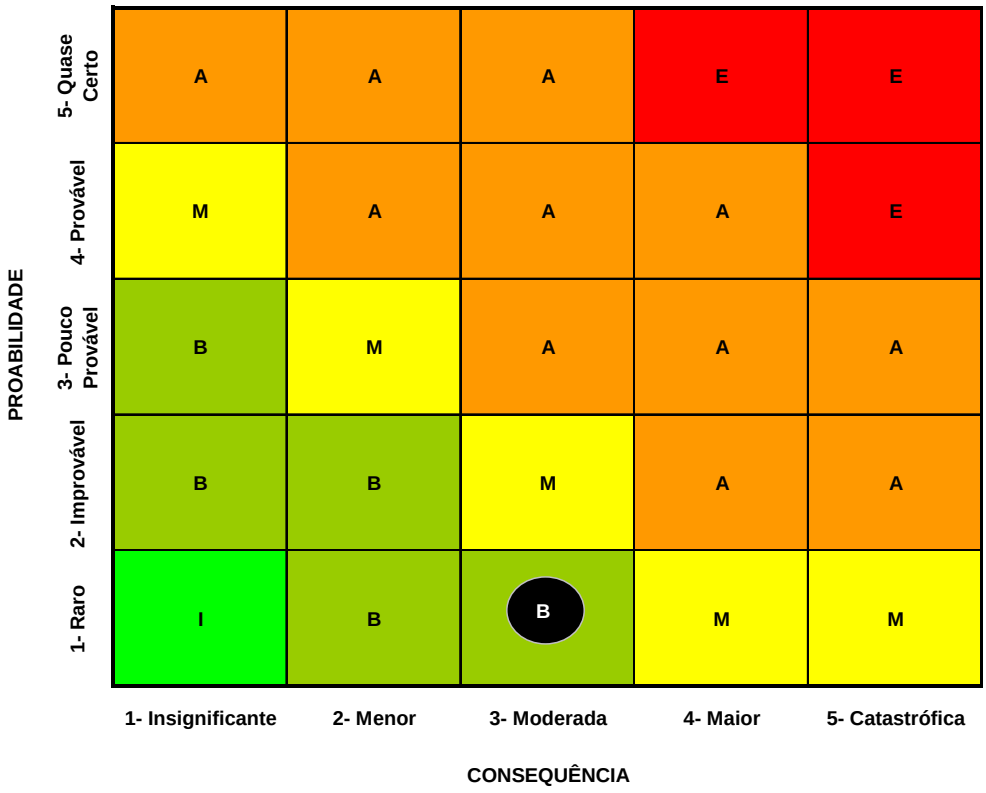
6.1.2 Avaliação de Saúde e Segurança

O cenário de uso e possíveis riscos é apresentado abaixo:

- Tipo de injeção do resíduo: o resíduo é injetado diretamente ao forno
- Operações envolvidas: amostragem do caminhão, acoplamento do mangote do caminhão na tubulação que transporta pneumaticamente o SPL para o silo de dosagem do forno.
- Controles existentes: luvas , máscara de proteção respiratória, óculos de proteção, capacete, macacão tyvek, etc. Os funcionários que trabalham diretamente com este resíduo fazem os exames periódicos específicos para os agentes químicos deste resíduo.
- Contatos possíveis: inalação de gás/vapor em caso de contato com a água ou grandes movimentações deste resíduo, inalação de poeira somente em caso de derramamentos (contato de curta duração) pois o sistema é fechado, contato com pele/olhos acidentalmente.

Com base na classificação dos agentes químicos e cenário de utilização do resíduo a estimativa e julgamento do risco está resumida nas matrizes das figura 6.3 . Foi considerado apenas o risco de inalação de poeira para o efeito mais crítico no caso R 48/23/25- tóxico: risco de efeitos graves para a saúde em caso de exposição prolongada por inalação e ingestão.

Matriz de Risco - Avaliação de Saúde e Seguraça- Avaliação do Risco à inalação da poeira de SPL



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

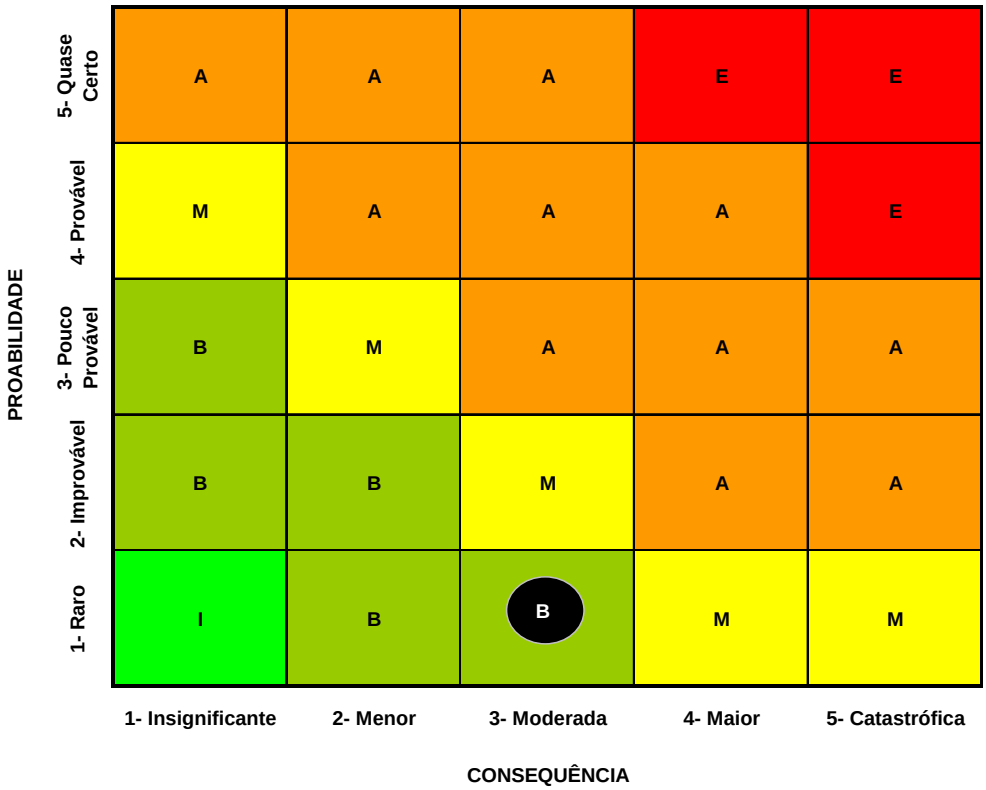
Figura 6.3- SPL Moído- Avaliação Saúde e Segurança -Risco de inalação da poeira do SPL.

6.1.3 Avaliação de Meio Ambiente

As condições de de utilização do SPL nesta fábrica em particular representam as melhores práticas existente no mercado brasileiro de co-processamento.

- Tipo de injeção do resíduo: acoplamento direto com injeção via transpote pneumático.
- Operações envolvidas: acoplamento do mangote do caminhão cebola no sistema de injeção e amostragem do resíduo.
- Controles existentes: sistema de injeção completamente fechado.
- Riscos possíveis: devido à forma de armazenamento e transporte do resíduo ser via caminhão cebola o risco acidente durante o transporte do resíduo é bastante minimizado, vazamentos durante todas as operações envolvidas com o resíduo, geração de poeiras fugitivas podem ocorrer em situações excepcionais.

Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Avaliação Geral) - Avaliação do Risco de Tóxicidade para organismos aquáticos e pode causar efeitos de longo prazo nos ambientes aquáticos



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.4- SPL Moído- Avaliação Meio Ambiente (Avaliação geral)- Risco de toxicidade para organismos aquáticos podendo causar efeitos de longo prazo nos ambientes aquáticos.

Na avaliação de emissões atmosféricas foi utilizado o índice de probabilidade com base na análise semi-quantitativa que levou em conta os atuais padrões de emissão de HF na chaminé do forno da fábrica avaliada.

Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- HF

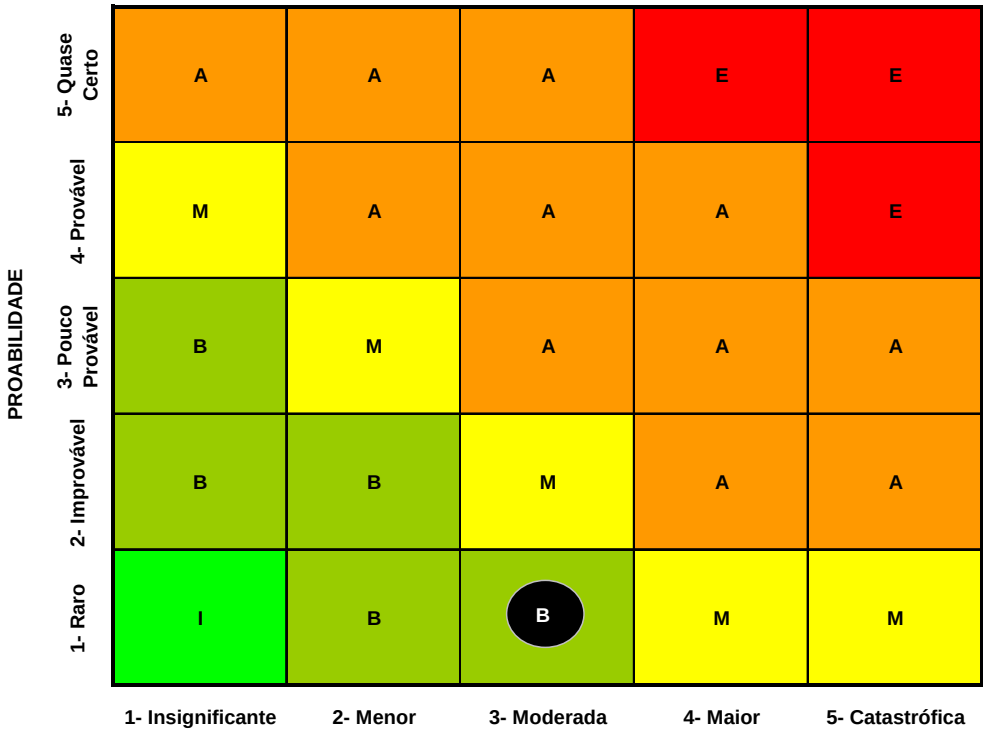
PROABILIDADE	1- Insignificante	2- Menor	3- Moderada	4- Maior	5- Catastrófica
5- Quase Certo	A	A	A	E	E
4- Provável	M	A	A	A	E
3- Pouco Provável	B	M	A	A	A
2- Improvável	B	B	M	A	A
1- Raro	I	B	B	M	M

CONSEQUÊNCIA

Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.5- SPL Moído – Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- HF

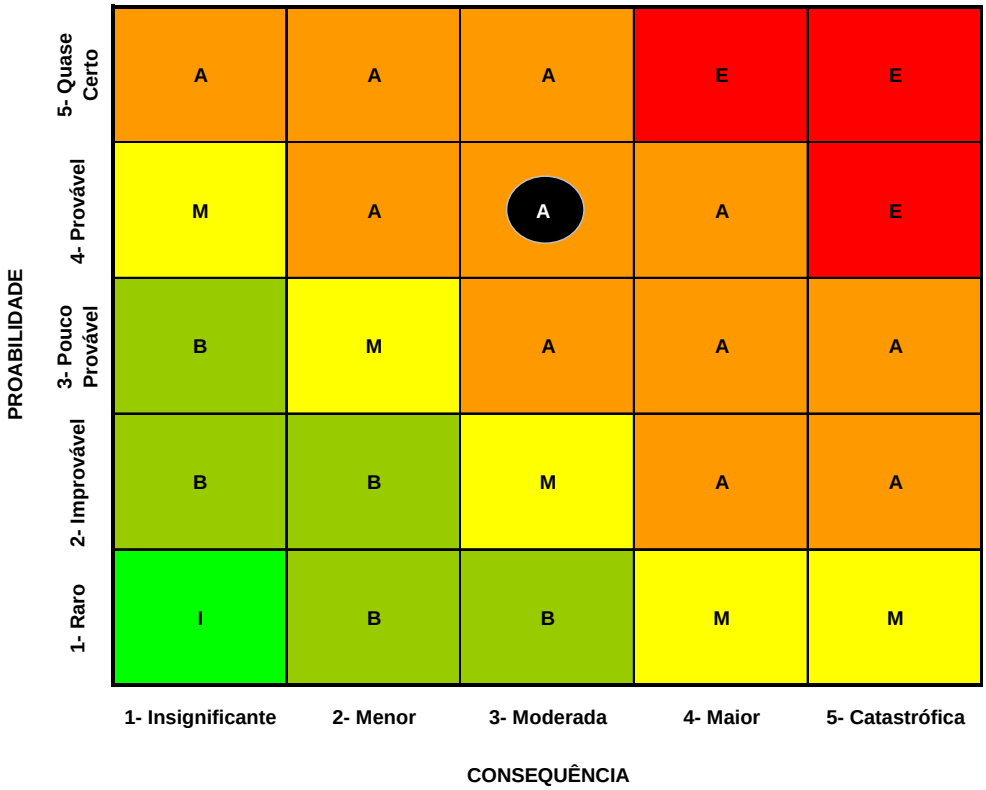
Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Poeira do Cimento) - Flúor



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.6- SPL Moído - Avaliação Meio Ambiente (Poeira do Cimento) – Flúor

Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Qualidade Ambiental do Cimento) - Flúor



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

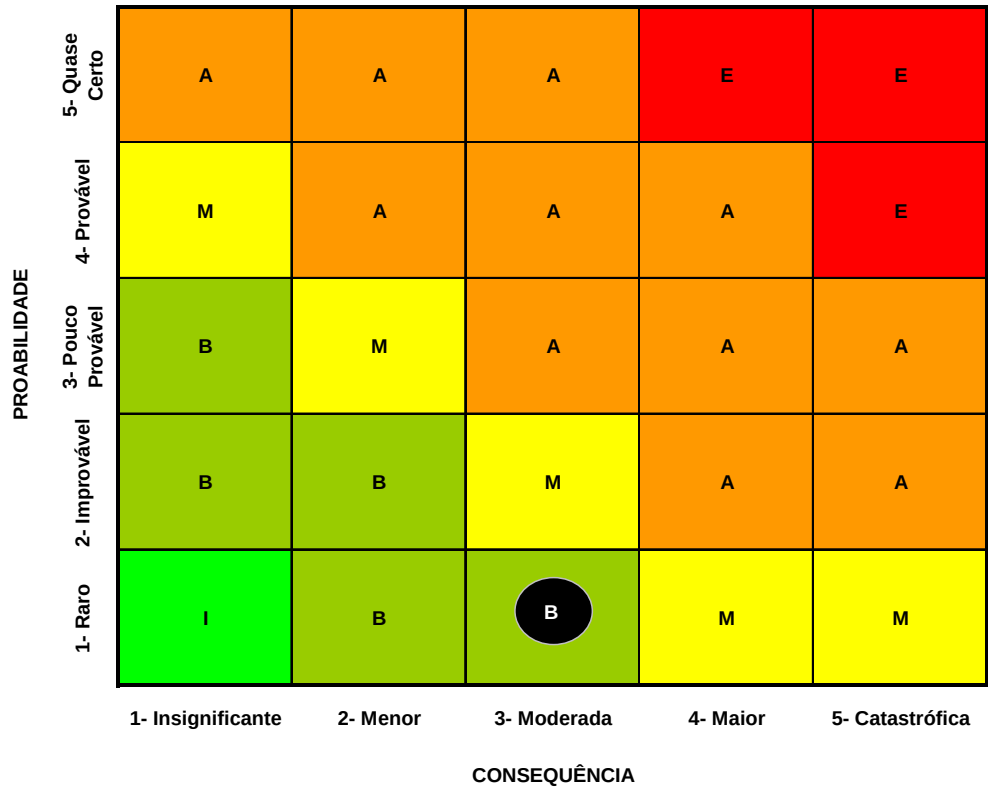
Figura 6.7- SPL Moído – Avaliação Meio Ambiente (Qualidade Ambiental do Cimento)- Flúor

6.1.4 Avaliação da Qualidade do Produto

Na área de impacto qualidade do produto foram avaliados os seguintes elementos químicos: sódio, flúor e enxofre. Os elementos traços não foram classificados pois seus valores eram menores do que 1000 ppm (faixa de corte).

Os riscos Q2 – Acelera o tempo de pega e Q3- aumenta a resistência à compressão nas idades iniciais (1 e 3 dias) não foram avaliados pois são impactos positivos na qualidade do cimento.

Matriz de Risco - Avaliação de Qualidade do Produto - Q4- Redução da Resistência à Compressão nas idades finais (28 dias) - Sódio



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.8- SPL Moído- Avaliação Qualidade do Produto- Q4- Redução da Resistência à Compressão à idades Finais (28 dias) – Sódio

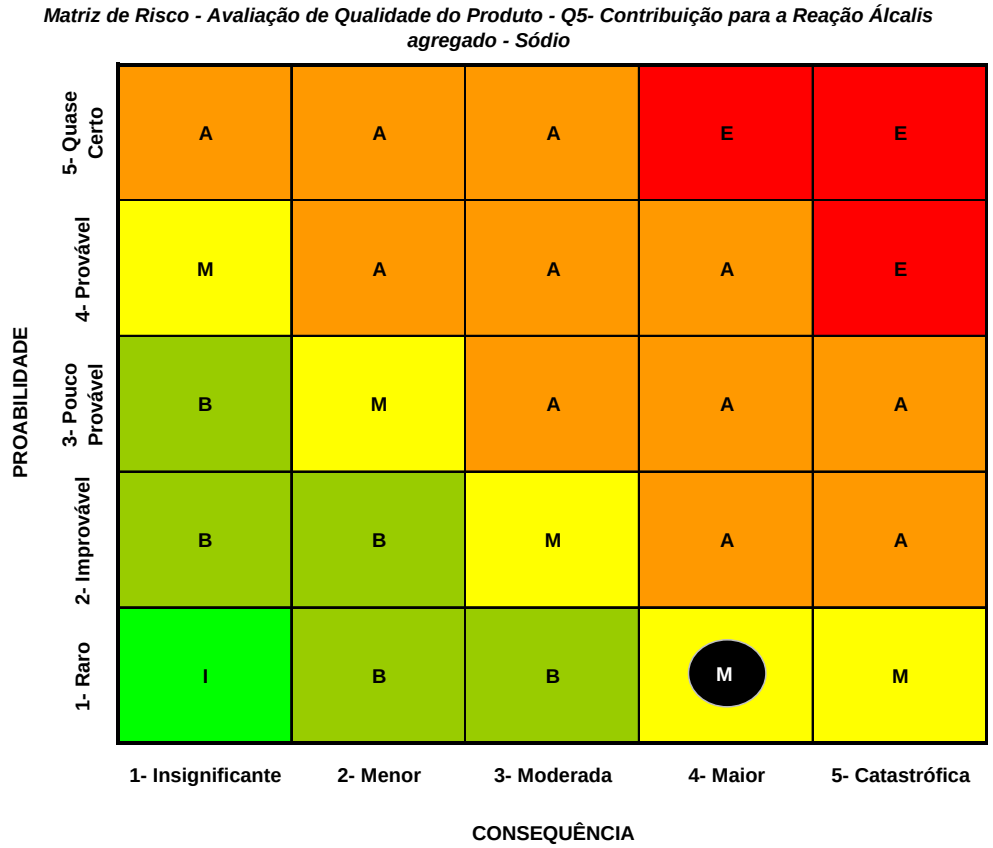
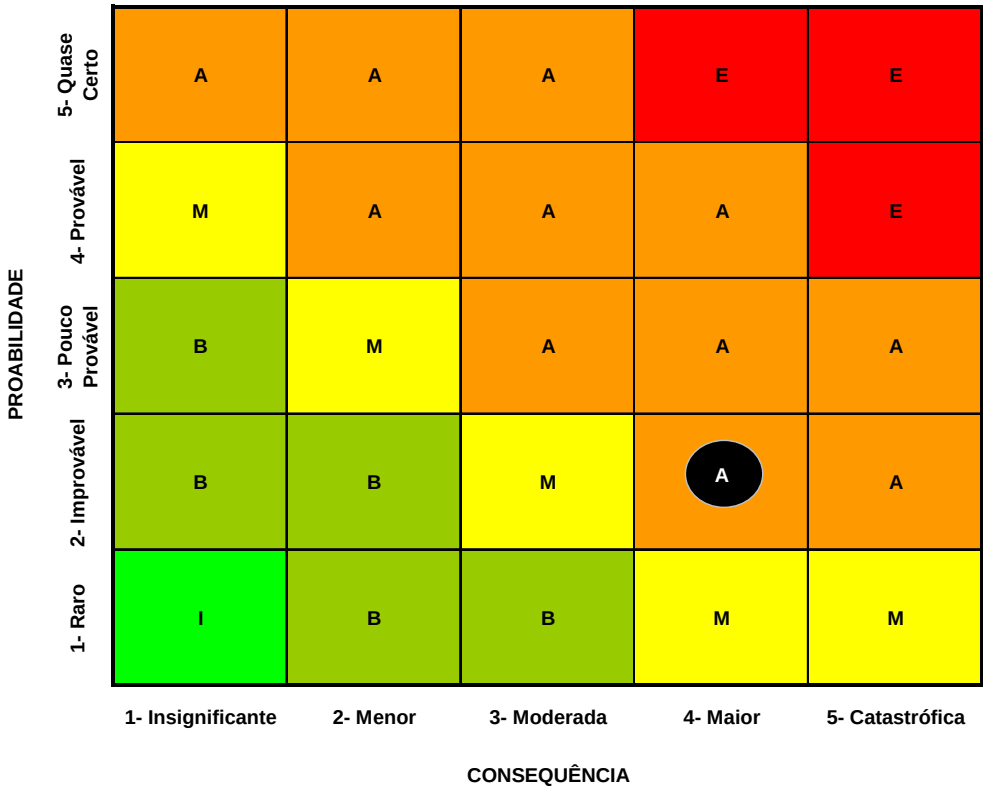


Figura 6.9 - SPL Moído- Avaliação Qualidade do Produto- Q5- Contribuição para a Reação Álcalis Agregado – Sódio

Matriz de Risco - Avaliação de Qualidade do Produto - Q1- Redução do tempo de Pega - Flúor



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.10 - SPL Moído- Avaliação Qualidade do Produto- Q1- Redução do Tempo de Pega - Flúor

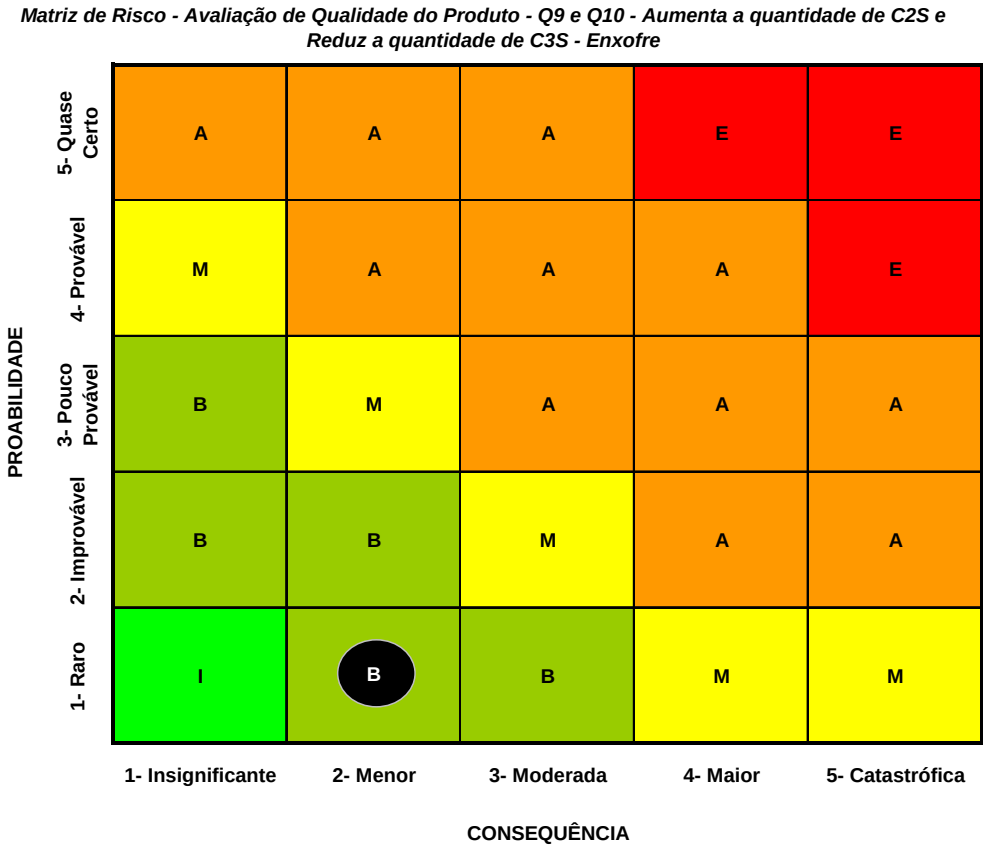


Figura 6.11 - SPL Moído- Avaliação Qualidade do Produto- Q9 e Q10- Aumenta a quantidade de C2S e Reduz a quantidade de C3S - Enxofre

6.1.5 Avaliação do Processo Produtivo

Na área de impacto processo produtivo foram avaliados os seguintes elementos químicos: sódio, flúor e enxofre.

No caso do flúor não foram avaliados as frases de processo P1, P2 e P3 que influenciam na redução da temperatura de queima, redução da viscosidade da fase líquida e redução do teor de cal livre respectivamente pois são todos efeitos positivos.

Somente foi avaliado o P4 – redução da quantidade de C3S.

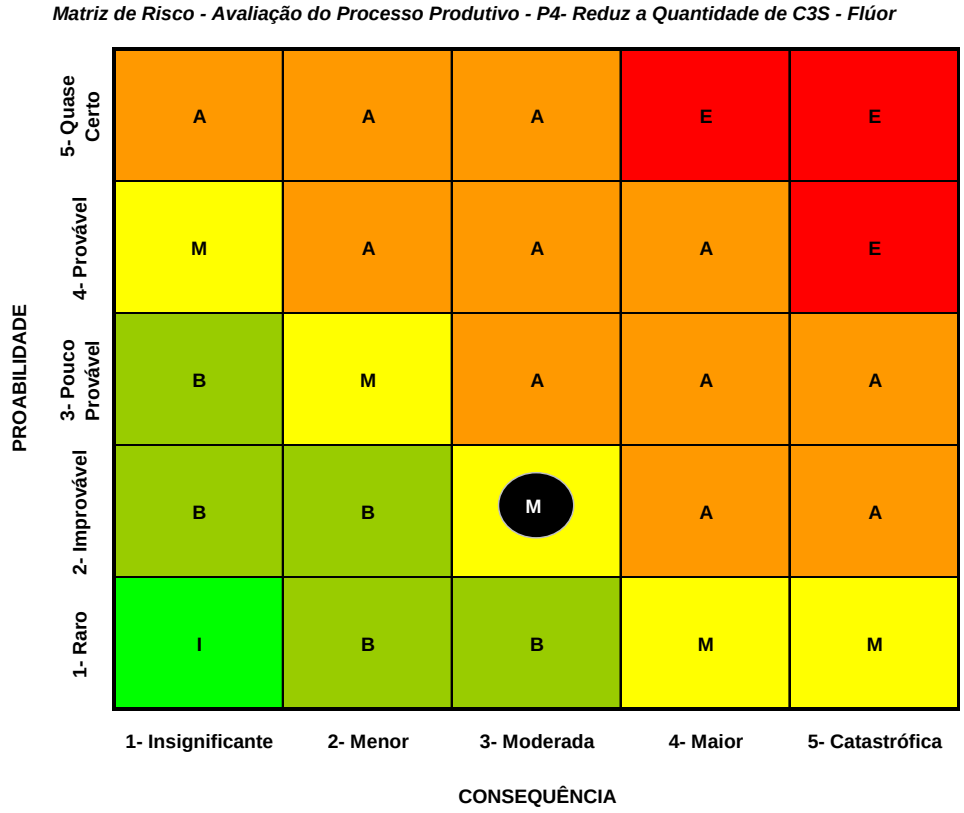


Figura 6.12 - SPL Moído- Avaliação do Processo Produtivo – P4 – Redução da Quantidade de C3S - Flúor

No caso do Sódio não foi avaliado a frase P7 que representa o aumento da reatividade do C3S em caso da falta de enxofre pois este efeito é positivo.

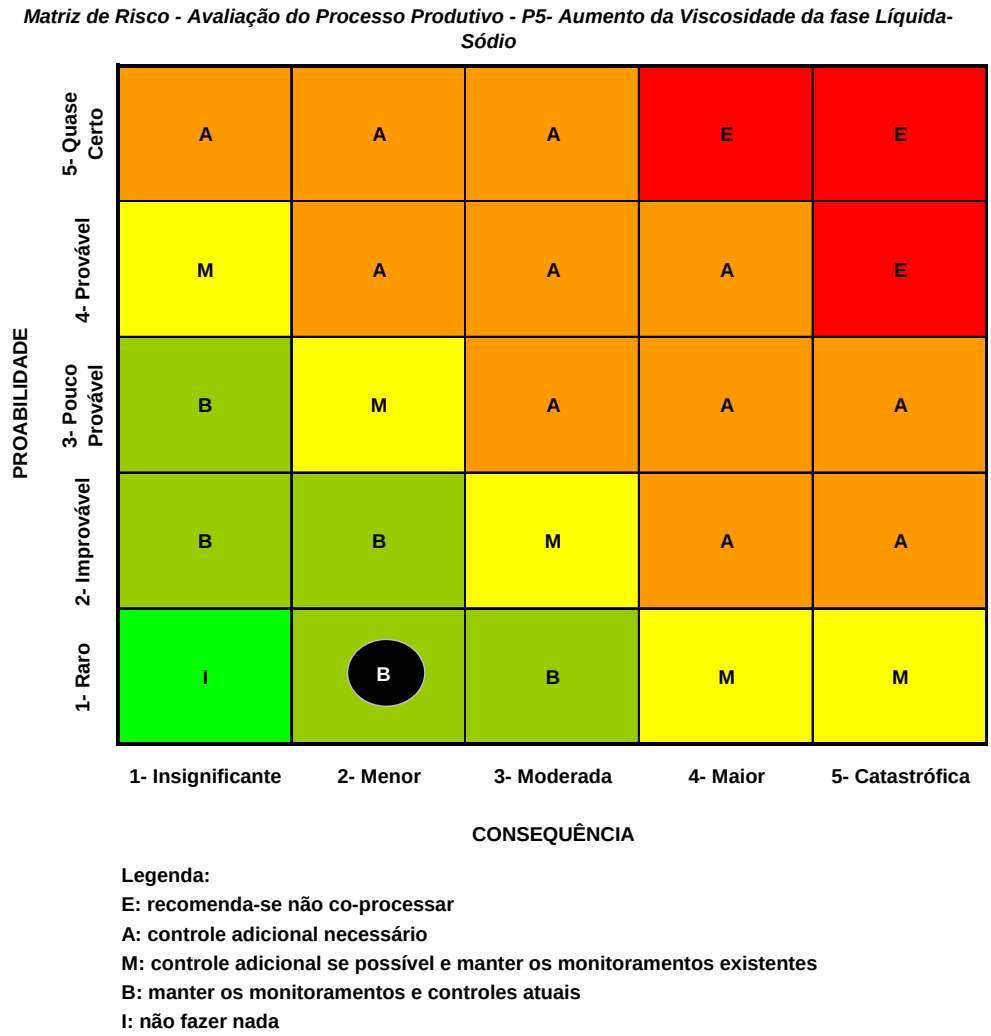
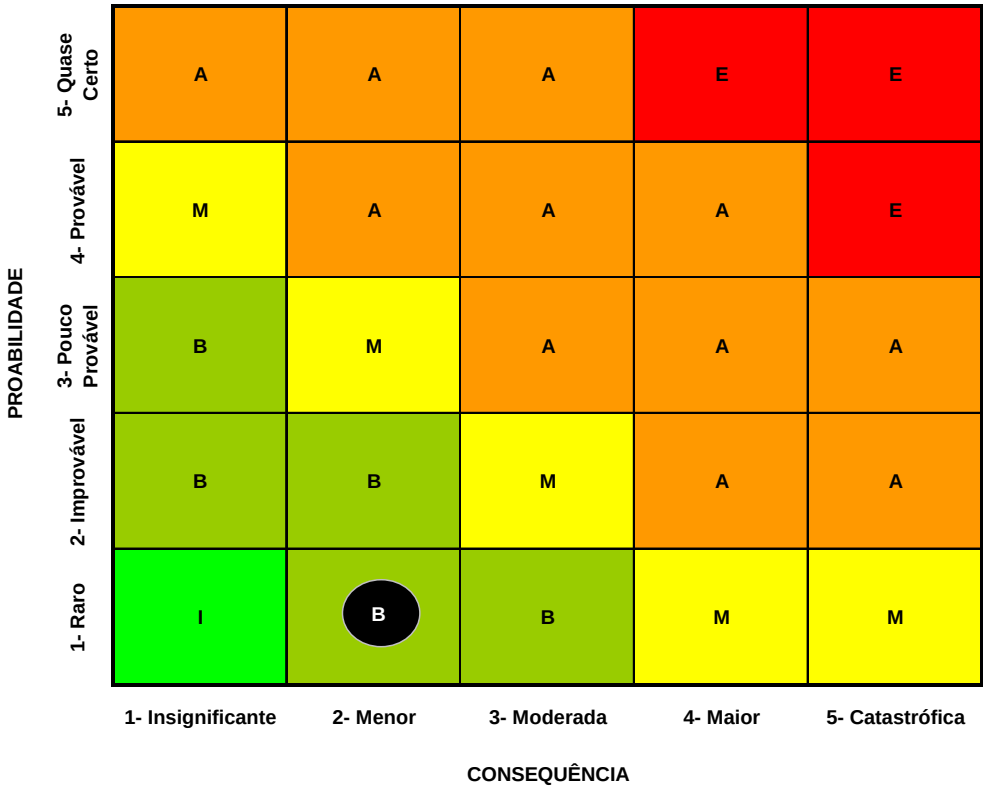


Figura 6.13 - SPL Moído- Avaliação do Processo Produtivo – P5 – Aumento da Viscosidade da Fase Líquida – Sódio

Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P6- Aumento do Teor de Cal Livre - Sódio



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.14 - SPL Moído- Avaliação do Processo Produtivo – P6 – Aumento do teor de cal livre – Sódio

No caso do enxofre não foi avaliado a frase P9 e P12 que representa o aumento da quantidade da fase líquida e redução da viscosidade da fase líquida que são efeitos positivos para o processo produtivo.

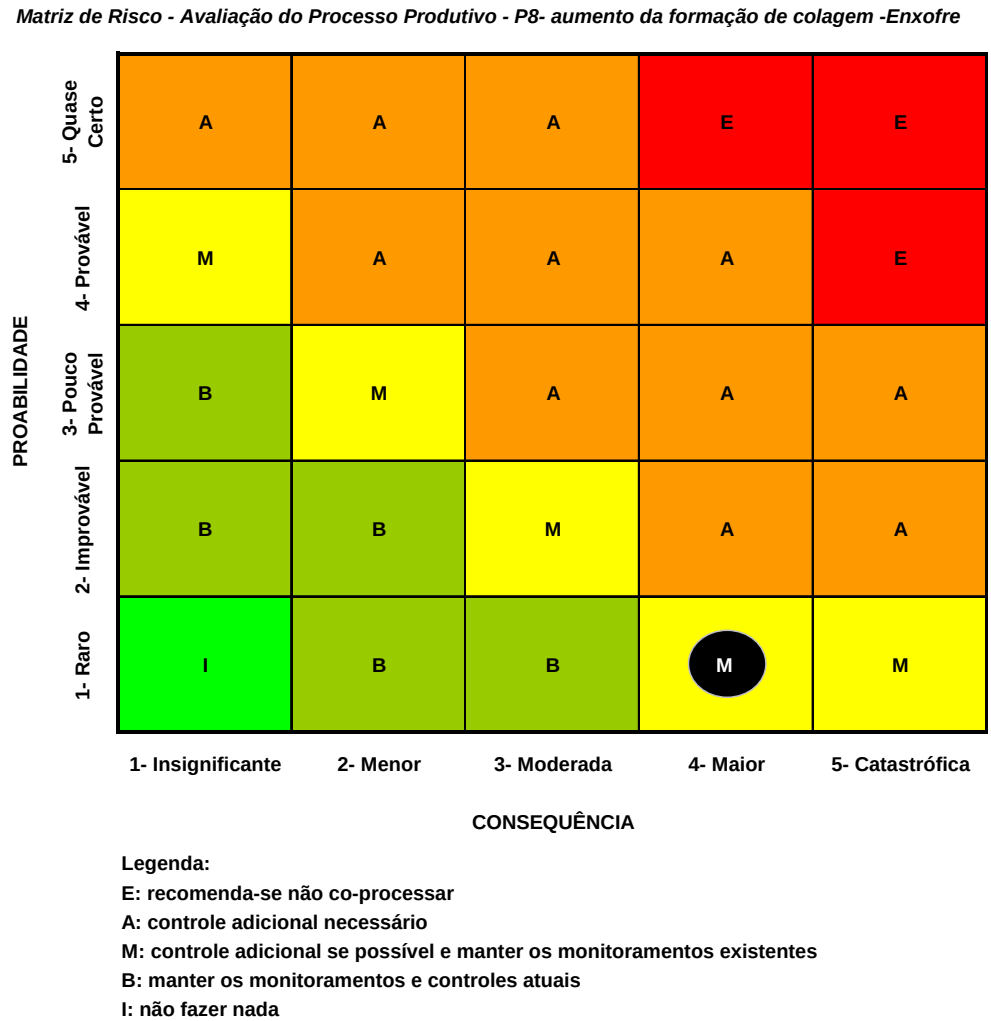
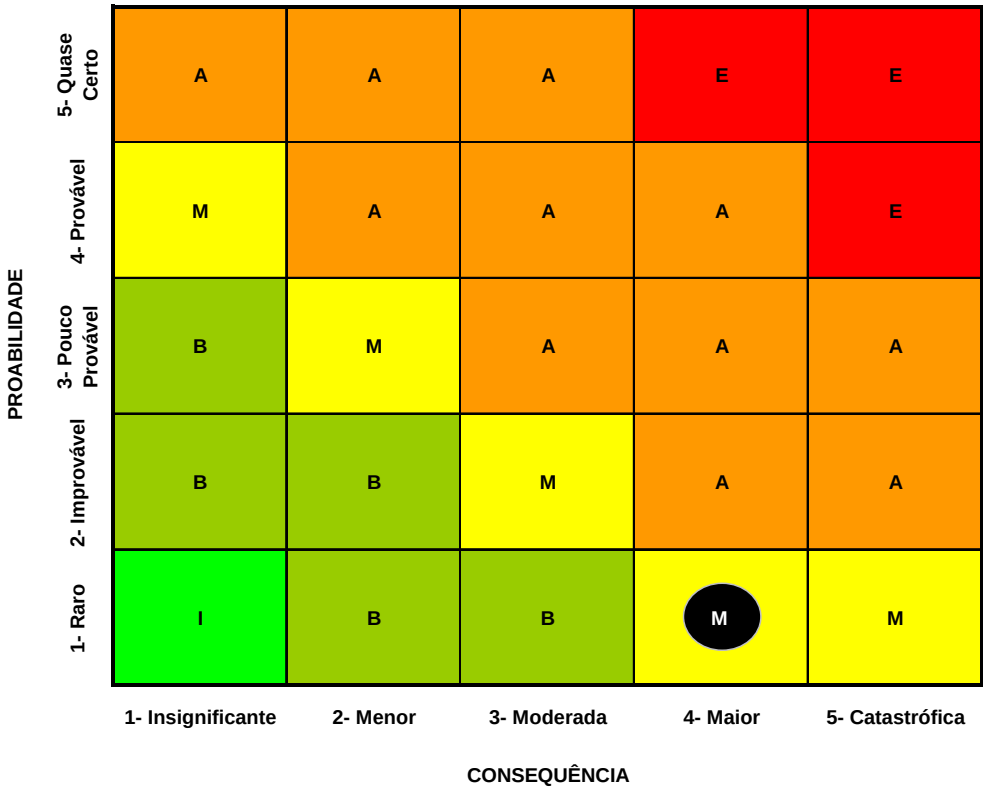


Figura 6.15 - SPL Moído- Avaliação do Processo Produtivo – P8 – Aumento da formação de colagem - Enxofre

Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P10- Formação de Aneis no Forno - Enxofre



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.16 - SPL Moído- Avaliação do Processo Produtivo – P10 – Formação de Anéis no Forno - Enxofre

6.1.6 Discussão e Conclusões Parciais do SPL Moído

Este resíduo nas condições de uso avaliada não apresenta riscos significativos à saúde e segurança do trabalhador e no meio ambiente (avaliação geral, emissões atmosféricas e poeira do cimento) e no processo produtivo.

É importante a avaliação através de testes de bancada para a determinação da quantidade do SPL moído a ser co-processada de forma a minimizar os riscos da influência do flúor na qualidade ambiental do cimento no tempoo de pega do cimento.

Para o aceite do resíduo SPL moído na fábrica X são necessários os seguintes controles adicionais:

- Testes de bancada para avaliar a qualidade ambiental do cimento através de ensaios de solubilização e lixiviação da argamassa produzida com o clínquer co-processado com o SPL para verificar o impacto real do flúor na qualidade ambiental do cimento e para a determinação da quantidade que será utilizada no coprocessamento.
- Avaliação da influência do clínquer produzido com o resíduo no tempo de pega do flúor.

A tabela 6.2. resume os resultados encontrados para a avaliação de risco da utilização do resíduo SPL moído na fábrica de cimento X.

Tabela 6.2 - Resumo das avaliações de risco do SPL moído e tratamento do risco

Área de Impacto	Risco	Índice de Probabilidade	Índice de Consequência	Nível de Risco	Tratamento do Risco
Saúde e Segurança	Risco de inalação da poeira de SPL moído	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Meio Ambiente – Avaliação Geral	Risco de Toxicidade para organismos aquáticos podendo causar efeitos de longo prazo nos ambientes aquáticos	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Meio Ambiente - Emissões Atmosféricas	Risco das emissões atmosféricas causarem danos à saúde humana	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Meio Ambiente - Poeira do cimento	Risco da poeira do cimento causar danos à saúde humana devido à presença do flúor	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Meio Ambiente – Qualidade ambiental do cimento	Risco do cimento causar danos ambientais devido à presença do flúor	4- Provável	3- Moderada	A	Testes de bancada para avaliar na argamassa através de ensaios de lixiviação e solubilização o impacto do flúor na qualidade ambiental do cimento e determinar a quantidade de resíduo a ser utilizada.
Qualidade do Produto	Risco de Redução da resistência à compressão às idades finais (28 dias) devido ao sódio	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Qualidade do Produto	Risco de contribuição para a reação álcalis agregado devido à presença do sódio	1- Raro	4- Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Qualidade do Produto	Risco de redução do tempo de pega devido à presença do flúor	2- Improvável	4- Maior	A	Testes de bancada para avaliar o impacto do teor de flúor no cimento e o tempo de pega para a fábrica X e determinar a quantidade de resíduo a ser utilizada.
Qualidade do Produto	Risco de aumentar a quantidade de C2S e reduzir a quantidade de C3S devido à presença do enxofre	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de redução de C3S devido à presença de flúor	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de aumentar a viscosidade da fase líquida devido à presença de sódio	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de aumentar o teor de cal livre devido à presença do sódio	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de aumentar a formação de colagem devido à presença do enxofre	1- Raro	4- Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Processo Produtivo	Risco de formação de anéis no forno	1- Raro	4- Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes

6.2 SPL Granulado

6.2.1 Descrição geral do resíduo

O segundo Contexto de Utilização do SPL :é a utilização do SPL na fábrica Y .O SPL chega a unidade granulado em big-bags. Ele é então descarregado do caminhão carga seca , enviado ao ponto de injeção através de uma talha e em seguida é descarregado ao forno. Neste contexto a exposição à inalação **é improvável índice de probabilidade 2** Outro ponto importante é que neste contexto a formação de amônia devido ao processamento do resíduo pode vir a ocorrer em algum momento devido ao maior manuseio /manipulação que a situação anterior

.A figura 6.17. apresenta o acondicionamento , transporte e descarregamento do SPL granulado.

Figura 6.17 - Acondicionamento, transporte e descarregamento do SPL granulado.

A classificação dos agentes químicos á mesma utilizada para o SPL moído.

6.2.2 Avaliação de Saúde e Segurança

O cenário de uso e possíveis riscos é apresentado abaixo:

1. Contatos possíveis: inalação de gás/vapor em caso de contato com a água ou grandes movimentações deste resíduo (liberação de amônia) , inalação de poeira durante o descarregamento do resíduo e/ou injeção do mesmo no forno, contato com pele/olhos acidentalmente.

Com base na classificação dos agentes químicos e cenário de utilização do resíduo a estimativa e julgamento do risco está resumida nas matrizes das figuras 6.18 .

Matriz de Risco - Avaliação de Saúde e Seguraça- Avaliação do Risco à inalação da poeira de SPL

PROABILIDADE	1- Insignificante	2- Menor	3- Moderada	4- Maior	5- Catastrófica
5- Quase Certo	A	A	A	E	E
4- Provável	M	A	A	A	E
3- Pouco Provável	B	M	A	A	A
2- Improvável	B	B	M	A	A
1- Raro	I	B	B	M	M

CONSEQUÊNCIA

Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.18- SPL Granualdo- Avaliação Saúde e Segurança - Risco à inalação da poeira.

6.2.3 Avaliação de Meio Ambiente

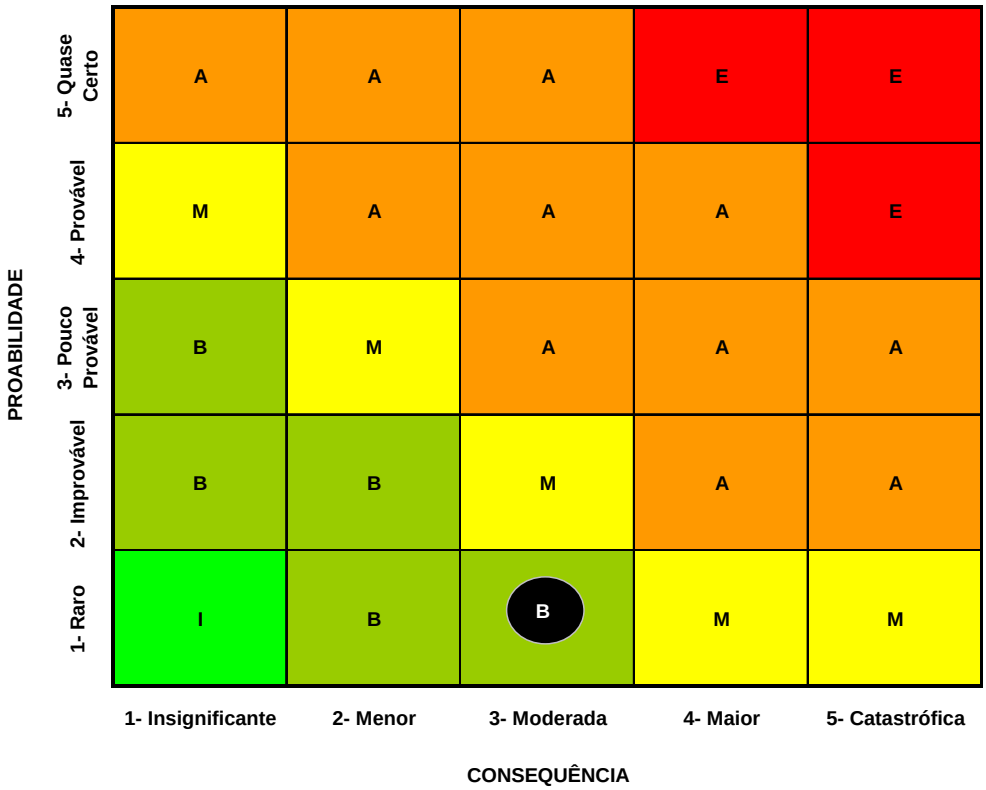
Nesta etapa é fundamental a avaliação do cenário de uso do resíduo e levantamento dos possíveis riscos levando-se em conta:

- Forma de acondicionamento dos resíduos no gerador que envolve armazenamento temporário, locais onde é realizado o acondicionamento e tipo de embalagem utilizada para o acondicionamento do resíduo: Não foi possível avaliar esta etapa neste trabalho.
- Forma e condições do transporte do resíduo: condições do caminhão, qualificação da transportadora e caminhoneiros , atendimento aos requisitos estabelecidos na ANTT420, etc.
- Forma e condições de descarregamento do resíduo nas plantas de blendagem ou cimenteiras.
- Formas e condições de armazenamento temporário do resíduo antes do seu manuesio/injeção nos fornos de clínquer
- Formas e condições de manuseio do resíduo durante todo o ciclo de operações unitárias realizadas: misturas, picagem, britagem, peneiramento, etc.
- Forma e condições do transporte do resíduo ou misturas de resíduos dentro da fábrica de cimento.

As condições de utilização descritas nos itens 2 ao 6 representam boas práticas.

- Tipo de injeção do resíduo: abertura do big-bag na tremonha de injeção.
- Operações envolvidas: amostragem do resíduo, descarregamento dos big-bags do caminhão carga seca, transporte dos big-bags via elevador de carga e injeção no forno através da abertura do fundo do big-bag na termonha de injeção.
- Riscos possíveis: devido à forma de armazenamento e transporte do resíduo ser via big-bags em caminhão carga seca o risco acidente durante o transporte do resíduo é bastante minimizado, vazamentos durante todas as operações envolvidas com o resíduo, geração de poeiras fugitivas podem ocorrer em algumas situações.

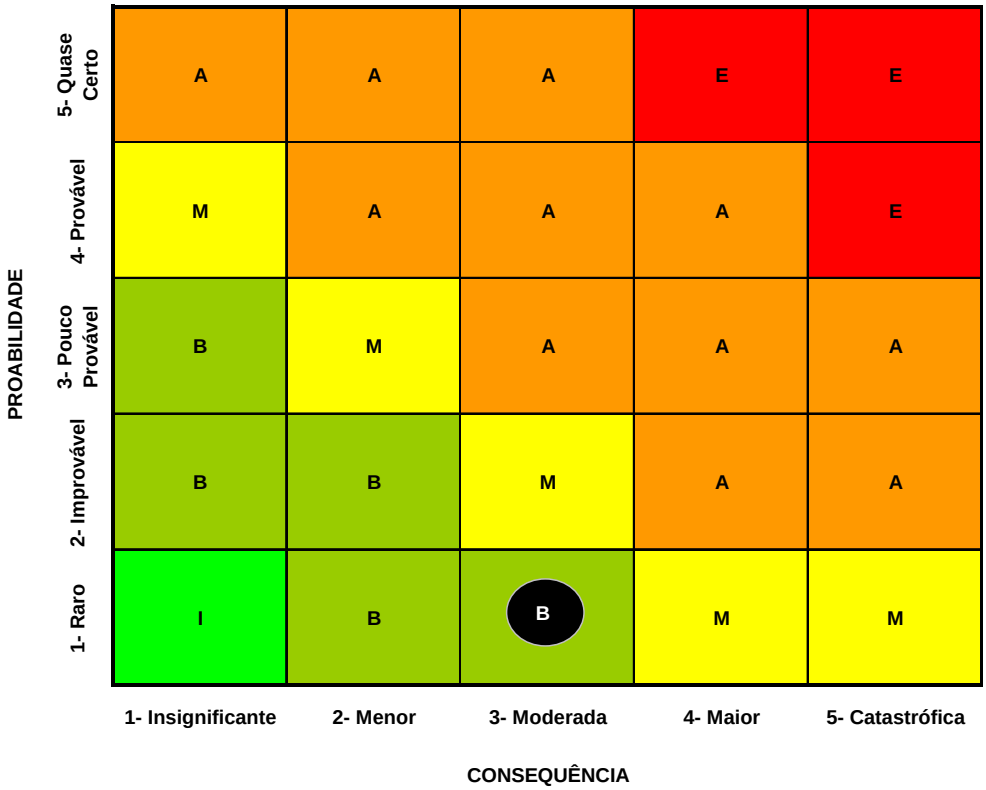
Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Avaliação Geral) - Avaliação do Risco de Tóxicidade para organismos aquáticos e pode causar efeitos de longo prazo nos ambientes aquáticos



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.19- SPL Granulado - Avaliação Meio Ambiente (Avaliação geral) R51/53

Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- HF



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.20- SPL Granulado – Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- HF

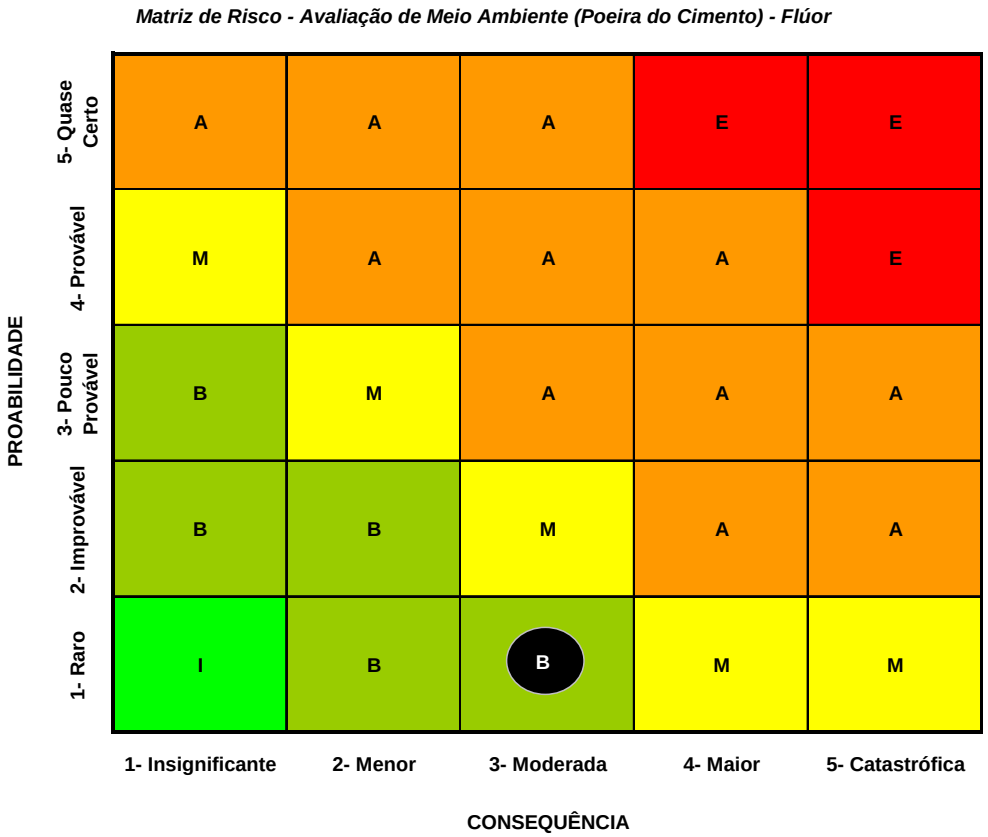
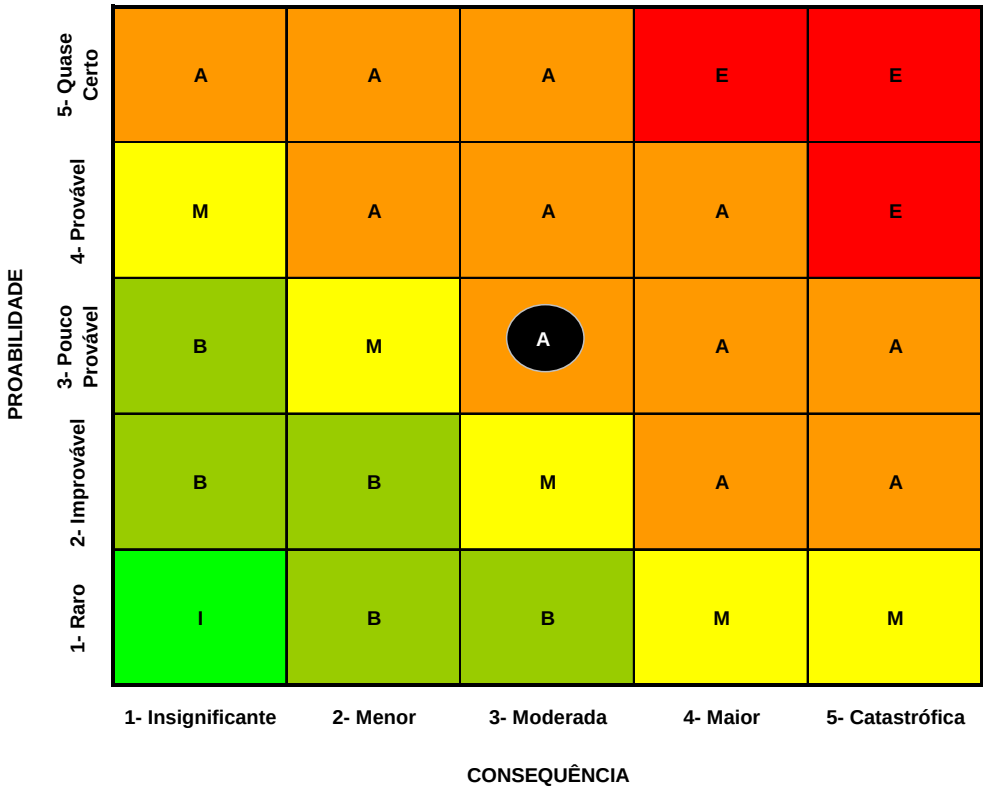


Figura 6.21- SPL Granulado - Avaliação Meio Ambiente (Poeira do Cimento) – Flúor

Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Qualidade Ambiental do Cimento) - Flúor



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

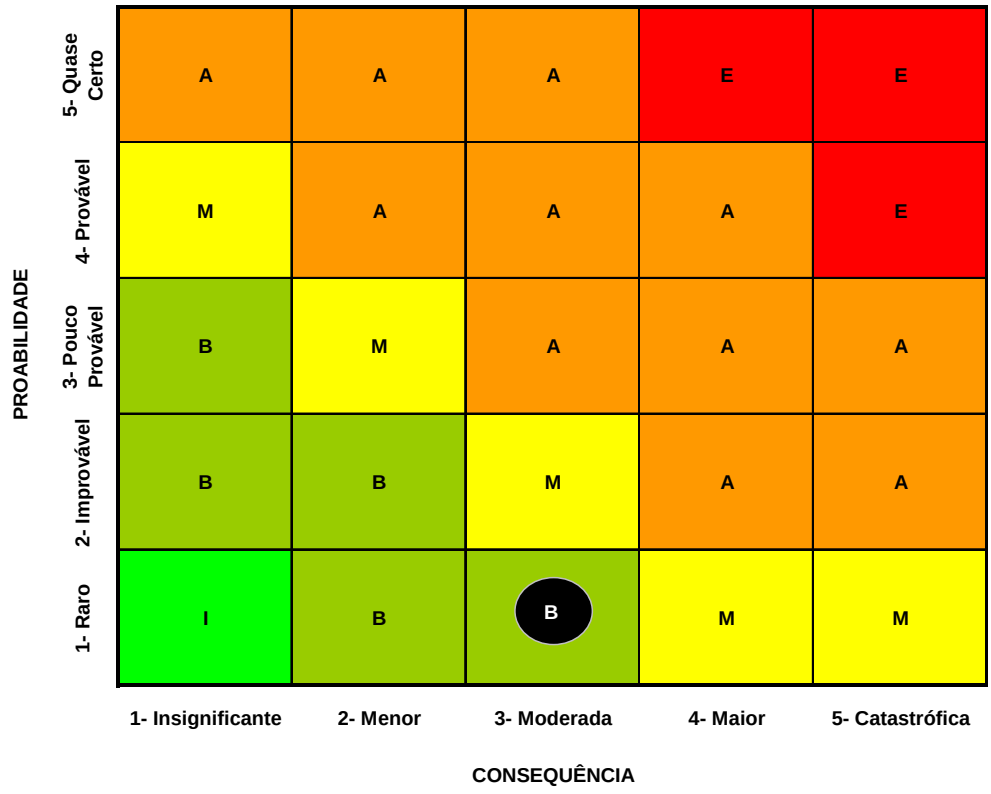
Figura 6.22- SPL Granulado – Avaliação Meio Ambiente (Qualidade Ambiental do Cimento)-Flúor

6.2.4 Avaliação da Qualidade do Produto

Na área de impacto qualidade do produto foram avaliados os seguintes elementos químicos: sódio, flúor e enxofre. Os elementos traços não foram classificados pois seus valores eram menores do que 1000 ppm (faixa de corte).

Os riscos Q2 – Acelera o tempo de pega e Q3- aumenta a resistência à compressão nas idades iniciais (1 e 3 dias) não foram avaliados pois são impactos positivos na qualidade do cimento.

Matriz de Risco - Avaliação de Qualidade do Produto - Q4- Redução da Resistência à Compressão nas idades finais (28 dias) - Sódio



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.23- SPL Granulado - Avaliação Qualidade do Produto- Q4- Redução da Resistência à Compressão à idades Finais (28 dias) – Sódio

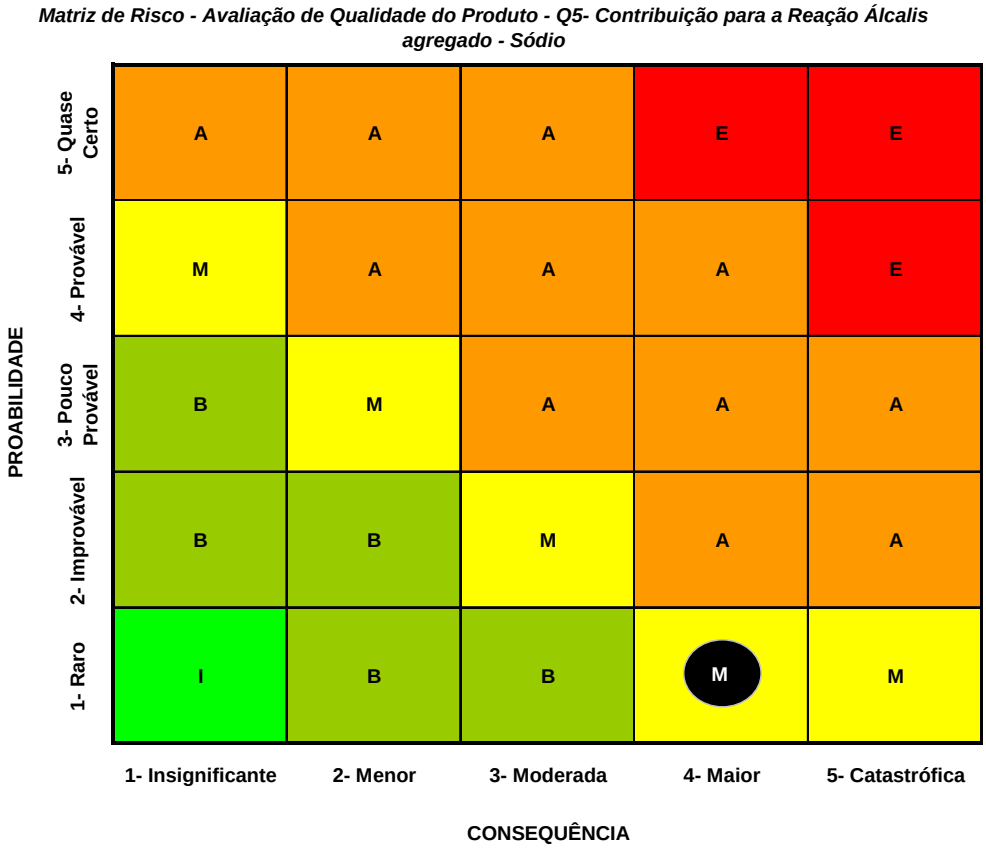
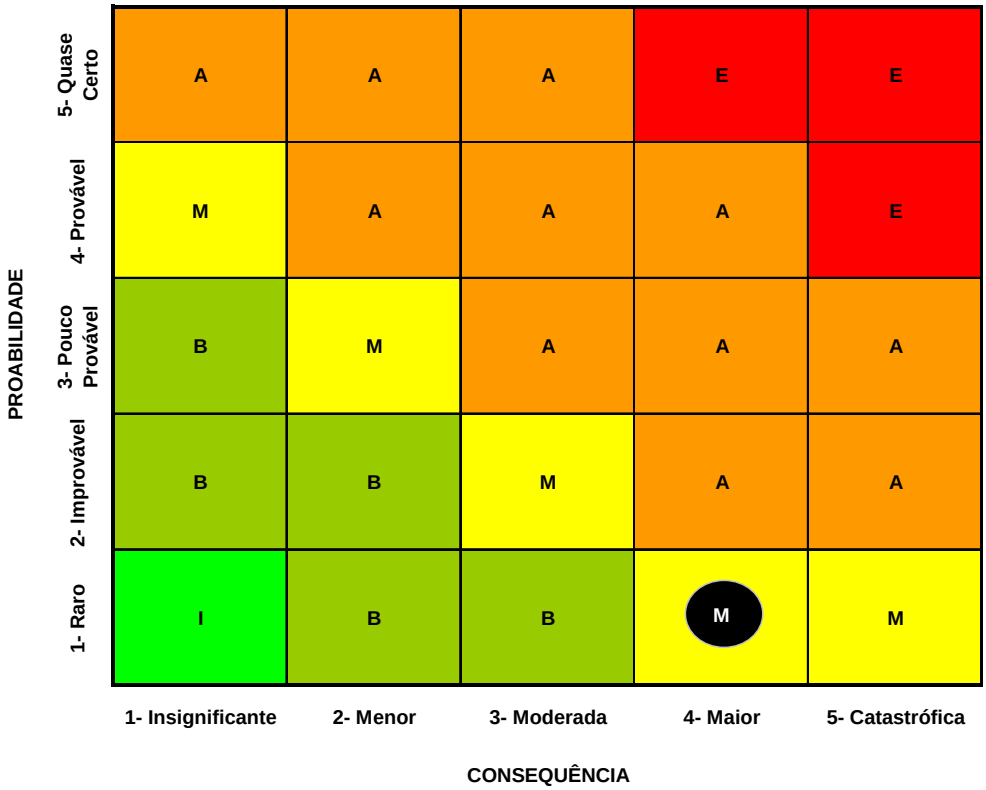


Figura 6.24 - SPL Granulado - Avaliação Qualidade do Produto- Q5- Contribuição para a Reação Álcalis Agregado – Sódio

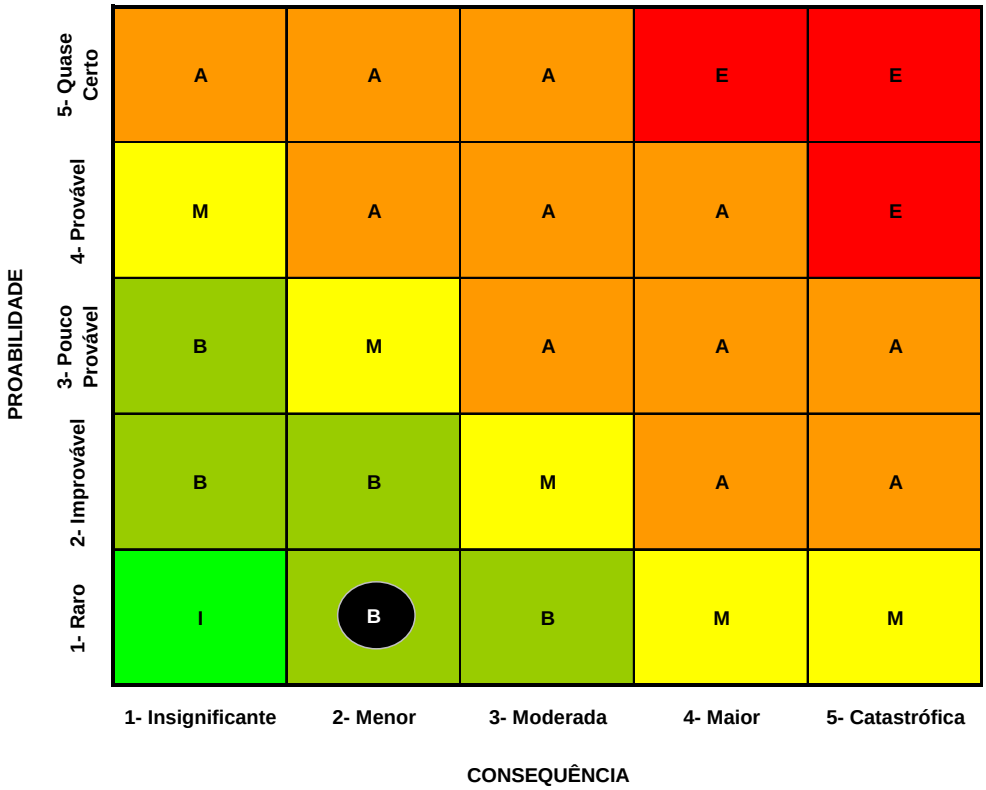
Matriz de Risco - Avaliação de Qualidade do Produto - Q1- Redução do tempo de Pega - Flúor



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.25 - SPL Granulado - Avaliação Qualidade do Produto- Q1- Redução do Tempo de Pega - Flúor

Matriz de Risco - Avaliação de Qualidade do Produto - Q9 e Q10 - Aumenta a quantidade de C2S e Reduz a quantidade de C3S - Enxofre



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.26 - SPL Granulado - Avaliação Qualidade do Produto- Q9 e Q10- Aumenta a quantidade de C2S e Reduz a quantidade de C3S - Enxofre

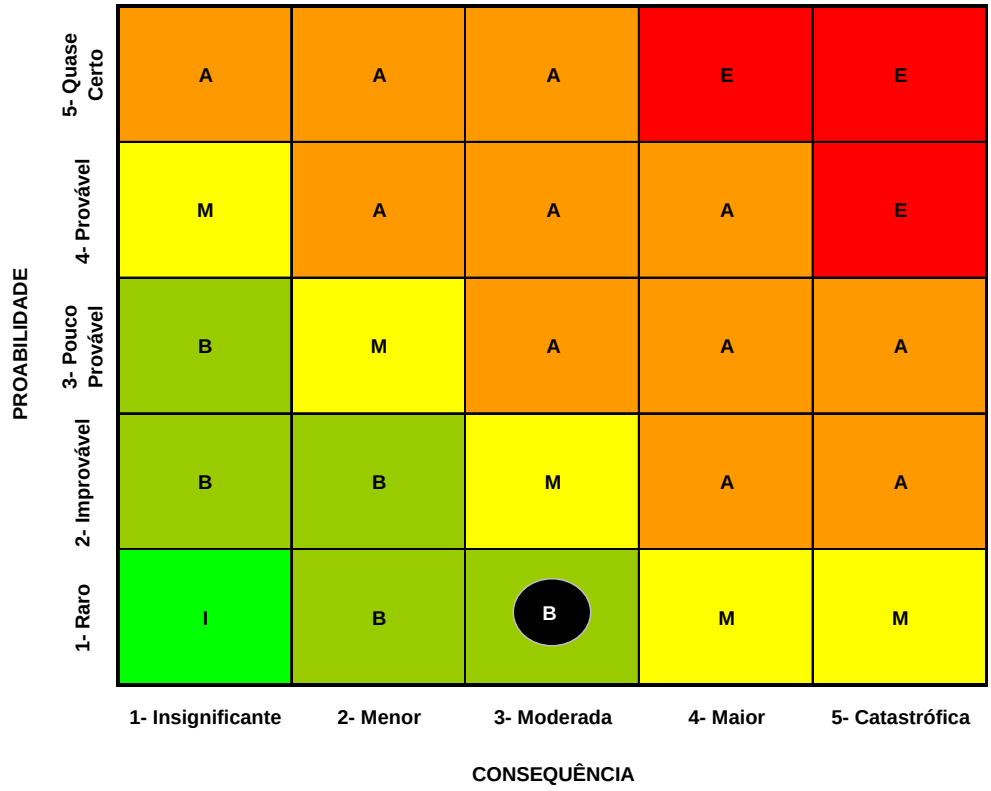
6.2.5 Avaliação do Processo Produtivo

Na área de impacto processo produtivo foram avaliados os seguintes elementos químicos: sódio, flúor e enxofre.

No caso do flúor não foram avaliados as frases de processo P1, P2 e P3 que influenciam na redução da temperatura de queima, redução da viscosidade da fase líquida e redução do teor de cal livre respectivamente pois são todos efeitos positivos.

Somente foi avaliado o P4 – redução da quantidade de C3S.

Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P4- Reduz a Quantidade de C3S - Flúor



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.27 - SPL Granulado - Avaliação do Processo Produtivo – P4 – Redução da Quantidade de C3S - Flúor

No caso do Sódio não foi avaliado a frase P7 que representa o aumento da reatividade do C3S em caso da falta de enxofre pois este efeito é positivo.

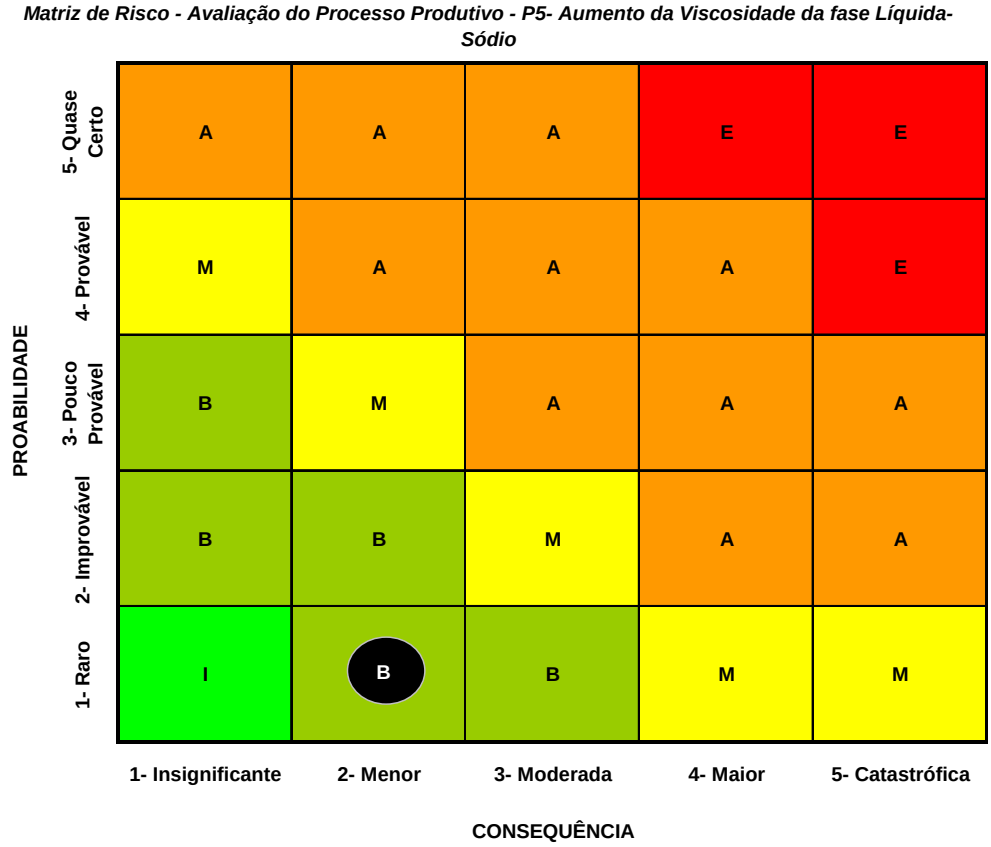
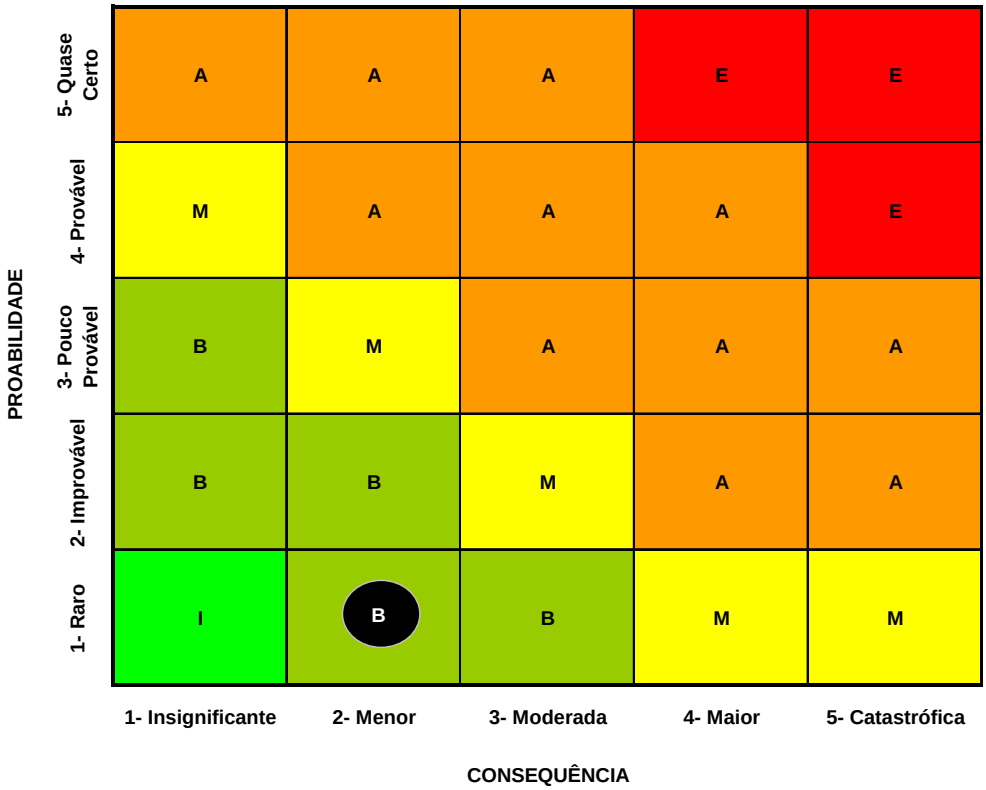


Figura 6.28 - SPL Granulado - Avaliação do Processo Produtivo – P5 – Aumento da Viscosidade da Fase Líquida – Sódio

Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P6- Aumento do Teor de Cal Livre - Sódio

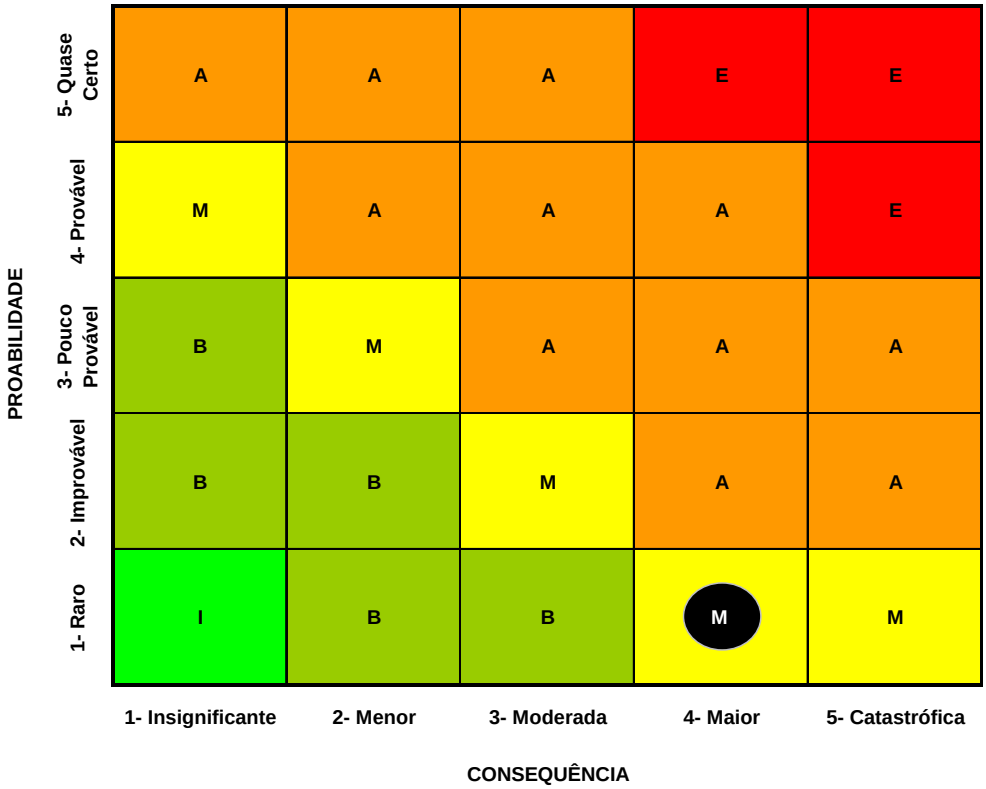


Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.29 - SPL Granulado - Avaliação do Processo Produtivo – P6 – Aumento do teor de cal livre – Sódio

No caso do enxofre não foi avaliado a frase P9 e P12 que representa o aumento da quantidade da fase líquida e redução da viscosidade da fase líquida que são efeitos positivos para o processo produtivo.

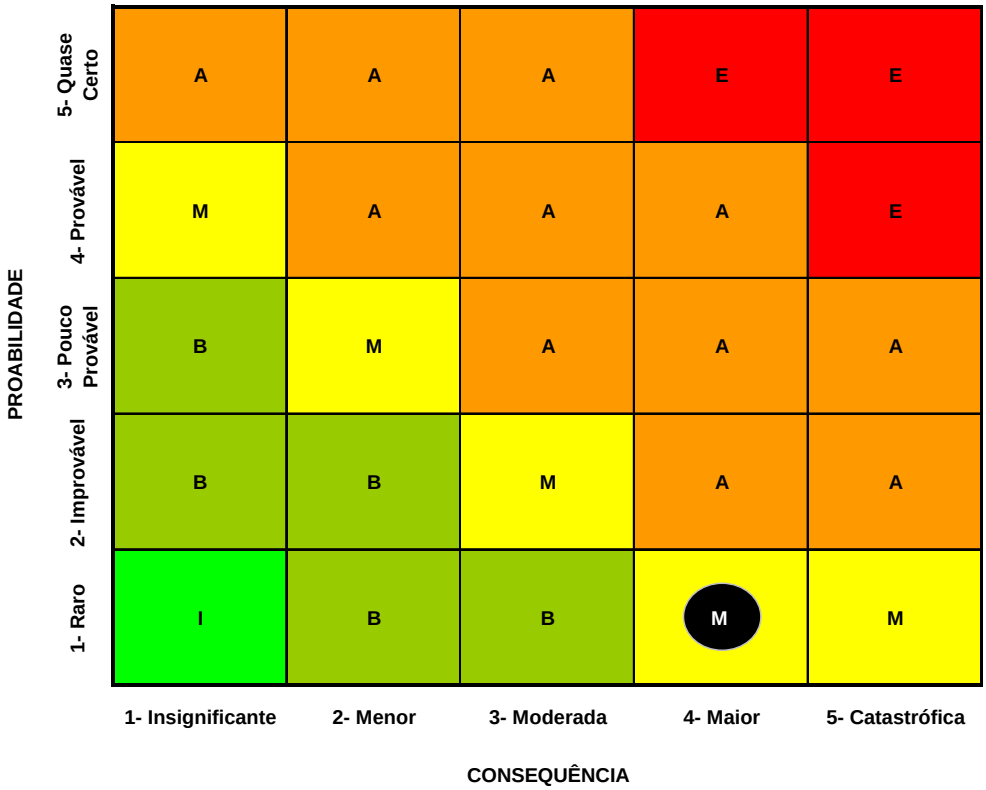
Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P8- aumento da formação de colagem -Enxofre



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.30 - SPL Granulado - Avaliação do Processo Produtivo – P8 – Aumento da formação de colagem - Enxofre

Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P10- Formação de Aneis no Forno - Enxofre



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.31 - SPL Granulado- Avaliação do Processo Produtivo – P10 – Formação de Anéis no Forno - Enxofre

6.2.6 Discussão e Conclusões Parciais do SPL Granulado

Este resíduo nas condições de uso avaliada não apresenta riscos significativos à saúde e segurança do trabalhador e no meio ambiente (avaliação geral, emissões atmosféricas e poeira do cimento) e no processo produtivo.

É importante a avaliação através de testes de bancada para a determinação da quantidade do SPL moído a ser co-processada de forma a minimizar os riscos da influência do flúor na qualidade ambiental do cimento .

Para o aceite do resíduo SPL moído na fábrica Y são necessários os seguintes controles adicionais:

- Testes de bancada para avaliar a qualidade ambiental do cimento através de ensaios de solubilização e lixiviação da argamassa produzida com o clínquer co-processado com o SPL para verificar o impacto real do flúor na qualidade ambiental do cimento e para a determinação da quantidade que será utilizada no coprocessamento.

A tabela 6.3. resume os resultados encontrados para a avaliação de risco da utilização do resíduo SPL granulado na fábrica de cimento Y.

Tabela 6.3 - Resumo das avaliações de risco do SPL granulado e tratamento do risco

Área de Impacto	Risco	Índice de Probabilidade	Índice de Consequência	Nível de Risco	Tratamento do Risco
Saúde e Segurança	Risco de inalação da poeira de SPL moído	2- Improvável	3- Moderada	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Meio Ambiente – Avaliação Geral	Risco de Toxicidade para organismos aquáticos podendo causar efeitos de longo prazo nos ambientes aquáticos	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Meio Ambiente - Emissões Atmosféricas	Risco das emissões atmosféricas causarem danos à saúde humana	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Meio Ambiente - Poeira do cimento	Risco da poeira do cimento causar danos à saúde humana devido à presença do flúor	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Meio Ambiente – Qualidade ambiental do cimento	Risco do cimento causar danos ambientais devido à presença do flúor	3 -Pouco Provável	3- Moderada	A	Testes de bancada para avaliar na argamassa através de ensaios de lixiviação e solubilização o impacto do flúor na qualidade ambiental do cimento e determinar a quantidade de resíduo a ser utilizada.
Qualidade do Produto	Risco de Redução da resistência à compressão às idades finais (28 dias) devido ao sódio	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Qualidade do Produto	Risco de contribuição para a reação álcalis agregado devido à presença do sódio	1- Raro	4- Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Qualidade do Produto	Risco de redução do tempo de pega devido à presença do flúor	1- Raro	4- Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Qualidade do Produto	Risco de aumentar a quantidade de C2S e reduzir a quantidade de C3S devido à presença do enxofre	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de redução de C3S devido à presença de flúor	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de aumentar a viscosidade da fase líquida devido à presença de sódio	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de aumentar o teor de cal livre devido à presença do sódio	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de aumentar a formação de colagem devido à presença do enxofre	1- Raro	4- Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Processo Produtivo	Risco de formação de anéis no forno	1- Raro	4- Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes

6.3 SPL Britado

6.3.1 Descrição geral do resíduo

O terceiro contexto de Utilização do SPL :é a utilização do SPL britado na fábricaZ. O SPL chega a unidade britado. Ele é então descarregado do caminhão caçamba e adicionado à pilha de coque. Neste contexto a exposição à inalação **é pouco provável índice de probabilidade 3.** Outro ponto importante é que neste contexto a formação de amônia devido ao grande manuseio e operações unitárias realizadas deverá ocorrer em algum momento.

.A figura 6.32 apresenta o manuseio e descarregamento do SPL britado.

Figura 6.32- Manuseio e descarregamento do SPL britado.

A classificação dos agentes químicos á mesma utilizada para o SPL moído.

6.3.2 Avaliação de Saúde e Segurança

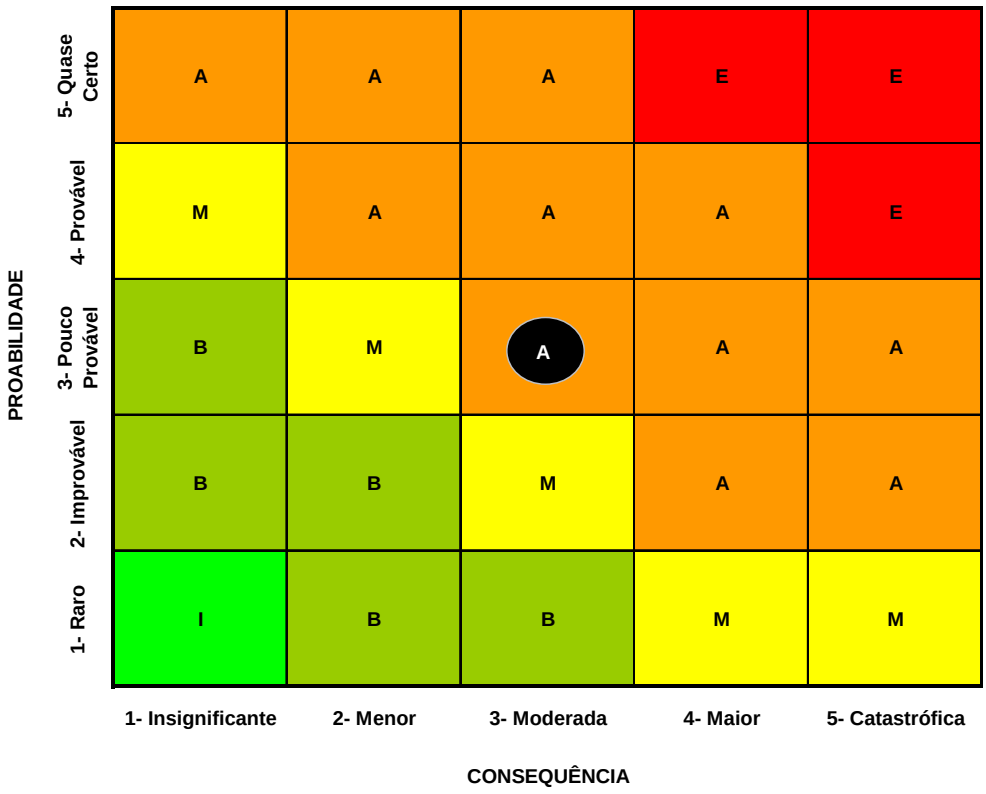
O cenário de uso e possíveis riscos é apresentado abaixo:

Contatos possíveis: inalação de gás/vapor em caso de contato com a água ou grandes movimentações deste resíduo (liberação de amônia) , inalação de poeira durante o

descarregamento do resíduo e/ou injeção do mesmo no forno, contato com pele/olhos acidentalmente.

Com base na classificação dos agentes químicos e cenário de utilização do resíduo a estimativa e julgamento do risco está resumida na matriz da figura 6.33.

Matriz de Risco - Avaliação de Saúde e Seguraça- Avaliação do Risco à inalação da poeira de SPL



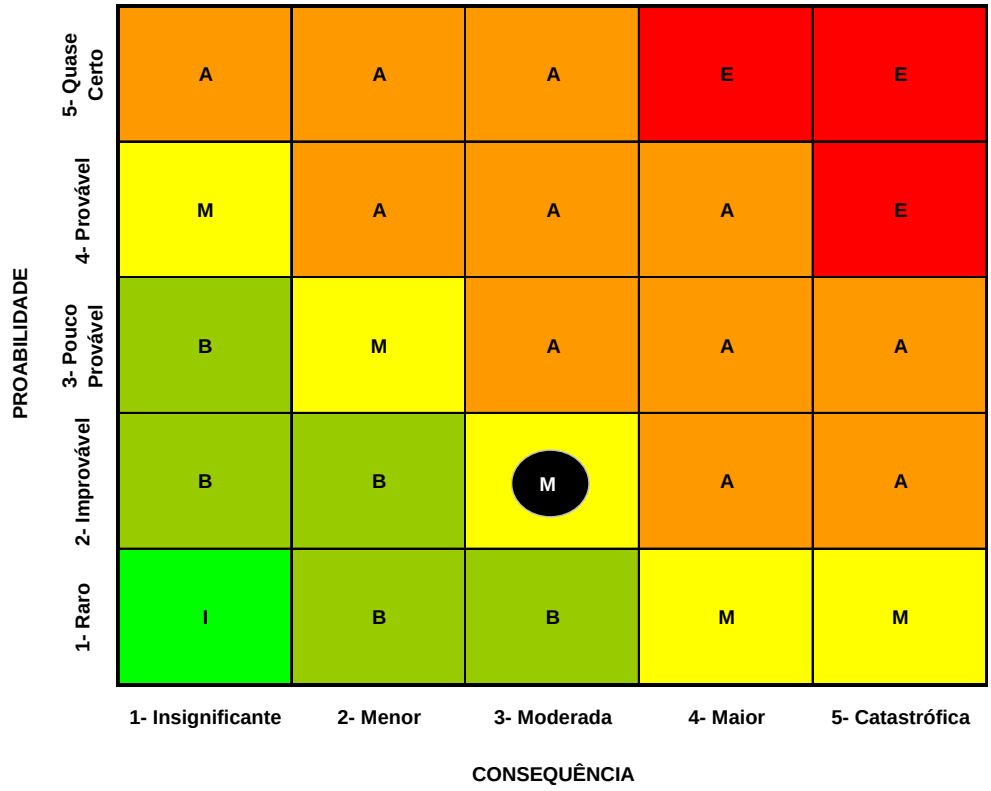
Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.33- SPL Britado- Avaliação Saúde e Segurança - Risco de inalação da poeira de SPL.

6.3.3 Avaliação de Meio Ambiente

As figuras 6.35 à 6.38 apresentam a avaliação ambiental para a utilização do SPL britado na fábrica Z.

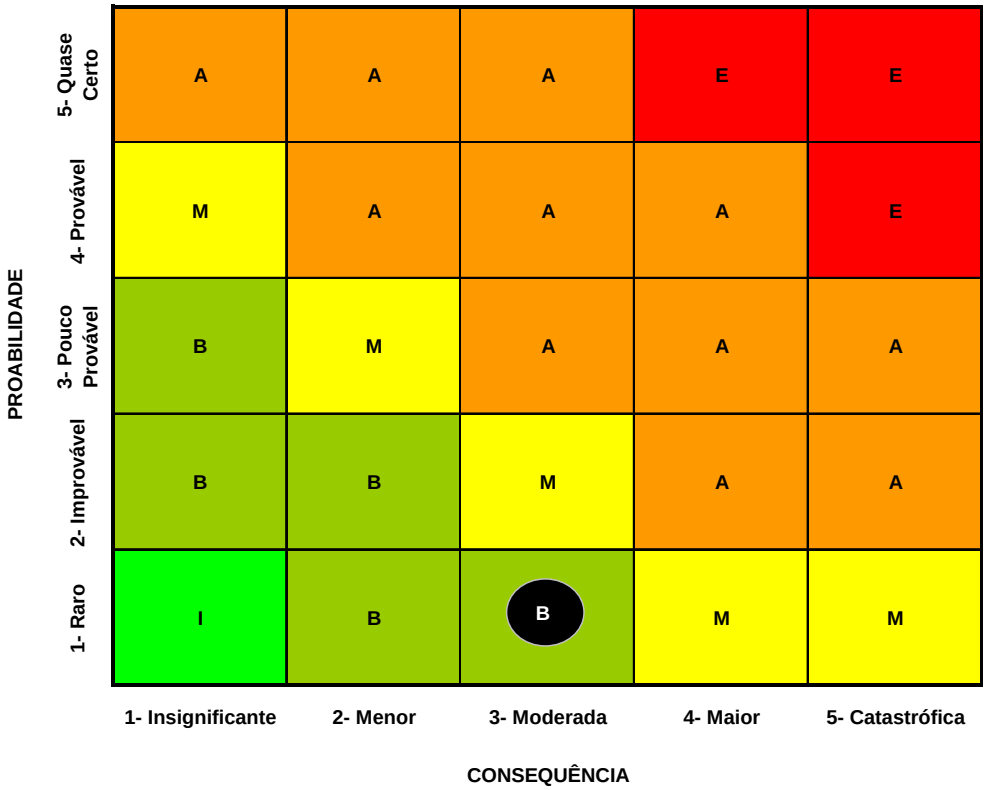
Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Avaliação Geral) - Avaliação do Risco de Tóxicidade para organismos aquáticos e pode causar efeitos de longo prazo nos ambientes aquáticos



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.34- SPL Britado - Avaliação Meio Ambiente (Avaliação geral) R51/53

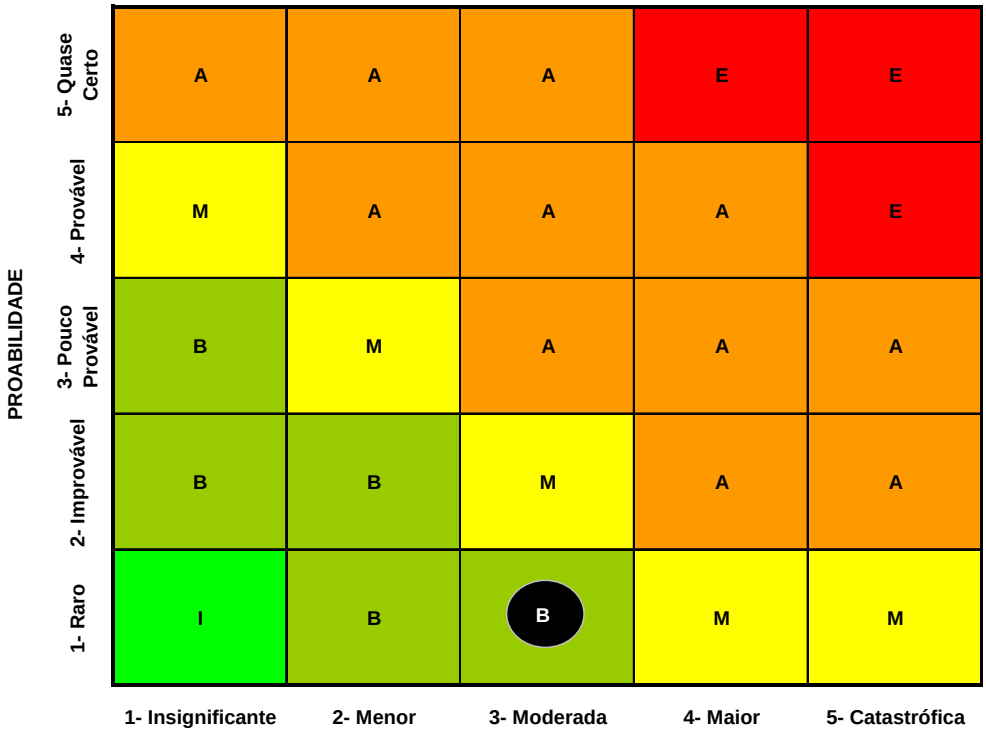
Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- HF



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.35- SPL Britado – Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- HF

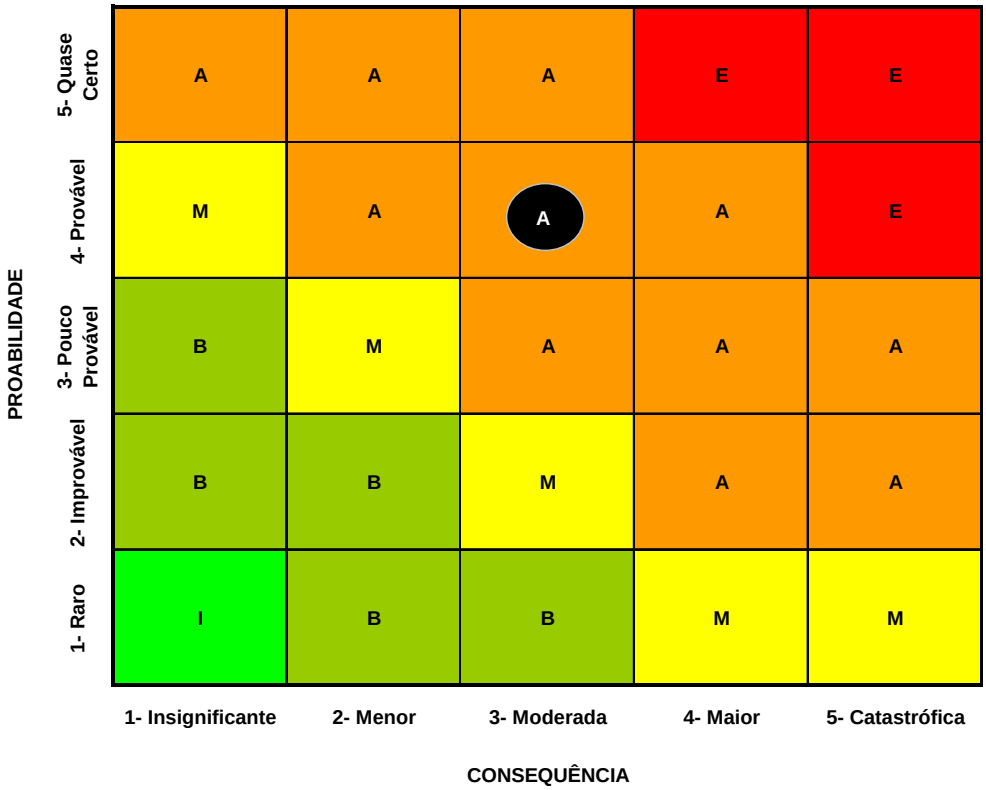
Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Poeira do Cimento) - Flúor



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.36- SPL Britado - Avaliação Meio Ambiente (Poeira do Cimento) – Flúor

Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Qualidade Ambiental do Cimento) - Flúor



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

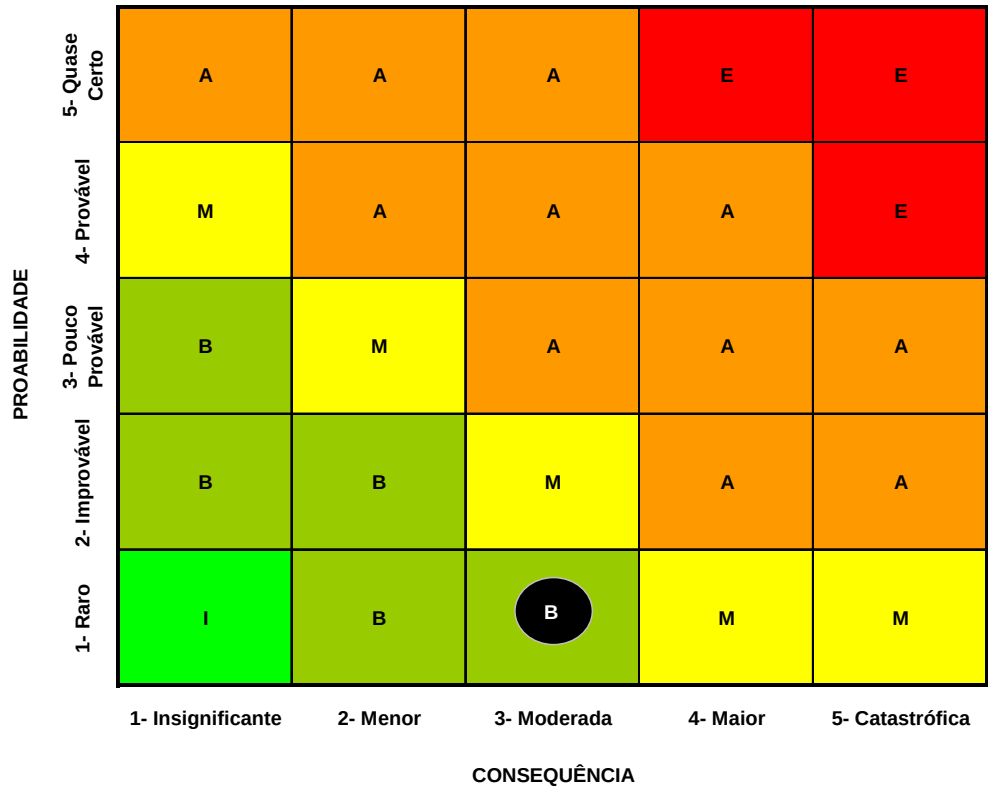
Figura 6.37- SPL Britado – Avaliação Meio Ambiente (Qualidade Ambiental do Cimento)- Flúor

6.3.4 Avaliação da Qualidade do Produto

Na área de impacto qualidade do produto foram avaliados os seguintes elementos químicos: sódio, flúor e enxofre. Os elementos traços não foram classificados pois seus valores eram menores do que 1000 ppm (faixa de corte).

Os riscos Q2 – Acelera o tempo de pega e Q3- aumenta a resistência à compressão nas idades iniciais (1 e 3 dias) não foram avaliados pois são impactos positivos na qualidade do cimento.

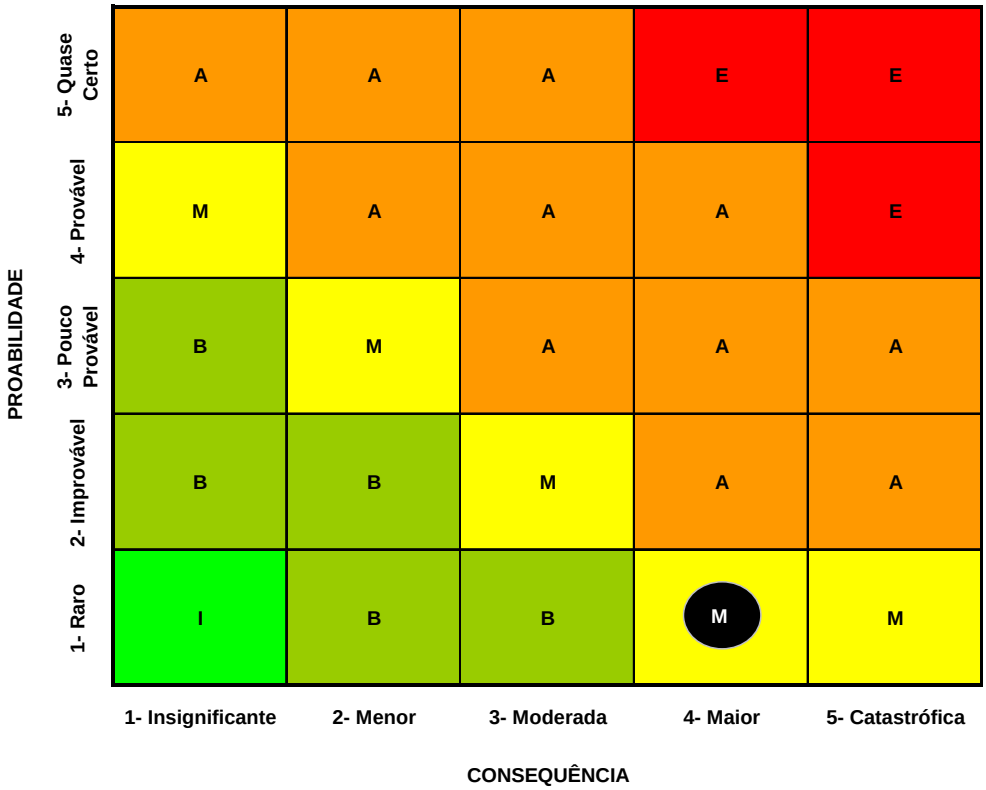
Matriz de Risco - Avaliação de Qualidade do Produto - Q4- Redução da Resistência à Compressão nas idades finais (28 dias) - Sódio



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.38- SPL Britado - Avaliação Qualidade do Produto- Q4- Redução da Resistência à Compressão à idades Finais (28 dias) – Sódio

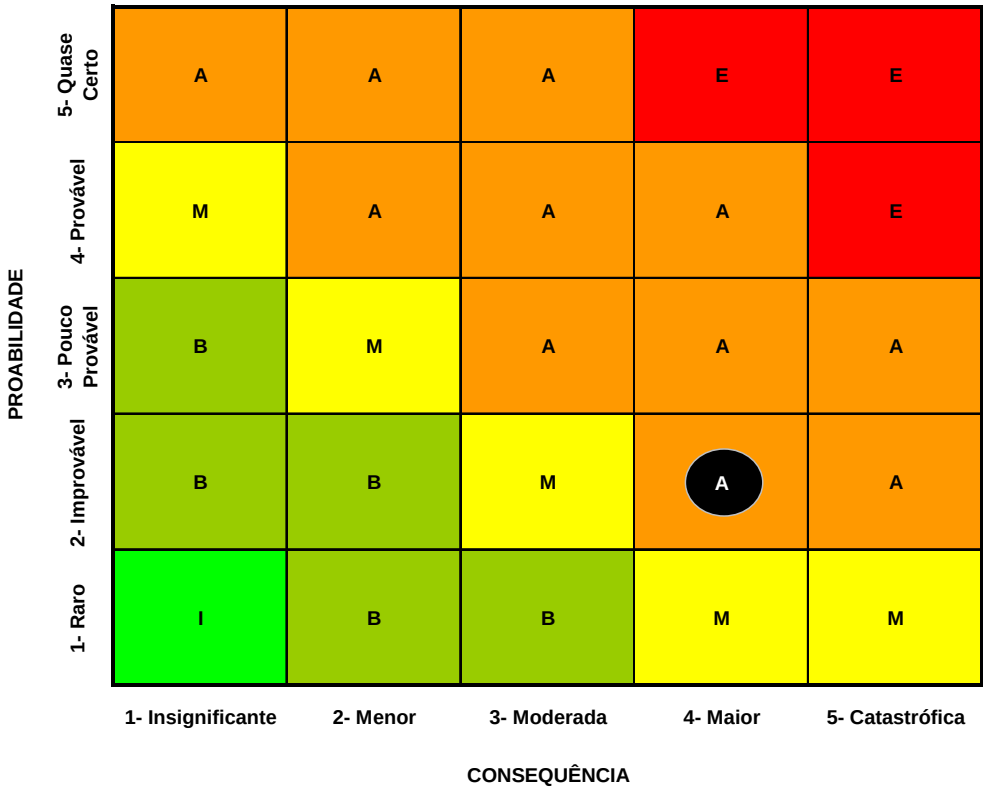
Matriz de Risco - Avaliação de Qualidade do Produto - Q5- Contribuição para a Reação Álcalis agregado - Sódio



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.39 - SPL Britado - Avaliação Qualidade do Produto- Q5- Contribuição para a Reação Álcalis Agregado – Sódio

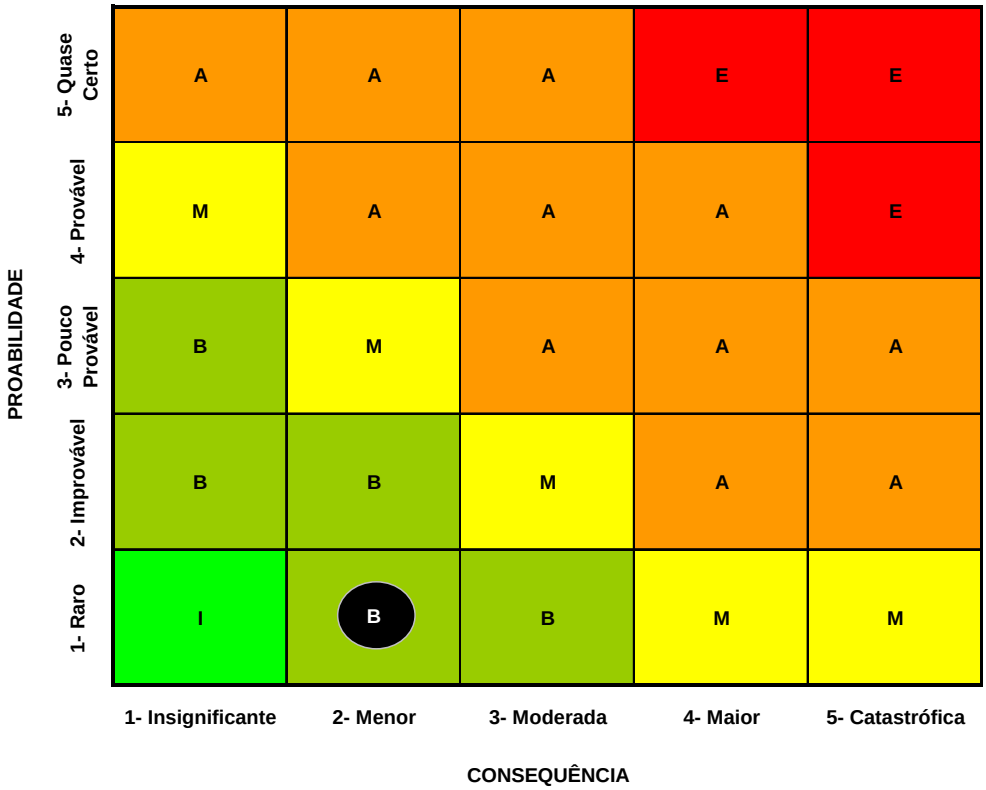
Matriz de Risco - Avaliação de Qualidade do Produto - Q1- Redução do tempo de Pega - Flúor



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.40 - SPL Britado - Avaliação Qualidade do Produto- Q1- Redução do Tempo de Pega - Flúor

Matriz de Risco - Avaliação de Qualidade do Produto - Q9 e Q10 - Aumenta a quantidade de C2S e Reduz a quantidade de C3S - Enxofre



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.41 - SPL Britado - Avaliação Qualidade do Produto- Q9 e Q10- Aumenta a quantidade de C2S e Reduz a quantidade de C3S - Enxofre

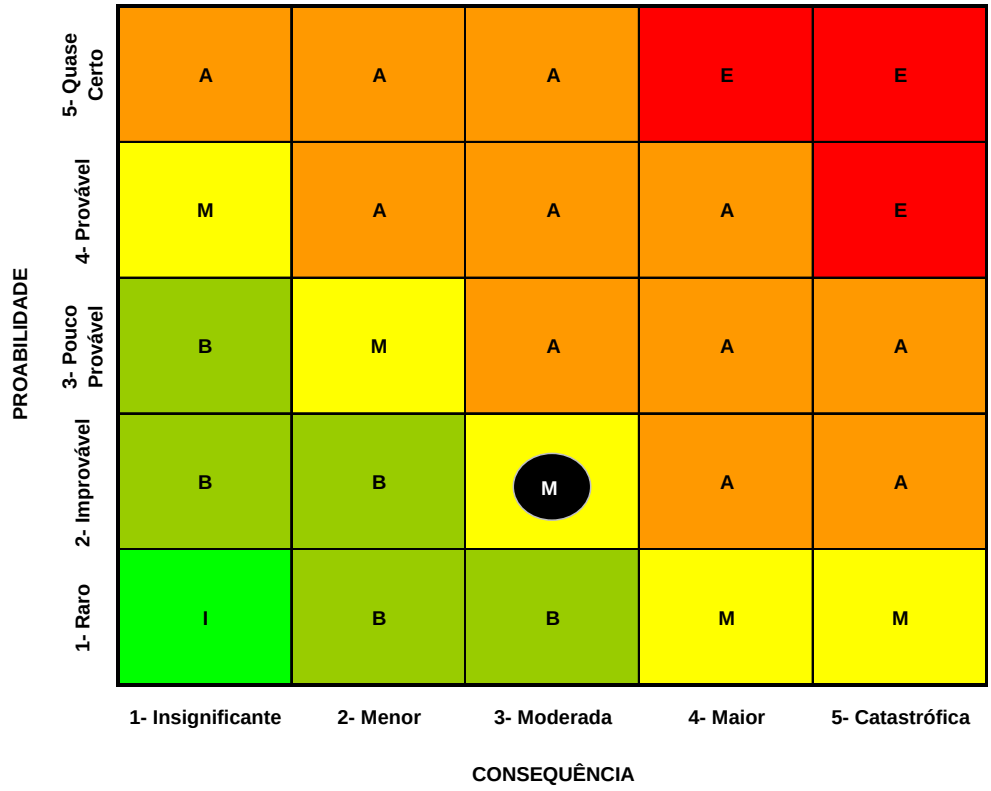
6.3.5 Avaliação do Processo Produtivo

Na área de impacto processo produtivo foram avaliados os seguintes elementos químicos: sódio, flúor e enxofre.

No caso do flúor não foram avaliados as frases de processo P1, P2 e P3 que influenciam na redução da temperatura de queima, redução da viscosidade da fase líquida e redução do teor de cal livre respectivamente pois são todos efeitos positivos.

Somente foi avaliado o P4 – redução da quantidade de C3S.

Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P4- Reduz a Quantidade de C3S - Flúor



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.42 - SPL Britado - Avaliação do Processo Produtivo – P4 – Redução da Quantidade de C3S - Flúor

No caso do Sódio não foi avaliado a frase P7 que representa o aumento da reatividade do C3S em caso da falta de enxofre pois este efeito é positivo.

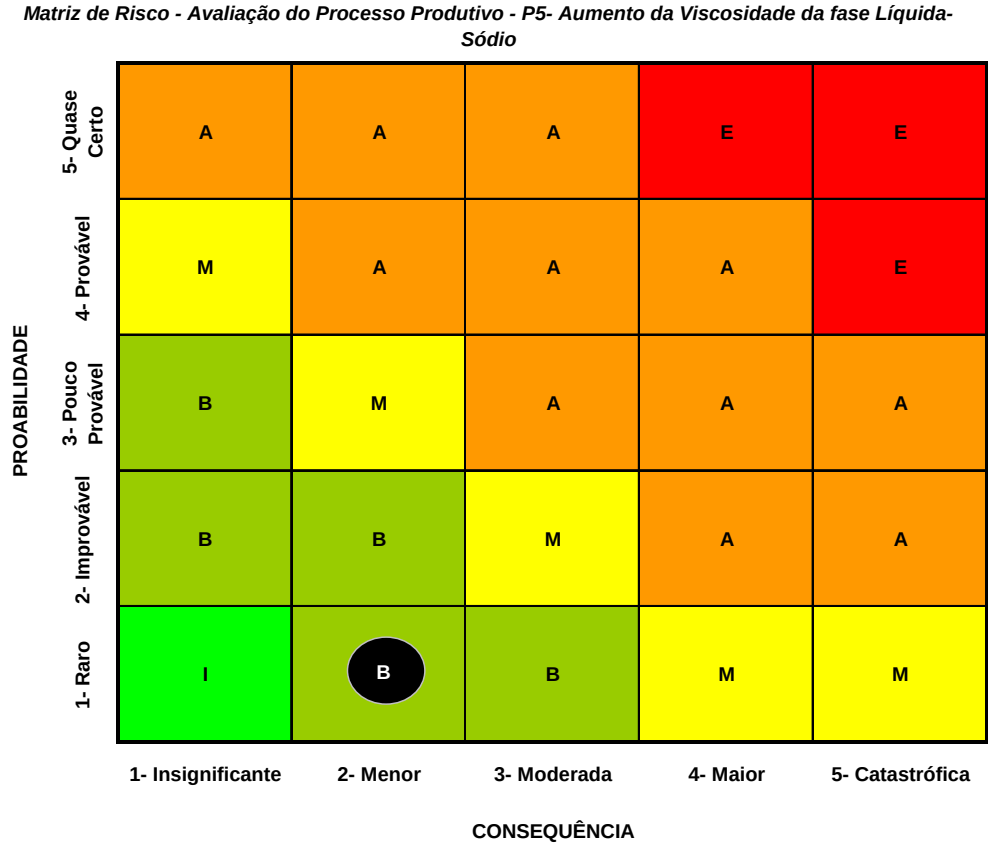
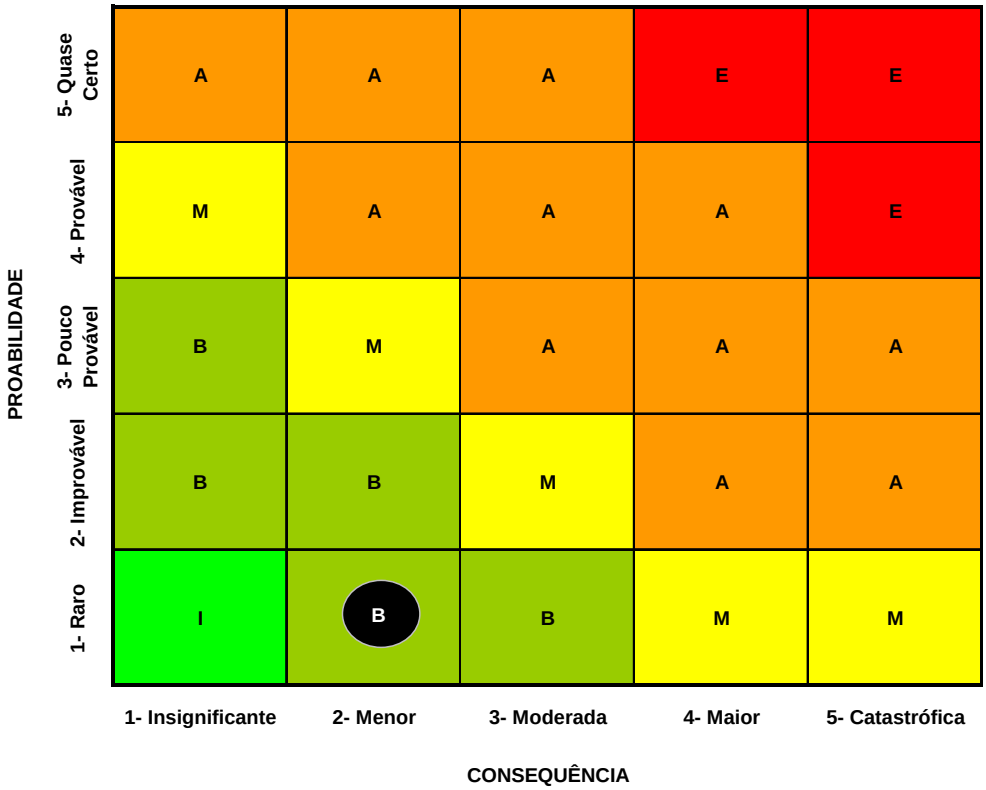


Figura 6.43 - SPL Britado - Avaliação do Processo Produtivo – P5 – Aumento da Viscosidade da Fase Líquida – Sódio

Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P6- Aumento do Teor de Cal Livre - Sódio

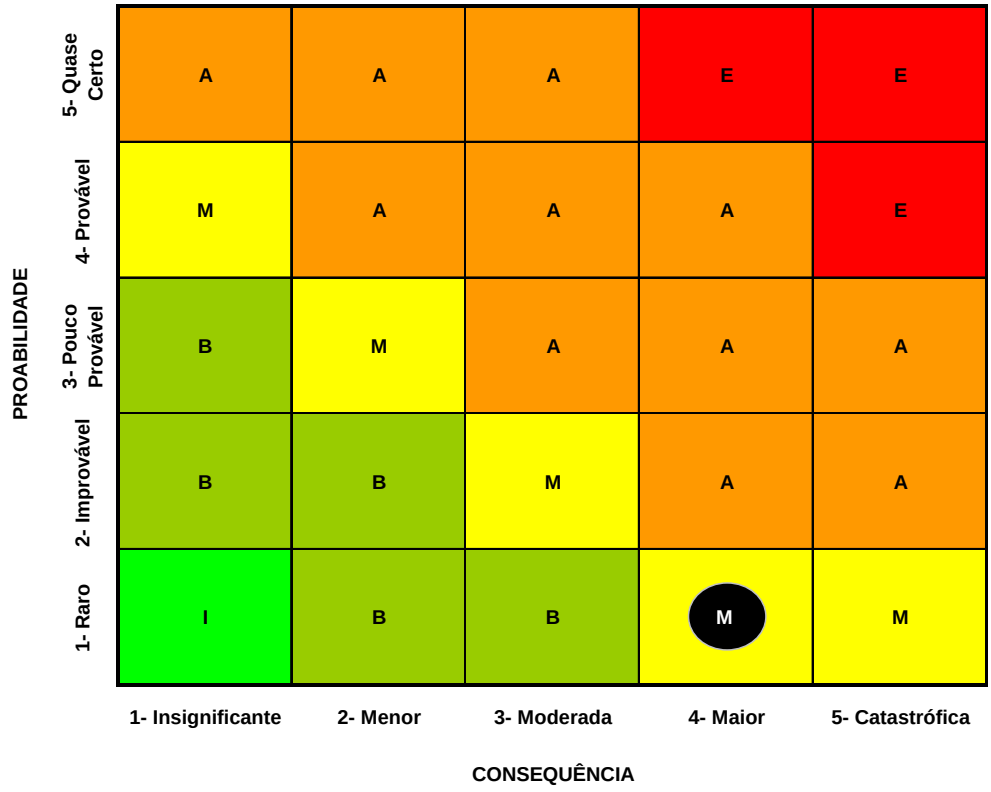


Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.44 - SPL Britado - Avaliação do Processo Produtivo – P6 – Aumento do teor de cal livre – Sódio

No caso do enxofre não foi avaliado a frase P9 e P12 que representa o aumento da quantidade da fase líquida e redução da viscosidade da fase líquida que são efeitos positivos para o processo produtivo.

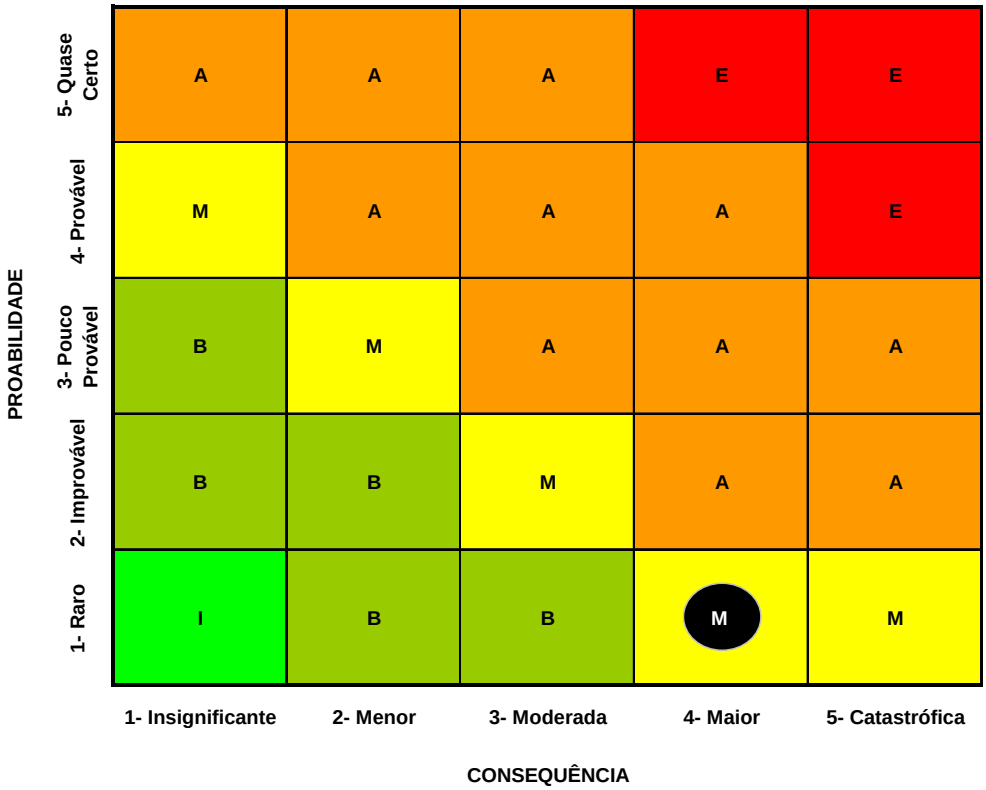
Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P8- aumento da formação de colagem -Enxofre



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.45 - SPL Britado - Avaliação do Processo Produtivo – P8 – Aumento da formação de colagem - Enxofre

Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P10- Formação de Aneis no Forno - Enxofre



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.46 - SPL Britado- Avaliação do Processo Produtivo – P10 – Formação de Anéis no Forno - Enxofre

6.3.6 Discussão e Conclusões Parciais do SPL Britado

Este resíduo nas condições de uso avaliada não apresenta riscos significativos ao meio ambiente (avaliação geral, emissões atmosféricas e poeira do cimento) e no processo produtivo.

É importante a avaliação através de testes de bancada para a determinação da quantidade do SPL moído a ser co-processada de forma a minimizar os riscos da influência do flúor na qualidade ambiental do cimento .

Para o aceite do resíduo SPL britado na fábrica Z são necessários os seguintes controles adicionais:

- Testes de bancada para avaliar a qualidade ambiental do cimento através de ensaios de solubilização e lixiviação da argamassa produzida com o clínquer co-processado com o SPL para verificar o impacto real do flúor na qualidade ambiental do cimento para a determinação da quantidade que será utilizada no coprocessamento.
- Melhoria das condições de exposição do trabalhador através da mudança do ponto do injeção ou forma de injeção que minimize a exposição do trabalhador à poeira do SPL.
- Avaliação quantitativa da exposição ocupacional do trabalhador para verificação do índice de probabilidade da matriz de risco à inalação da poeira do SPL.

A tabela 6.4. resume os resultados encontrados para a avaliação de risco da utilização do resíduo SPL britado na fábrica de cimento Z.

Tabela 6.4 - Resumo das avaliações de risco do SPL britado e tratamento do risco

Área de Impacto	Risco	Índice de Probabilidade	Índice de Consequência	Nível de Risco	Tratamento do Risco
Saúde e Segurança	Risco de inalação da poeira de SPL moído	3 -Pouco Provável	3- Moderada	A	Modificação da forma ou ponto de injeção que minimize a exposição do trabalhador à inalação da poeira do SPL
Meio Ambiente – Avaliação Geral	Risco de Toxicidade para organismos aquáticos podendo causar efeitos de longo prazo nos ambientes aquáticos	2 - Improvável	3- Moderada	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Meio Ambiente - Emissões Atmosféricas	Risco das emissões atmosféricas causarem danos à saúde humana	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Meio Ambiente - Poeira do cimento	Risco da poeira do cimento causar danos à saúde humana devido à presença do flúor	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Meio Ambiente – Qualidade ambiental do cimento	Risco do cimento causar danos ambientais devido à presença do flúor	4 - Provável	3- Moderada	A	Testes de bancada para avaliar na argamassa através de ensaios de lixiviação e solubilização o impacto do flúor na qualidade ambiental do cimento e determinar a quantidade de resíduo a ser utilizada.
Qualidade do Produto	Risco de Redução da resistência à compressão às idades finais (28 dias) devido ao sódio	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Qualidade do Produto	Risco de contribuição para a reação álcalis agregado devido à presença do sódio	1- Raro	4- Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Qualidade do Produto	Risco de redução do tempo de pega devido à presença do flúor	2- Improvável	4- Maior	A	Testes de bancada para avaliar o impacto do teor de flúor no cimento e o tempo de pega para a fábrica Z e determinar a quantidade de resíduo a ser utilizada.
Qualidade do Produto	Risco de aumentar a quantidade de C2S e reduzir a quantidade de C3S devido à presença do enxofre	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de redução de C3S devido à presença de flúor	2- Improvável	3- Moderada	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Processo Produtivo	Risco de aumentar a viscosidade da fase líquida devido à presença de sódio	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de aumentar o teor de cal livre devido à presença do sódio	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de aumentar a formação de colagem devido à presença do enxofre	1- Raro	4- Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Processo Produtivo	Risco de formação de anéis no forno	1- Raro	4- Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes

6.4 Borra Ácida

6.4.1 Descrição geral do resíduo

O processo de geração da borra ácida está descrito no fluxograma apresentado na figura 6.47.

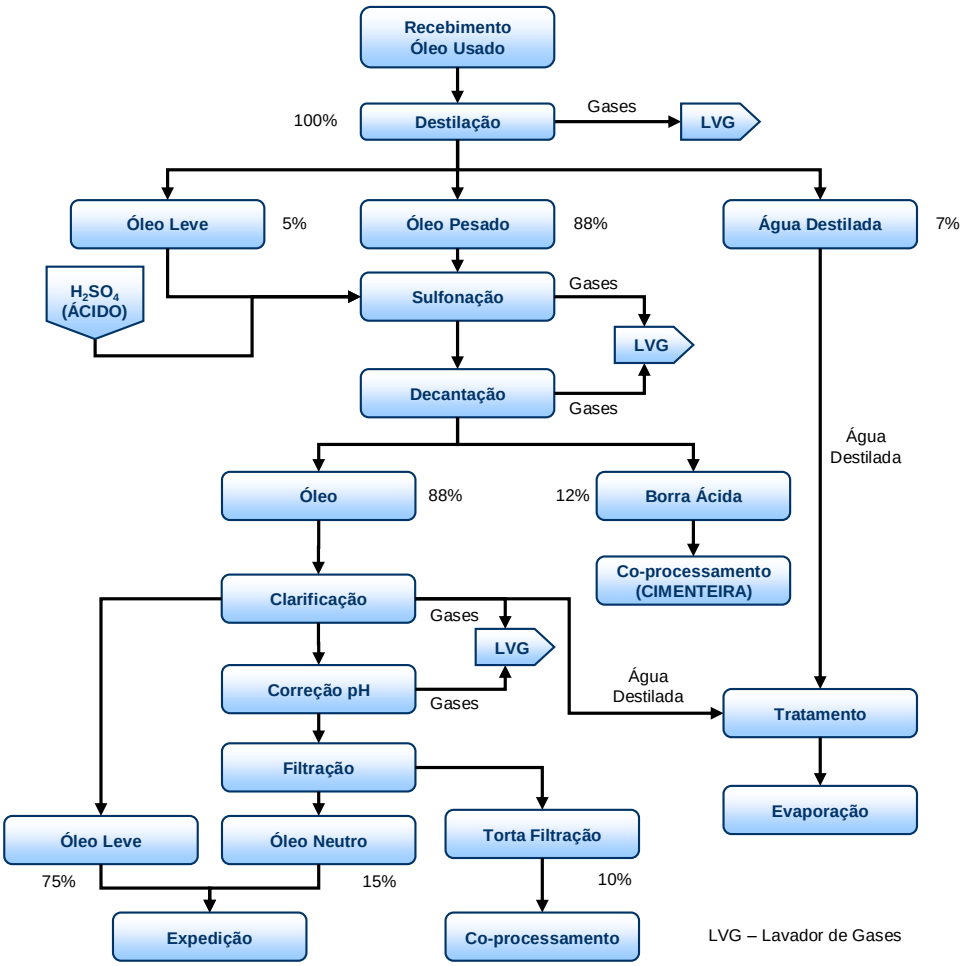


Figura 6.47– Fluxograma do processo de geração da borra ácida

O óleo lubrificante usado é coletado e precedido de análises químicas para verificação da presença de contaminantes. Estando dentro dos padrões de recebimento, o óleo usado é transferido para os tanques de armazenamento.

O óleo é transferido em bateladas para o reator de pré-destilação e, em seguida é bombeado, passando através do forno de aquecimento até atingir uma temperatura de

320ºC. Durante esta operação inicia-se o processo de destilação: evaporação da água a 100ºC e desprendimento dos óleos leves a 320ºC.

Em seguida, na serpentina do reator de destilação, a temperatura do óleo é bruscamente rebaixada de 320 a 120ºC, chegando à temperatura final de 60ºC através de trocador de calor.

O óleo é novamente aquecido na temperatura máxima de 320ºC e resfriado bruscamente. Após estas operações, o óleo destilado é encaminhado para tratamento: sulfonação e decantação.

Na etapa de sulfonação, após aquecimento do óleo até atingir uma temperatura de 40ºC, injeta-se 3% em volume de ácido sulfúrico. A mistura permanece por um período de uma hora em constante agitação.

Terminada a reação, a mistura é bombeada para decantadores, onde permanecerá por um tempo suficiente para aglomeração e sedimentação das partículas sólidas.

Essas partículas juntamente com o óleo formam a borra oleosa viscosa, denominada **borra de rerrefino**, após completa drenagem do óleo é armazenada em tanques para posterior envio para co-processamento.

O óleo sulfonado é encaminhado para clarificação.

Nesta etapa, o óleo é aquecido até alcançar a temperatura de 330ºC. Nesta temperatura a carga recebe 12% em volume de terra fuller. Este material tem por finalidade clarificar e neutralizar o óleo.

Após um tempo de permanência de 33,5 horas na temperatura 330ºC, o óleo é resfriado a 120ºC e transferido para o tanque de correção de pH (adição de terra fuller ou cal hidratada).

Corrigido o pH, o óleo é transferido para a filtração. A filtração é feita em filtros prensas, onde ocorre a separação do óleo neutro e da torta de terra fuller.

O óleo resultante segue para tanque de armazenagem onde ocorrerá o abaixamento de sua temperatura para, em seguida, ser bombeado para um sistema de filtragem fins e, finalmente, armazenamento nos tanques de produto final para comercialização.

As tabelas 6.5. e 6.6 apresentam a composição típica da borra ácida

Tabela 6.5- Composição Típica da Borra Ácida (análise geral)

PARÂMETROS	UNIDADE	RESULTADOS	
		Amostra 1	Amostra 2
PCI	kcal/kg	2500	3939
Densidade aparente	g/cm^3	1,43	1,17
Umidade	%	6,89	NA
Cinzas	%	0,92	2,57
Sílica (SiO_2)	%	0,30	NA
Alumínio (Al_2O_3)	%	0,011	NA
Ferro (Fe_2O_3)	%	0,048	NA
Magnésio (MgO)	%	0,19	NA
Sódio (Na_2O)	%	0,040	NA
Potássio (K_2O)	%	0,004	NA
Fluoreto (F^-)	%	< 0,01	NA
Iodeto (I)	%	< 0,01	NA
Enxofre (S)	%	3,96	NA
Fósforo (P)	%	< 0,01	NA
Cloreto (Cl)	%	< 0,01	NA

Fonte: Laboratório Bioagri (2006)

Tabela 6.6- Composição Típica da Borra Ácida (análise de metais e orgânicos)

PARÂMETROS	RESULTADO AMOSTRA BRUTA (mg/kg)		NBR 10004 LIMITE MÁXIMO (mg/kg)
	Amostra 1	Amostra 2	
Antimônio (Sb)	< 2	NA	-
Alumínio (Al)	NA	578,00	-
Arsênio (As)	< 5	4,70	1000
Berílio (Be)	< 2	NA	100
Cádmio (Cd)	< 0,5	NA	-
Cálcio (Ca)	NA	3500,00	-
Chumbo (Pb)	12	NA	1000
Cianetos (CN)	0,9	NA	1000
Cobalto (Co)	< 2	NA	-
Cobre (Cu)	32	NA	-
Cromo (Cr)	< 2	NA	100
Estanho (Sn)	< 2	NA	-
Fenóis	< 0,1	NA	10
Ferro (Fe)	NA	111,00	-
Magnésio (Mg)	NA	43,60	-
Mercúrio (Hg)	< 0,1	NA	100
Sódio (Na)	NA	36,20	-

Níquel (Ni)	< 2	NA	-
Selênio (Se)	< 1	6,05	100
Sódio (Na)	NA	36,20	
Rubídio (Rb)	NA	33,60	-
Tálio (Tl)	< 2	NA	-
Telúrio (Te)	< 2	NA	-
Titânio (Ti)	NA	7,25	-
Paládio (Pd)	NA	4,61	-
Potássio (K)	NA	8,49	-
Vanádio (V)	< 2	4,3	1000
Zinco (Zn)	620	119,0	-
Óleos e graxas	10,14 %	NA	5 %

Fonte: Laboratório da Bioagri (2006)

Contexto de utilização: A Borra ácida chega em caminhões tanque que são acoplados através de um mangote e são injetados diretamente ao forno. Pode existir problemas de entupimento e vazamento devido à alta viscosidade do resíduo, sendo estes momentos juntamente com a amostragem do resíduos os momentos de maior contato com a pele. A exposição à inalação à gases de SO2 se dá nos momentos de exposição do operador ao resíduo. Neste contexto a exposição à inalação **é pouco provável , índice de probabilidade 3** e o contato com a pele (que pode causar queimaduras) **é improvável, índice de probabilidade 2.**

Do catálogo de resíduos da comunidade Européia:

" 05 01 04 acid alkyl sludges A

Oil and tar containing wastes should be treated as carcinogenic (H7), as well as under any relevant additional flammability (e.g. H3A first indent; H3B). Non oily sludges can be either strongly acido r alkaline depending on the process and are therefore often corrosive (H8); they may also contain cyanides, sulphides and thiols ".

O catálago de resíduos da comunidade européia nos fornece informações relevantes e conseguimos categorizar a gravidade em H7 e H8.

Classificação dos agentes químicos:

SO2 : Conc ≥ 20% T:R 23, 34; Conc ≥ 5% e < 20% C: R 20, 34; Conc ≥ 0,5% e < 5% Xi: R 36/37/38; Fonte: Approved Supply List

Nesta etapa sempre foi dado preferência para a classificação do approved Supply List a não ser que a substância não estivesse no Approved Supply List.

Só o SO2 foi classificado R 23- tóxico por inalação e R34- Provoca queimaduras.

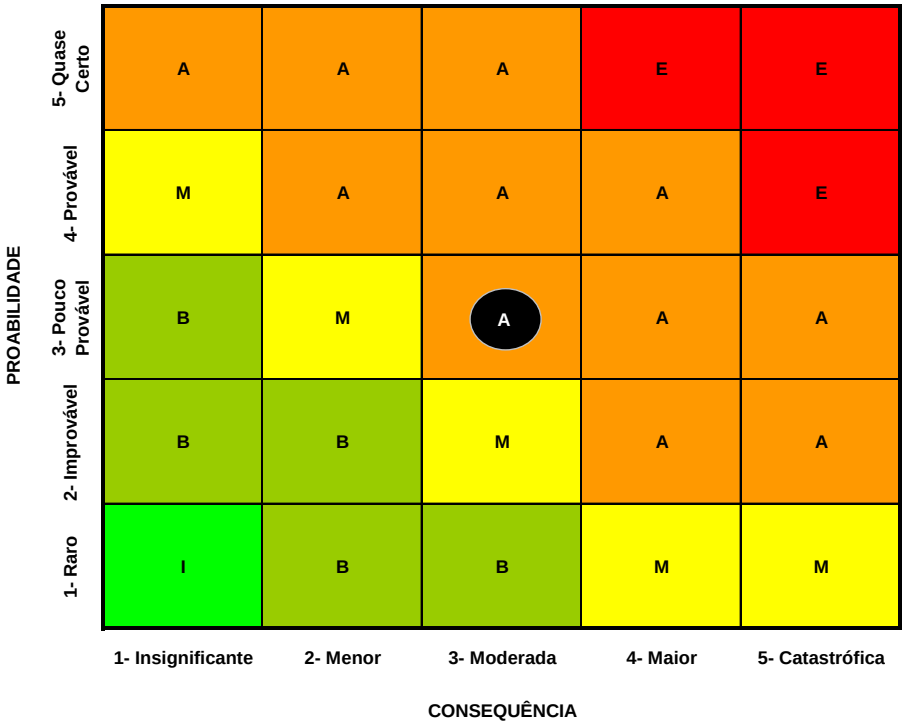
6.4.2 Avaliação de Saúde e Segurança

O cenário de uso e possíveis riscos é apresentado abaixo:

- Tipo de injeção do resíduo: o resíduo é injetado diretamente ao forno
- Operações envolvidas: amostragem do caminhão, acoplamento do mangote do caminhão na tubulação que transporta pneumaticamente o SPL para o silo de dosagem do forno.
- Controles existentes: luvas , máscara de proteção respiratória, óculos de proteção, capacete, macacão tyvek, etc. Os funcionários que trabalham diretamente com este resíduo fazem os exames periódicos específicos para os agentes químicos deste resíduo. É realizado o PPRA anualmente.
- Contatos possíveis: inalação de gás/vapor em caso de contato com a água ou grandes movimentações deste resíduo (liberação de amônia) , inalação de poeira somente em caso de derramamentos (contato de curta duração) pois o sistema é fechado, contato com pele/olhos acidentalmente.

Com base na classificação dos agentes químicos e cenário de utilização do resíduo a estimativa e julgamento do risco está resumida nas matrizes das figuras 6..48 à 6.50.

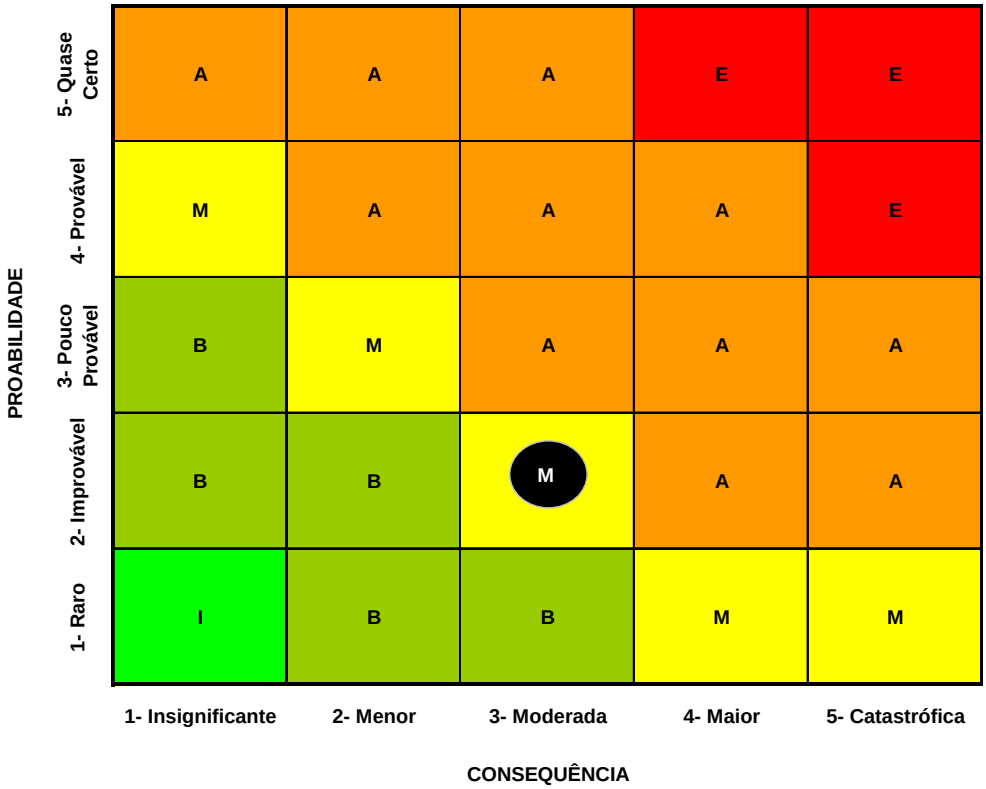
Matriz de Risco - Avaliação de Saúde e Seguraça- Avaliação do Risco de inalação de vapores de SO2



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.48- Borra Ácida- Avaliação Saúde e Segurança - Risco de inalação de vapores de SO2

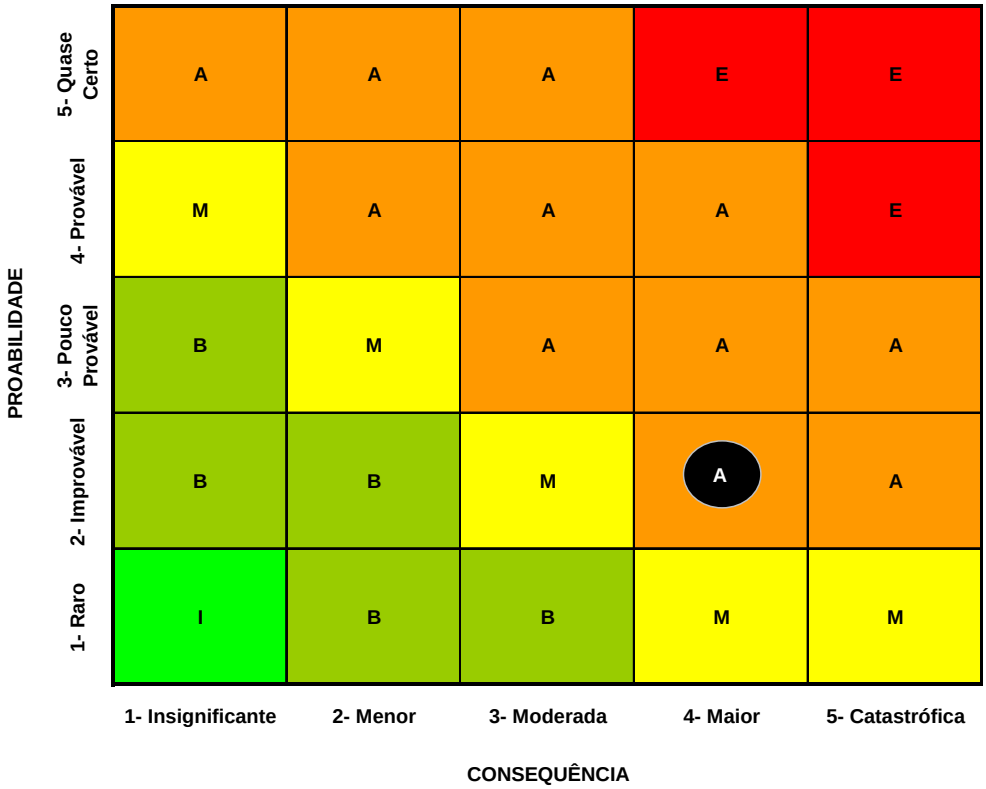
Matriz de Risco - Avaliação de Saúde e Seguraça- Avaliação do Risco do contato do resíduo com as mucosas provocar queimaduras



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.49- Borra Ácida- Avaliação Saúde e Segurança -Risco de provocar queimaduras

Matriz de Risco - Avaliação de Saúde e Seguraça- Avaliação do Risco de danos à saúde devido à carcinogenicidade do resíduo



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

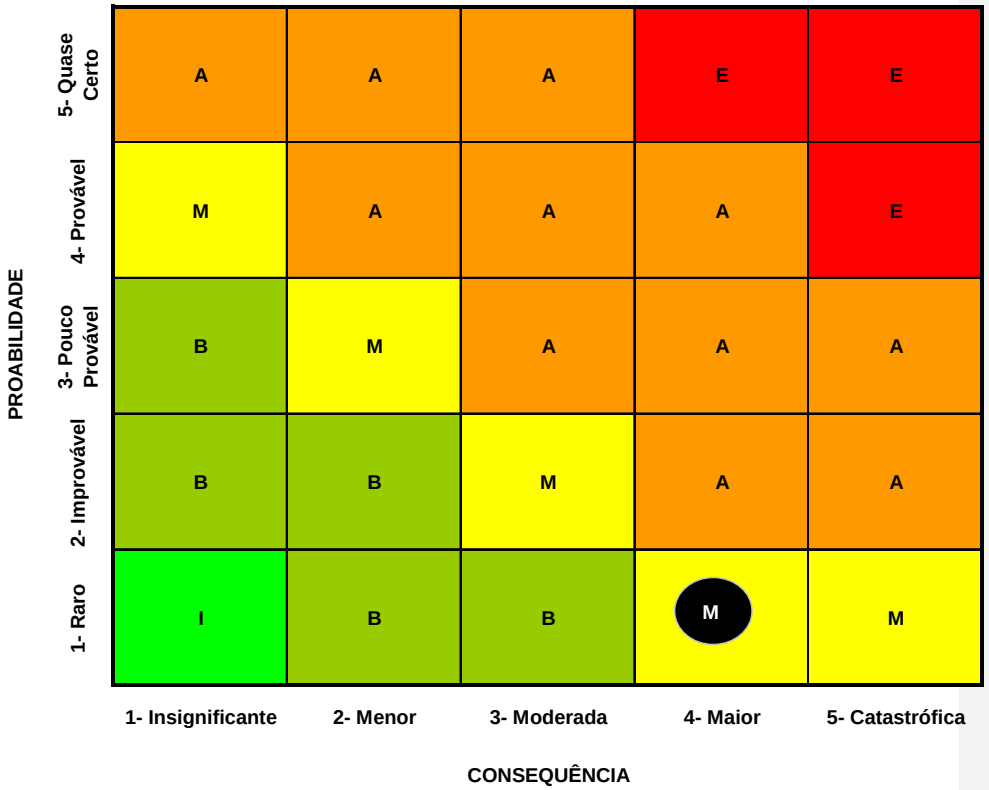
Figura 6.50 - Borra Ácida – Avaliação do Risco de provocar danos à saúde devido à carcinogenicidade do resíduo

6.4.3 Avaliação de Meio Ambiente

No caso da avaliação de meio ambiente as seguintes avaliação foram realizadas:

- O resíduo borra ácida não foi classificado para a avaliação geral de meio ambiente.
- Em termos de emissões atmosféricas foi avaliado o THC. A figura 6.54 apresenta a avaliação de meio ambiente (Emissões Atmosféricas) – THC. Como a borra ácida é injetada na caixa de fumaça a probabilidade de emissões de SO2 na chaminé do forno é muito pequena devido às características do processo produtivo do cimento no qual o enxofre presente na borra ácida é absorvido pela moagem de cru. Os gases ácidos são neutrlizados no forno e moagem de cru que funcionam como um lavador de gases devido à alcalinidade da matéria-prima.
- Poeira do Cimento – Para este resíduo esta avaliação não é relevante uma vez que os teores de metais dos resíduos estão abaixo dos limites de corte e os orgânicos são completamente destruídos à altas temperaturas do forno.
- Qualidade Ambiental do cimento - Para este resíduo esta avaliação não é relevante uma vez que os teores de metais dos resíduos estão abaixo dos limites de corte e os orgânicos são completamente destruídos à altas temperaturas do forno.

Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- THC



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.51- Borra Ácida- Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmoeférica) - THC

6.4.4 Avaliação da Qualidade do Produto

Na área de impacto qualidade do produto foi avaliado o enxofre. Os elementos traços não foram classificados pois seus valores eram menores do que 1000 ppm (faixa de corte).

Matriz de Risco - Avaliação de Qualidade do Produto - Q9 e Q10 - Aumenta a quantidade de C2S e Reduz a quantidade de C3S - Enxofre

PROABILIDADE	1- Insignificante	2- Menor	3- Moderada	4- Maior	5- Catastrófica
5- Quase Certo	A	A	A	E	E
4- Provável	M	A	A	A	E
3- Pouco Provável	B	M	A	A	A
2- Improvável	B	B	M	A	A
1- Raro	I	B	B	M	M

CONSEQUÊNCIA

Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

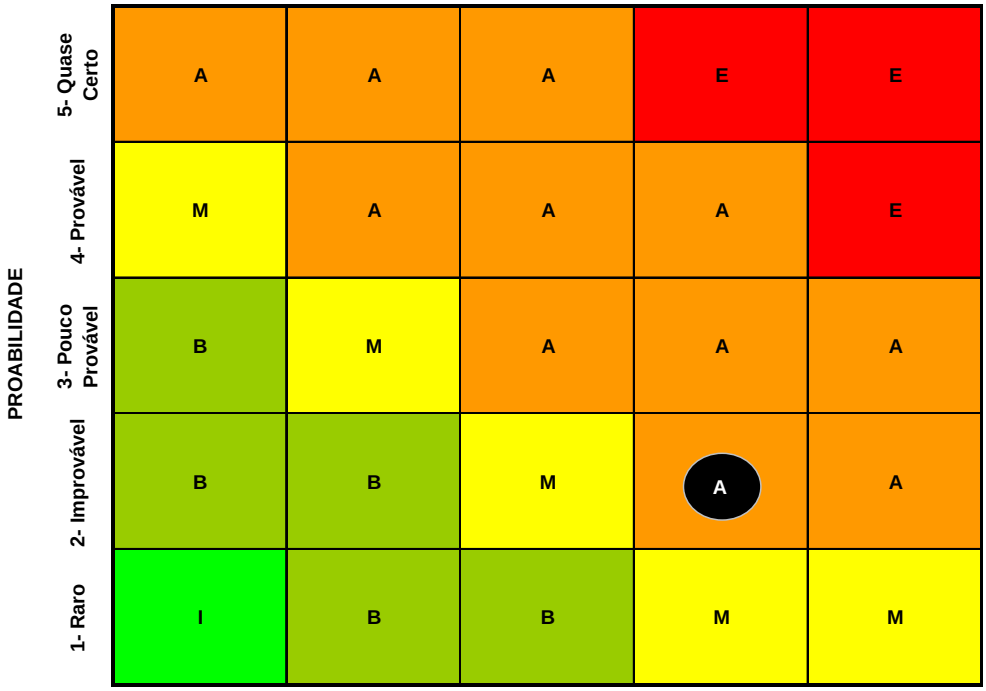
Figura 6.52 – Borra Ácida - Avaliação Qualidade do Produto- Q9 e Q10- Aumenta a quantidade de C2S e Reduz a quantidade de C3S - Enxofre

6.4.5 Avaliação do Processo Produtivo

Na área de impacto processo produtivo foi avaliado apenas o enxofre.

No caso do enxofre não foi avaliado a frase P9 e P12 que representa o aumento da quantidade da fase líquida e redução da viscosidade da fase líquida que são efeitos positivos para o processo produtivo.

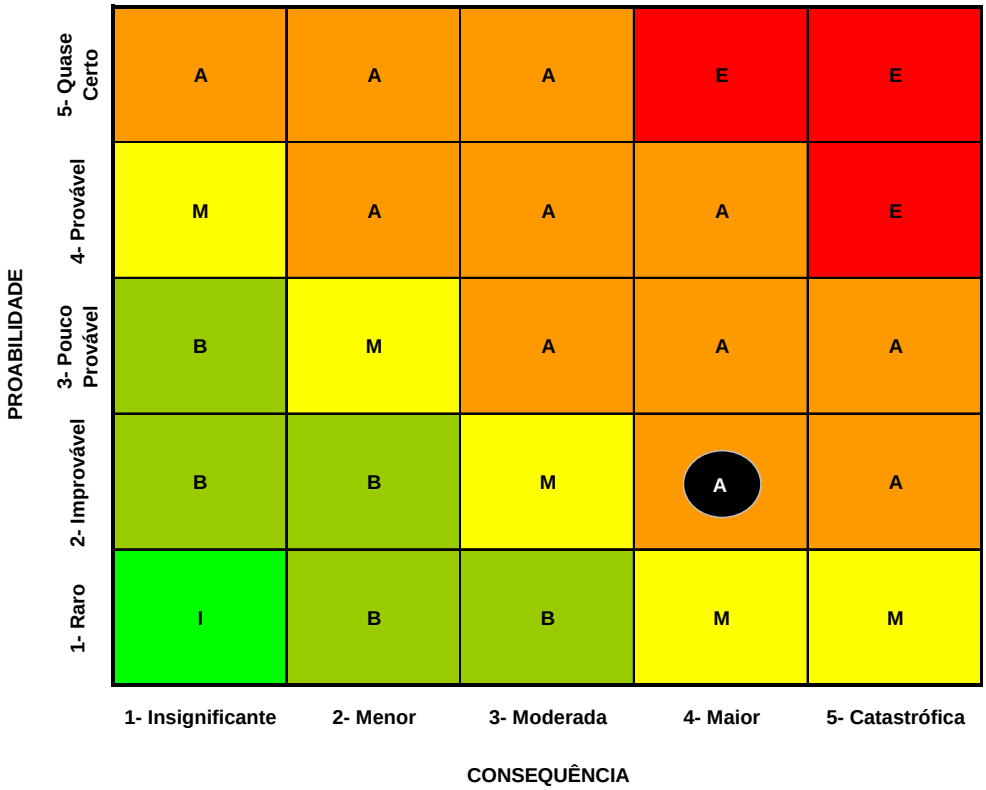
Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P8- aumento da formação de colagem -Enxofre



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.53 – Borra Ácida - Avaliação do Processo Produtivo – P8 – Aumento da formação de colagem - Enxofre

Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P10- Formação de Aneis no Forno - Enxofre



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.54– Borra Ácida- Avaliação do Processo Produtivo – P10 – Formação de Anéis no Forno - Enxofre.

6.4.6 Discussão e Conclusões Parciais da Borra Ácida

Este resíduo nas condições de uso avaliada não apresenta riscos significativos ao meio ambiente e a qualidade do produto. No entato apresenta riscos significativos à saúde e segurança do trabalhador e ao processo podutivo.

Para o aceite do resíduo borra ácida na fábrica W são necessários os seguintes controles adicionais:

- Utilização de máscara especial e reduzir o número de pessoas que tem contato com este resíduo na amostragem e acoplamento do mangote ao sistema de injeção do forno.
- Fazer balanço de álcalis-enxofre-cloro para verificar a necessidade de introdução de nova matéria-prima contendo álcalis (sódio e potássio)

A tabela 6.7. resume os resultados encontrados para a avaliação de risco da utilização do resíduo borra ácida na fábrica de cimento W.

Tabela 6.7 - Resumo das avaliações de risco da Borra Ácida e tratamento do risco

Área de Impacto	Risco	Índice de Probabilidade	Índice de Consequência	Nível de Risco	Tratamento do Risco
Saúde e Segurança	Risco de inalação de vapores de SO2	3 -Pouco Provável	3- Moderada	A	Utilização de máscara especial e reduzir o número de pessoas que tem contato com este resíduo na amostragem e acoplamento do mangote ao sistema de injeção do forno.
Saúde e Segurança	Risco de contato do resíduo com as mucosas provocar queimaduras	2 - Improvável	3- Moderada	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Saúde e Segurança	Risco de danos à saúde devido a carcinogenicidade do resíduo	2 - Improvável	4- Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Meio Ambiente - Emissões Atmosféricas THC	Risco das emissões atmosféricas causarem danos à saúde humana	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Qualidade do Produto	Risco de aumentar a quantidade de C2S e reduzir a quantidade de C3S devido à presença do enxofre	2- Improvável	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de aumentar a formação de colagem devido à presença do enxofre	2- Improvável	4- Maior	A	Fazer balanço de álcalis-enxofre-cloro para verificar a necessidade de introdução de nova matéria-prima contendo álcalis (sódio e potássio)
Processo Produtivo	Risco de formação de anéis no forno	2- Improvável	4- Maior	A	Fazer balanço de álcalis-enxofre-cloro para verificar a necessidade de introdução de nova matéria-prima contendo álcalis (sódio e potássio)

6.5 Borra de Fundo de Tanque

6.5.1 Descrição geral do resíduo

Este resíduo é proveniente da limpeza dos tanques das refinarias petrolíferas.

As tabelas 6.8 e 6.9 apresentam a composição típica da borra de fundo de tanque

Tabela 6.8- Composição Típica da Borra de Fundo de Tanque – Analise química geral

Item	Unidade	Valor encontrado
Antimônio	ppm	n.d.
Arsênio	Ppm	n.d.
Bário	ppm	n.d.
Cádmio	ppm	n.d.
Chumbo	ppm	21.
Cobalto	ppm	1,9.
Cobre	ppm	10.
Cromo	ppm	2,9.
Estanho	ppm	n.d.
Manganês	ppm	18
Mercúrio	ppm	n.d.
Níquel	ppm	6,1
Selênio	ppm	n.d.
Tálio	ppm	n.d.
Telúrio	ppm	n.d.
Vanádio	ppm	7,6
Zinco	ppm	107
PCI	Kcal/kg	6481
Cianetos	ppm	n.d.
Fluoreto	ppm	283
Cinzas	%	7,37
Cloreto	%	n.d.
% água por KF	%	3,64
Aspecto físico	-	Sólido homogêneo de coloração preta
Iodeto	-	-
Enxofre	%	1,57
Cloro total	%	0,16
Flúor	%	0,006
Densidade	g/mL	0,981
SiO2	%	1,6
Al2O3	%	0,1631
Fe2O3	%	3,72
CaO	%	1,63

Fonte: Ecolabor (2006)

Tabela 6.9- Composição Típica da Borra de Fundo de Tanque – Analise de compostos orgânicos

Item	Unidade	Valor encontrado
Benzeno	ppm	n.d.
Tolueno	ppm	2,211
Xileno	ppm	85,210
Etilbenzeno	ppm	10,105
Benzo (a) pireno	ppm	0,016
TPH	ppm	178,325
Naftaleno	ppm	0,572
Acenaftileno	ppm	n.d.
Acenafteno	ppm	n.d.
Fluoreno	ppm	0,221
Fenantreno	ppm	0,504
Pireno	ppm	0,129
Antraceno	ppm	0,045
Fluoranteno	ppm	0,034
Benzo (a) antraceno	ppm	0,024
Criseno	ppm	0,014
Benzo (a) fluoranteno	ppm	0,044
Dibenzo (a,h) antraceno	ppm	0,010
Benzo (g, h, i) perileno	ppm	0,021
Indeno (1,2,3-cd) Pireno	ppm	n.d.
PCB´s	ppm	n.d.
Benzo (a) Fluoranteno	ppm	0,007
PAH´s	ppm	1,641

Fonte: Ecolabor (2006)

Contexto de utilização: A Borra de fundo de tanque chega em caminhões tanque que são descarregados em uma tremonha e são injetados diretamente ao forno através de uma boma putzmeister. Pode existir problemas de entupimento e vazamento devido à alta viscosidade do resíduo, sendo estes momentos juntamente com a amostragem do resíduos os momentos de maior contato com a pele. Como os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos são componentes pesados o problema seria o contato com as mucosas e não a inalação.

Do catálogo de resíduos da comunidade Européia:

> "05 01 03 – tank bottom sludges A
>
> Oil and tar containing wastes should be treated as carcinogenic (H7), as well as under any relevant additional flammability (e.g. H3A first indent; H3B). Non oily sludges can be either strongly acido r alkaline depending on the process and are therefore often corrosive (H8); they may also contain cyanides, sulphides and thiols."

O catálago de resíduos da comunidade européia nos fornece informações relevantes e conseguimos categorizar a gravidade em H7 (carcinogênico) não é classificado como H8 corrosivo devido ao pH do resíduo.

Com base no processo gerador as formas como as substâncias se encontravam no resíduo foram as seguintes: hidrocarbonetos aromáticos policíclicos.

HAP (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos) – foi analisado no entanto, apresentou valores muito abaixo da faixa de corte.

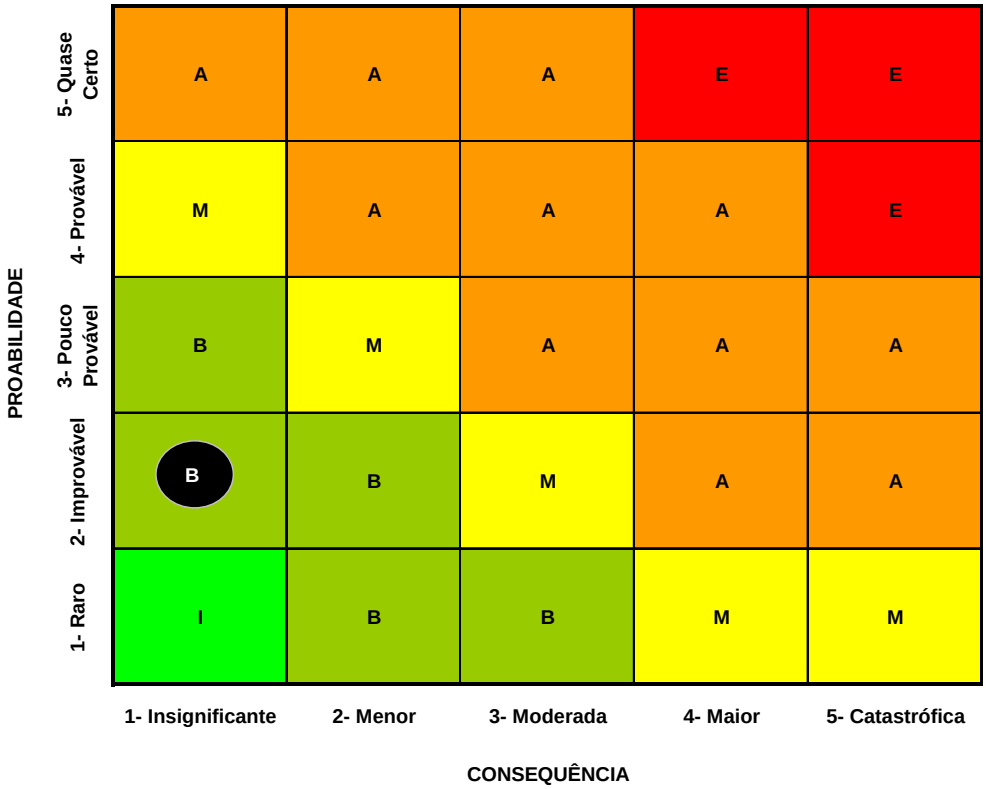
6.5.2 Avaliação de Saúde e Segurança

O cenário de uso e possíveis riscos é apresentado abaixo:

- Tipo de injeção do resíduo: o resíduo é injetado diretamente ao forno
- Operações envolvidas: amostragem do caminhão, descarregamento do resíduo pastoso na tremonha e eventualmente a limpeza do caminhão.
- Controles existentes: luvas , máscara de proteção respiratória, óculos de proteção, capacete, macacão tyvek, etc. Os funcionários que trabalham diretamente com este resíduo fazem os exames periódicos específicos para os agentes químicos deste resíduo. É realizado o PPRA anualmente.
- Contatos possíveis: contato com a pele

Com base na classificação dos agentes químicos e cenário de utilização do resíduo a estimativa e julgamento do risco está resumida nas matrizes das figuras 6.55 e 6.56. Foram avaliados os risco com base nas informações dos laudos de análises e nos dados do catálago da comunidade européia respectivamente. Como pode ser notado é necessário que seja feita uma verificação mais profunda junto ao fornecedor para a certificação de que não existam outros PAH´s no resíduo que não foram analisados.

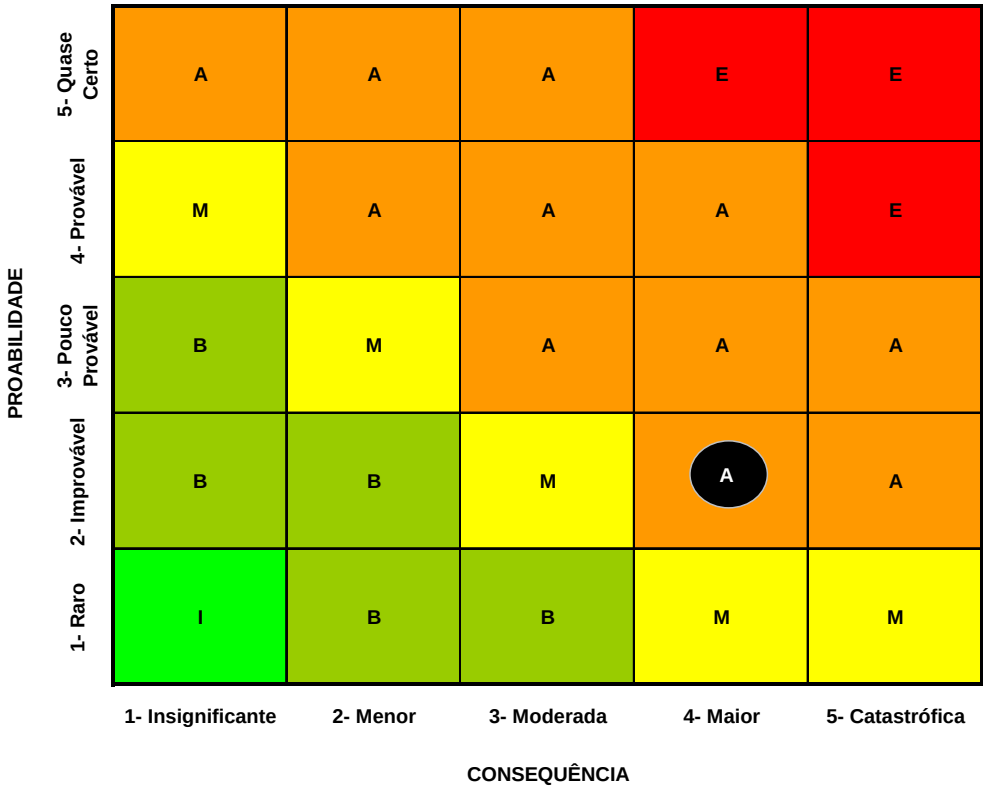
Matriz de Risco - Avaliação de Saúde e Seguraça- Avaliação do Risco de danos à saúde devido à carcinogenicidade do resíduo



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.55- Borra de Fundo de Tanque- Avaliação Saúde e Segurança – Risco de danos à saúde devido à carcinogenicidade do resíduo (com base nos laudos de análises)

Matriz de Risco - Avaliação de Saúde e Seguraça- Avaliação do Risco de danos à saúde devido à carcinogenicidade do resíduo



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.56- Borra de Fundo de Tanque- Avaliação Saúde e Segurança – Risco de danos à saúde devido à carcinogenicidade do resíduo (com base nos dados do catálogo de resíduos da comunidade européia)

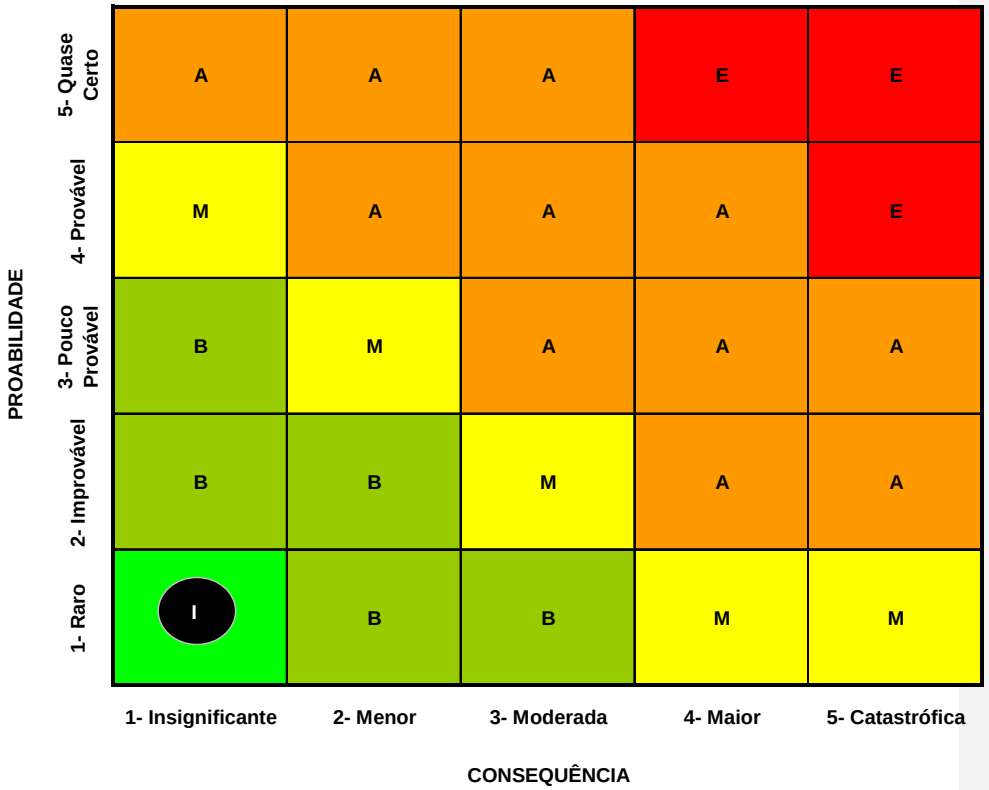
6.5.3 Avaliação de Meio Ambiente

No caso da avaliação de meio ambiente as seguintes avaliação foram realizadas:

- O resíduo borra de fundo de tanque não foi classificado para a avaliação geral de meio ambiente.

- Em termos de emissões atmosféricas foi avaliado o THC. A figura 6.57 e 6.58 apresentam a avaliação de meio ambiente (Emissões Atmosféricas) – THC com base nos laudos de análises e nas informações do catálogo de resíduos da comunidade européia respectivamente. Como a borra de fundo de tanque é injetada na caixa de fumaça a probabilidade de emissões de SO2 na chaminé do forno é muito pequena devido às características do processo produtivo do cimento no qual o enxofre presente na borra ácida é absorvido pela moagem de cru. Os gases ácidos são neutrlizados no forno e moagem de cru que funcionam como um lavador de gases devido à alcalinidade da matéria-prima.
- Poeira do Cimento – Para este resíduo esta avaliação não é relevante uma vez que os teores de metais dos resíduos estão abaixo dos limites de corte e os orgânicos são completamente destruídos à altas temperaturas do forno.
- Qualidade Ambiental do cimento - Para este resíduo esta avaliação não é relevante uma vez que os teores de metais dos resíduos estão abaixo dos limites de corte e os orgânicos são completamente destruídos à altas temperaturas do forno.

Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- THC



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.57- Borra de Fundo de tanque- Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmoeférica) – THC (baseado nos laudos de análises)

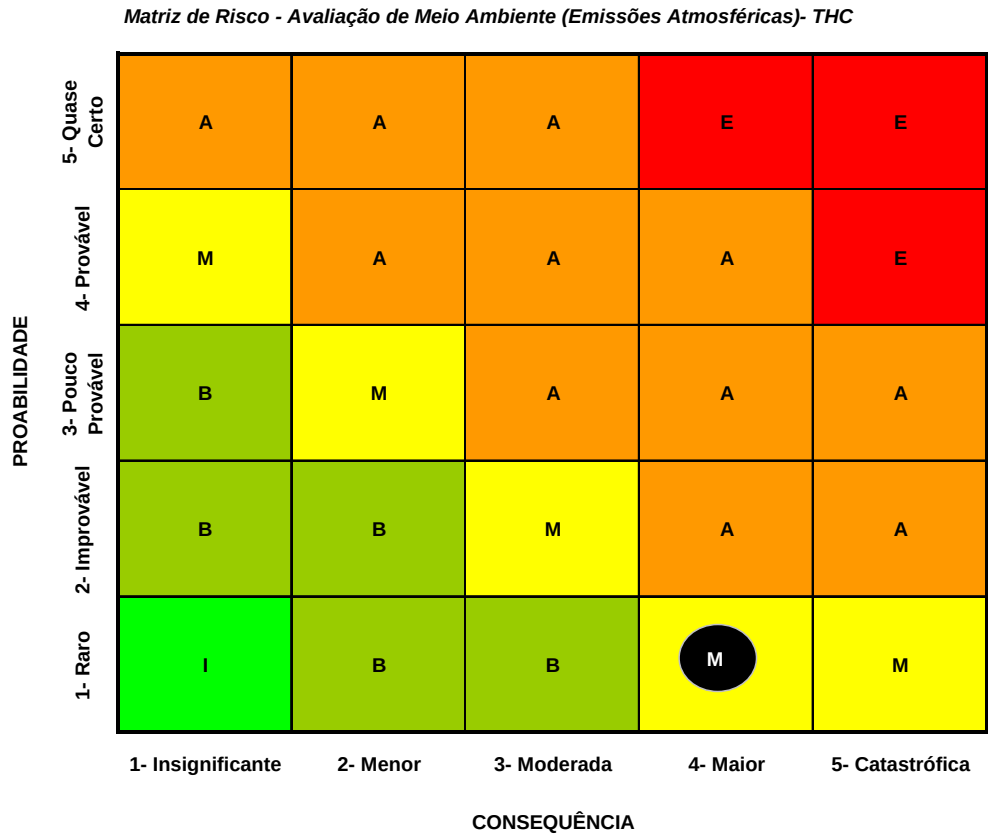
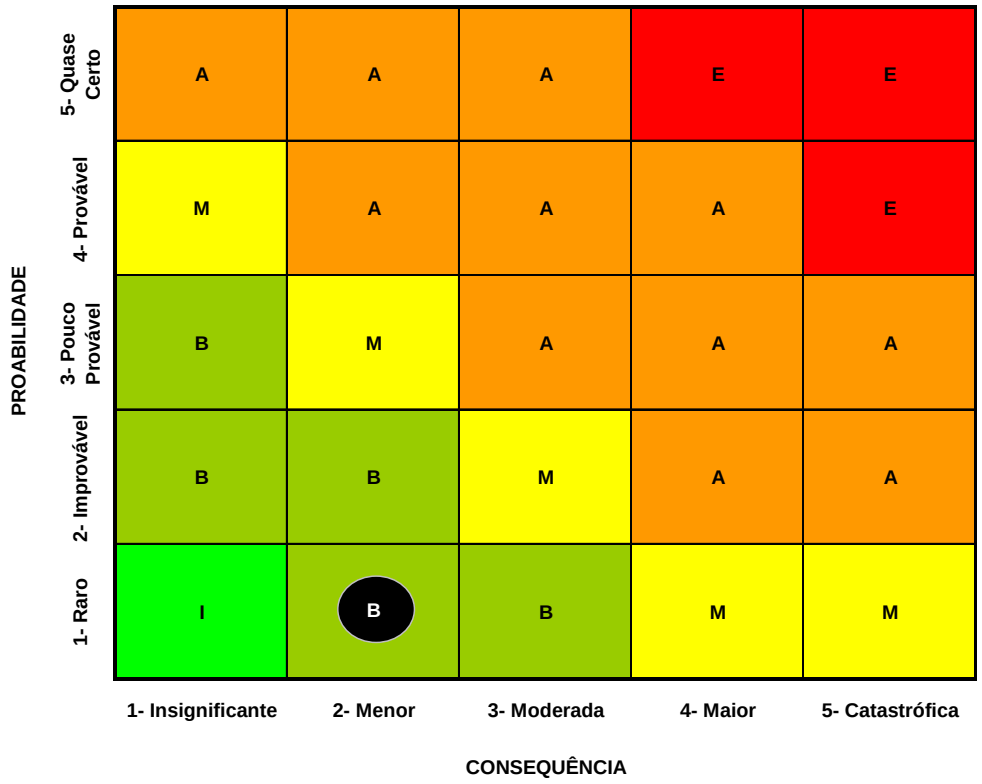


Figura 6.58- Borra de Fundo de tanque- Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmoeférica) – THC (baseado nas informações do catálogo de resíduos da comunidade européia)

6.5.4 Avaliação da Qualidade do Produto

Na área de impacto qualidade do produto foi avaliado o enxofre. Os elementos traços não foram classificados pois seus valores eram menores do que 1000 ppm (faixa de corte).

Matriz de Risco - Avaliação de Qualidade do Produto - Q9 e Q10 - Aumenta a quantidade de C2S e Reduz a quantidade de C3S - Enxofre



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

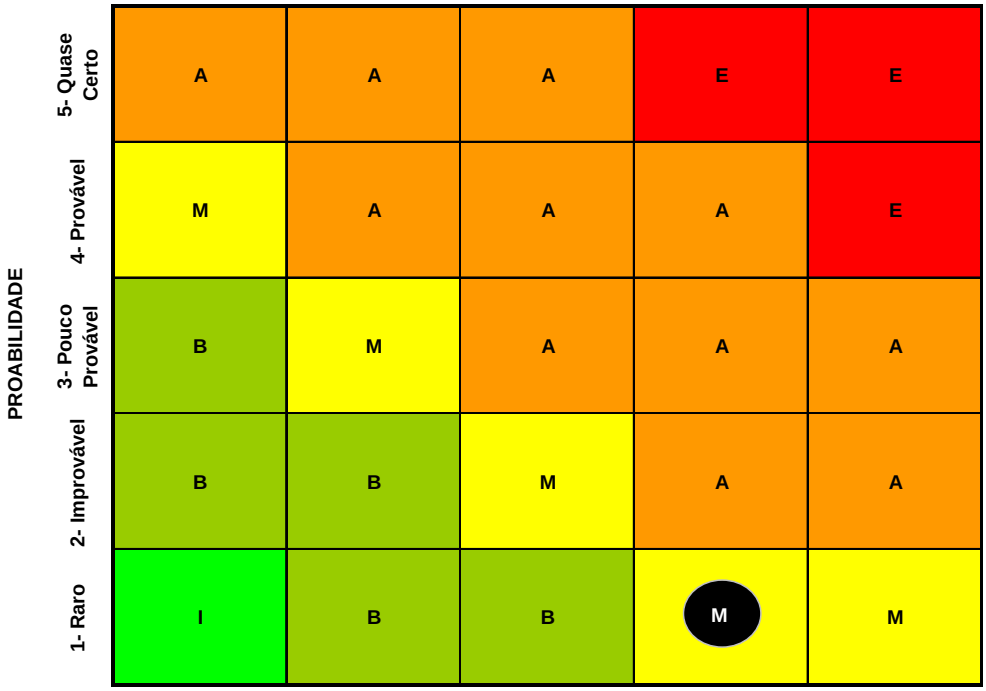
Figura 6.59 – Borra de fundo de tanque - Avaliação Qualidade do Produto- Q9 e Q10- Aumenta a quantidade de C2S e Reduz a quantidade de C3S - Enxofre

6.5.5 Avaliação do Processo Produtivo

Na área de impacto processo produtivo foi avaliado apenas o enxofre.

No caso do enxofre não foi avaliado a frase P9 e P12 que representa o aumento da quantidade da fase líquida e redução da viscosidade da fase líquida que são efeitos positivos para o processo produtivo.

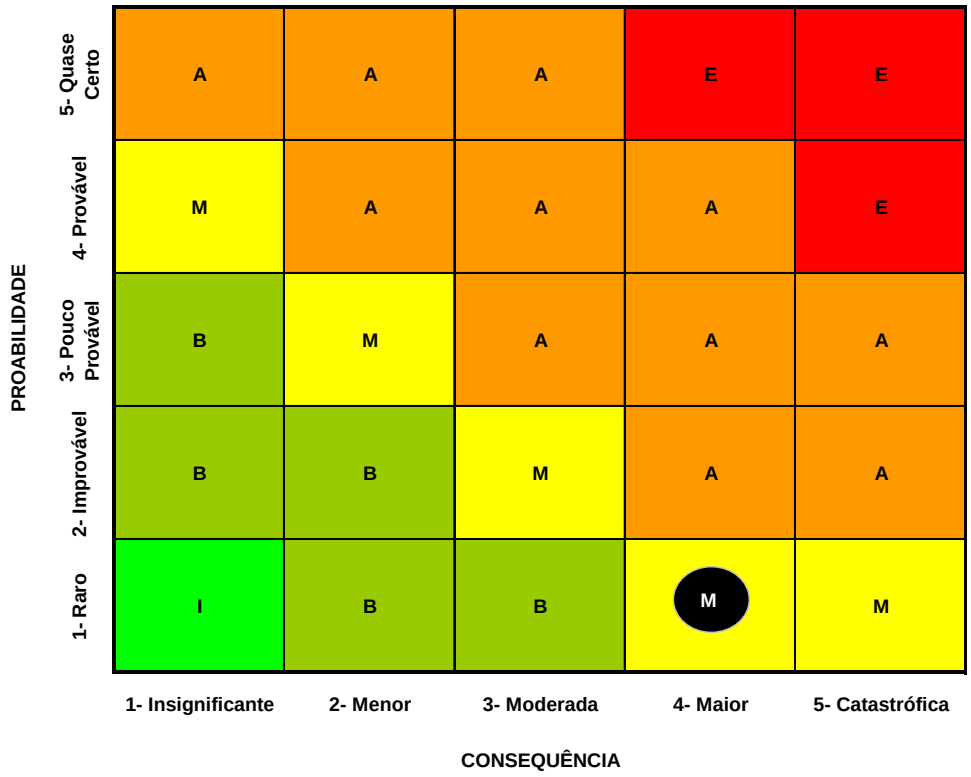
Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P8- aumento da formação de colagem -Enxofre



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.60 – Borra de fundo de tanque - Avaliação do Processo Produtivo – P8 – Aumento da formação de colagem - Enxofre

Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P10- Formação de Aneis no Forno - Enxofre



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.61– Borra de fundo de tanque- Avaliação do Processo Produtivo – P10 – Formação de Anéis no Forno - Enxofre.

6.5.6 Discussão e Conclusões Parciais da Borra de fundo de tanque

A avaliação deste resíduo não foi conclusiva pois as informações provenientes dos laudos de análises não estavam em concordância com o manual de resíduos da comunidade européia.

A tabela 6.7. resume os resultados encontrados para a avaliação de risco da utilização do resíduo borra de fundo de tanque na fábrica Z.

Tabela 6.10 - Resumo das avaliações de risco da Borra de fundo de tanque e tratamento do risco (com base nos laudos de análises)

Área de Impacto	Risco	Índice de Probabilidade	Índice de Consequência	Nível de Risco	Tratamento do Risco
Saúde e Segurança	Risco de danos à saúde devido a carcinogenicidade do resíduo	2 - Improvável	1- Insignificante	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Meio Ambiente - Emissões Atmosféricas THC	Risco das emissões atmosféricas causarem danos à saúde humana	1- Raro	1- Insignificante	I	não fazer nada
Qualidade do Produto	Risco de aumentar a quantidade de C2S e reduzir a quantidade de C3S devido à presença do enxofre	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de aumentar a formação de colagem devido à presença do enxofre	1- Raro	4- Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Processo Produtivo	Risco de formação de anéis no forno	1-Raro	4- Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes

Tabela 6.11 - Resumo das avaliações de risco da Borra de fundo de tanque e tratamento do risco (com base nas informações do catálogo de resíduos da comunidade européia)

Área de Impacto	Risco	Índice de Probabilidade	Índice de Consequência	Nível de Risco	Tratamento do Risco
Saúde e Segurança	Risco de danos à saúde devido a carcinogenicidade do resíduo	2 - Improvável	4 - Maior	A	Implementar ações para a redução do contato das mucosas do ramentos operador com o resíduo e manter monitoramentos de vigilância de saúde.
Meio Ambiente - Emissões Atmosféricas THC	Risco das emissões atmosféricas causarem danos à saúde humana	1- Raro	4 - Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Qualidade do Produto	Risco de aumentar a quantidade de C2S e reduzir a quantidade de C3S devido à presença do enxofre	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de aumentar a formação de colagem devido à presença do enxofre	1- Raro	4- Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Processo Produtivo	Risco de formação de anéis no forno	1-Raro	4- Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes

6.6 Pó de Aciaria

6.6.1 Descrição geral do resíduo

O resíduo pó de aciaria é gerado na indústria do aço. Na aciaria é onde ocorre a fusão da sucata através de um forno elétrico a arco do tipo excêntrico(Cap. 30t/corrida, e prod. 17.000t),cada corrida é composta de três ou quatro carregamentos de sucata com 28t/corrida.Além disso há também um forno panela. O metal líquido é processado em uma máquina de lingoteamento contínuo. O produto obtido é o tarugo que segue posteriormente para uma linha de laminação. O resíduo gerado refere-se à coleta do pariculado gerado durante o processo produtivo o qual é recolhido pelos sistemas de tratamento das emissões atmosféricas. Nesta etapa foram identificados que os possíveis constituintes perigosos seriam: os metais mais voláteis os quais seriam retidos junto com o particulado.

A composição química típica do pó de aciaria é apresentado na tabela 6.12.

Tabela 6.12 -Composição química Típica do pó de aciaria

Elemento	Unidade	Valor encontrado
PF	%	9,33
SiO2	%	8,98
Al2O3	%	3,53
Fe2O3	%	48,26
CaO	%	2,51
MgO	%	1,74
SO3	%	0,44
K2O	%	0,24
Na2O	%	0,22
F	%	0,17
Cl	%	0,03
Cd	ppm	115,19
Hg	ppm	0,88
Tl	ppm	-
As	ppm	14,67
Ni	ppm	110,92
Co	ppm	16,92
Se	ppm	-
Te	ppm	-
Cu	ppm	1300

Pb	ppm	25800
Sb	ppm	35,52
Sn	ppm	1600
V	ppm	93,98
Be	ppm	-
Ba	ppm	-
Mn	ppm	12700
Zn	ppm	149600
Cr	ppm	90
Cr6+	ppm	-
Mo	ppm	-

Fonte: ABCP (2004)

Contexto de Utilização do pó de aciaria : O pó de aciaria é recebido na fábrica na forma de um sólido fino pulverulento. Ele é transportado em... e descarregado em galpão específico para resíduos classe 1 segundo norma brasileira. Ele é injetado no forno de clínquer através da moagem de cru.

Do catálogo de resíduos da comunidade Européia:

" 10 02 07 – solid wastes from gás treatment containing dangerous substances M

Solid wastes from gas treatment may be alkaline and therefore potentially irritant/corrosive (H4/H8). If the oil components cannot be assessed against the thereshold levels, oil-containing wastes should be treated as carcinogenic (H7), as well as under any relevant additional flammability or other hazards; the acid content of some of them may render them corrosive. Flue dusts comprise particulates removed from gases emitted by furnances. The metals from flue dust tend to be readily leachable. There is therefore a possible toxicity hazard from heavy metal contamination. Theses wastes are hazard under H3B, H4 to H8 and H10 to H12 if the dangerous substances are present above thereshold concentrations".

O catálago de resíduos da comunidade européia nos fornece algumas informações sobre os possíveis componentes perigosos do resíduo mas não nos fornece uma categorização da gravidade mais precisa.

Classificação dos agentes químicos:

Cu (0,15%)- R22 (1%) , 50/53 (1%) Fonte: Approved Supply List

Pb (2,87%)- Conc. > 2,5% e < 5% T:N: R61, 20/22, 33, 51/53 (meio ambiente)

Fonte: Approved Supply List

Sn (0,18%)- Fonte: Approved Supply List

Mn (1,37 %)- Xn: R20/22 (1%) Fonte: Approved Supply List

Zn (16,90 %)- N: R50 (1%), 53 (1%) (meio ambiente) Fonte: Approved Supply List

Cr (0,10 %)- Não classificado Fonte: IPCS

O cobre não foi classificado pois apresenta teores baixo dos limites de corte da diretiva européia 1999/45/EC.

O chumbo foi classificado como R61- Risco durante a gravidez com efeitos adversos na descendência, 20/22- Nocivo por inalação e ingestão, 33- Perigo de efeitos cumulativos, 51/53- Tóxica para organismos aquáticos e pode causar efeitos de longo prazo nos ambientes aquáticos.

O estanho não foi classificado.

O manganês foi classificado como R20/22- Nocivo por inalação e ingestão

O zinco foi classificado como R 50- Muito tóxica para organismos aquáticos e R53- Pode causar efeitos de longo prazo nos ambientes aquáticos.

O cromo não foi classificado.

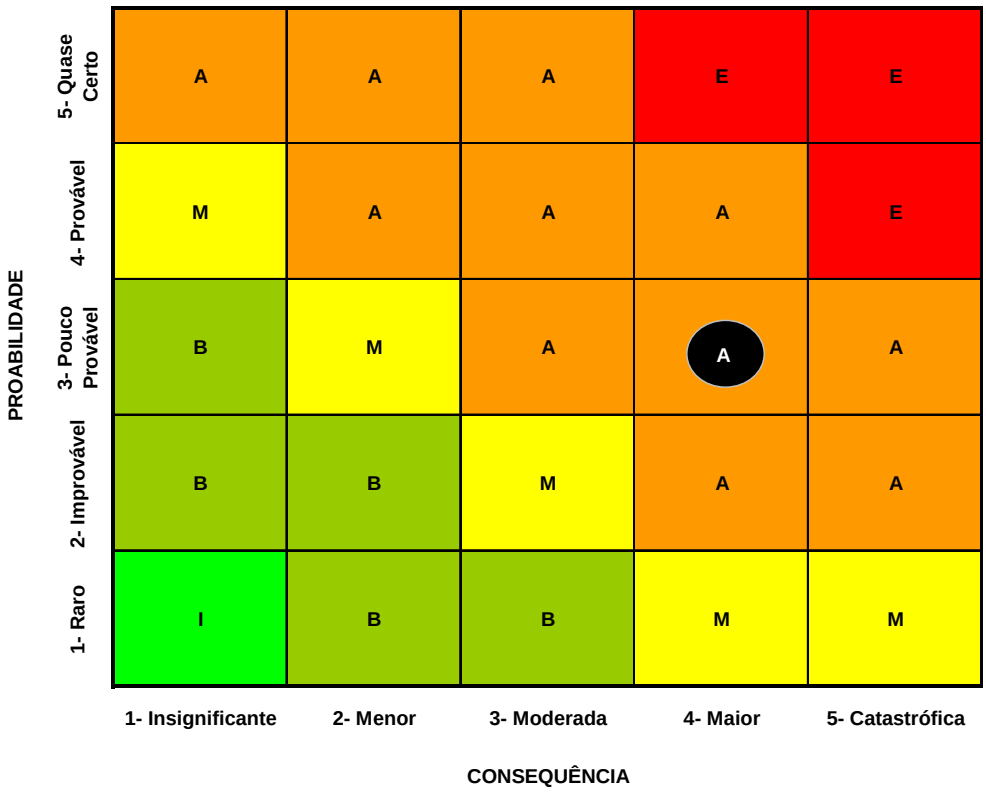
6.6.2 Avaliação de Saúde e Segurança

O cenário de uso e possíveis riscos é apresentado abaixo:

- Tipo de injeção do resíduo: o resíduo é injetado ao forno através da moagem de cru.
- Operações envolvidas: amostragem do caminhão, descarregamento do resíduo e abastecimento da tremonha com pá carregadeira.
- Controles existentes: luvas , máscara de proteção respiratória, óculos de proteção, capacete, macacão tyvek, etc. Os funcionários que trabalham diretamente com este resíduo fazem os exames periódicos específicos para os agentes químicos deste resíduo. É realizado o PPRA anualmente.
- Contatos possíveis: inalação da poeira, contato da poeira com pele/olhos acidentalmente.

Com base na classificação dos agentes químicos e cenário de utilização do resíduo a estimativa e julgamento do risco está resumida nas matrizes das figura 6.3 . Foi considerado apenas o risco de inalação de poeira para o efeito mais crítico no caso R61- Risco durante a gravidez com efeitos adversos na descendência.

Matriz de Risco - Avaliação de Saúde e Seguraça- Avaliação do Risco à inalação da poeira do pó de aciaria



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.62- SPL Moído- Avaliação Saúde e Segurança -Risco de inalação da poeira do pó de aciaria

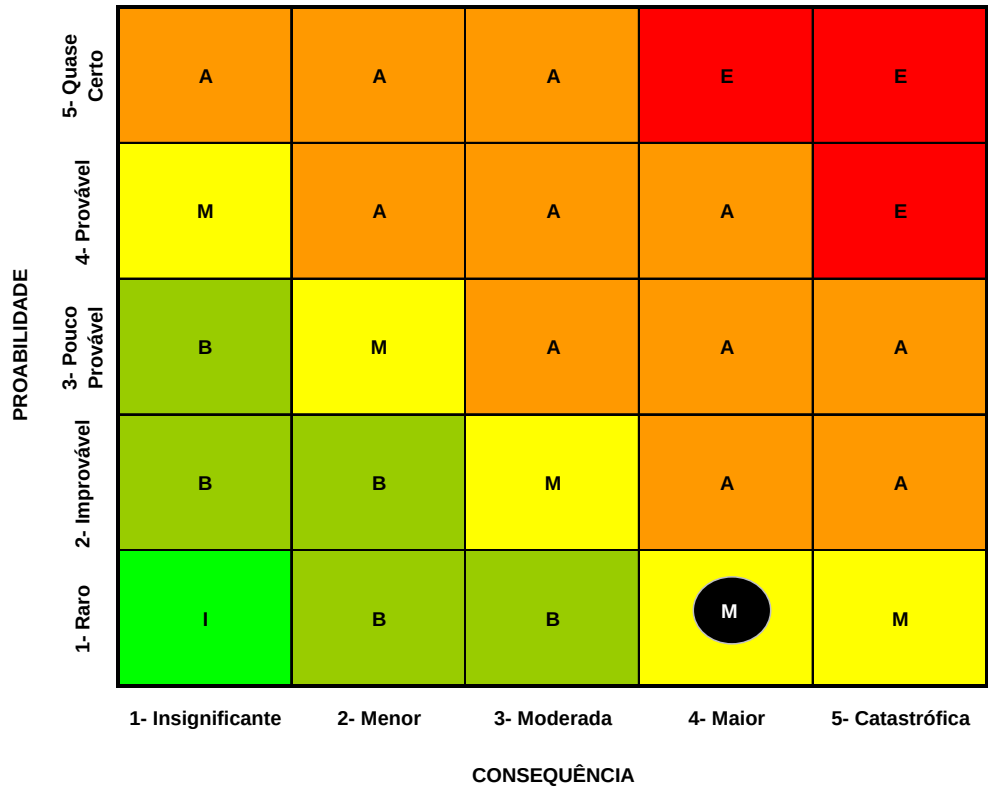
6.6.3 Avaliação de Meio Ambiente

As condições de de utilização do pó de aciaria na fábrica T são descritos abaixo:

- Operações envolvidas: amostragem do resíduo, descarregamento do caminhão, abastecimento da tremonha com pá carregadeira .
- Controles existentes: utilização de óculos, luvas, macacão tyvek, sistema de vibração da tremonha para evitar entupimentos e a exposição do operador, pá carregadeira com cabine fechada, sistema de despoeiramento na tremonha, galpão fechado e com os controles conforme exigido na norma brasileira para o armazenamento de resíduos perigosos..
- Tipo de injeção do resíduo: adição na tremonha e envio do resíduo para a moagem de cru.
- Riscos possíveis: vazamentos durante todas as operações envolvidas com o resíduo, geração de poeiras fugitivas podem ocorrer .

Na avaliação geral de meio ambiente foi utilizado a classificação mais crítica para a fauna e flora ou seja, R 50- Muito tóxica para organismos aquáticos.Esta avaliação é apresentada na figura 6.63.

Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Avaliação Geral) - Avaliação do Risco de alta Tóxicidade para organismos aquáticos



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.63 – Pó de aciaria- Avaliação Meio Ambiente (Avaliação geral)- Risco de alta toxicidade para organismos aquáticos

Para a avaliação de emissões atmosféricas foram considerados os elementos mais voláteis conforme estabelecido por Sprung (1984) presentes no resíduo, quais sejam: cádmio e chumbo.

Foi considerado a avaliação de dioxinas e furanos também devido à presente de cobre no resíduo que é um catalisador da reação de formação de dioxinas e furanos. Os dados para a avaliação do índice de probabilidade foram os dados do teste de queima deste resíduo representando assim uma análise quantitativa.

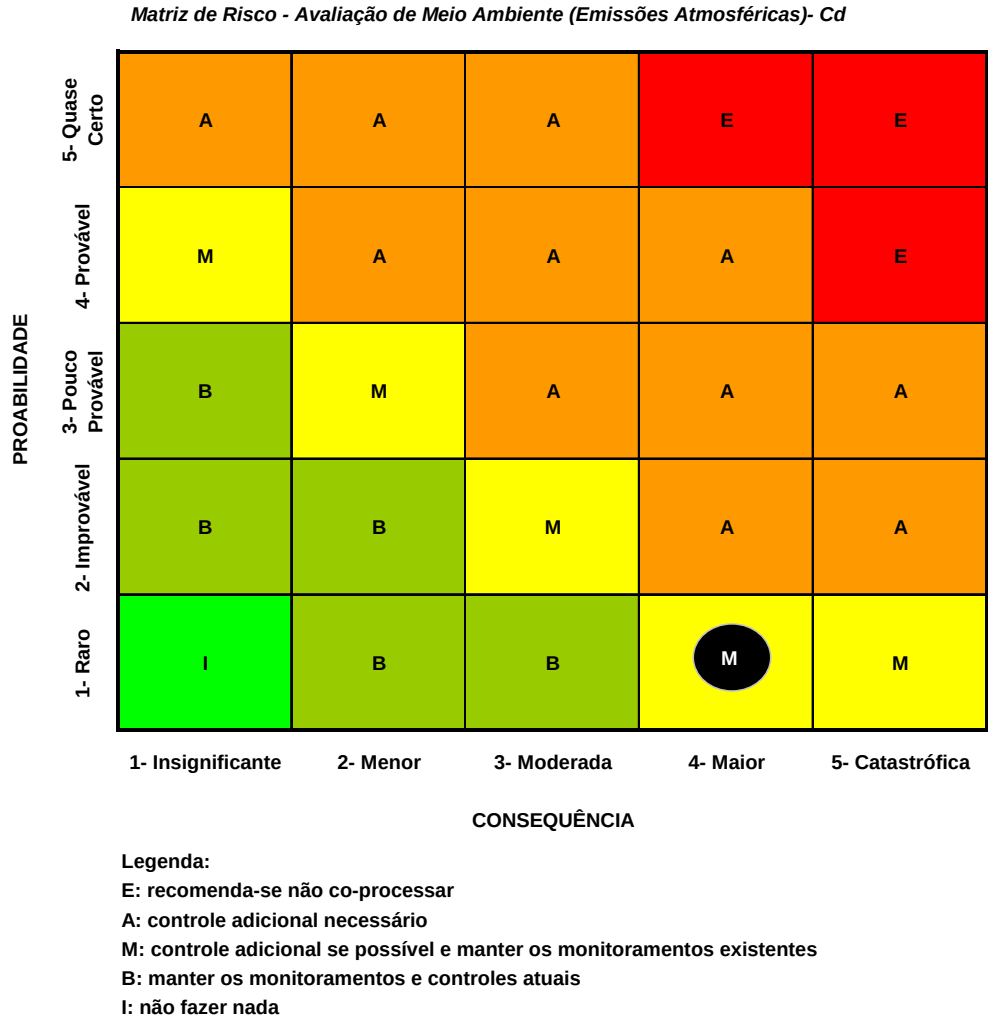
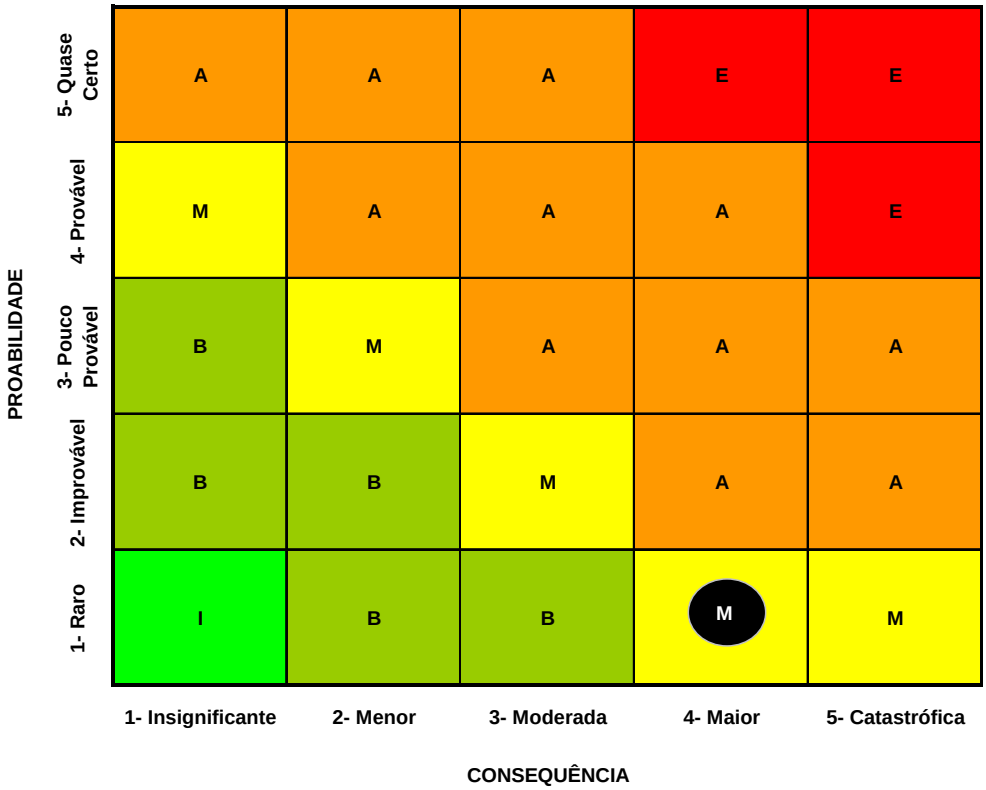


Figura 6.64- Pó de aciaria – Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- Cádmio

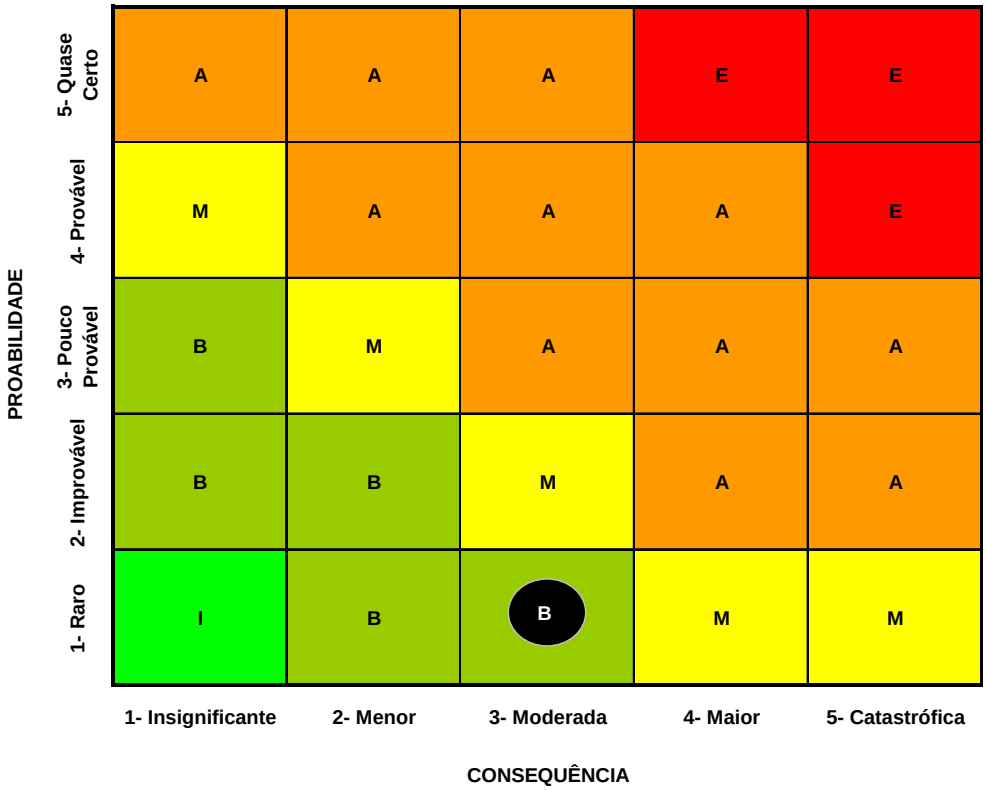
Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- Pb



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.65- Pó de aciaria – Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- Chumbo

Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- Dioxinas e Furanos



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.66- Pó de aciaria – Avaliação Meio Ambiente (Emissões Atmosféricas)- Dioxinas e furanos

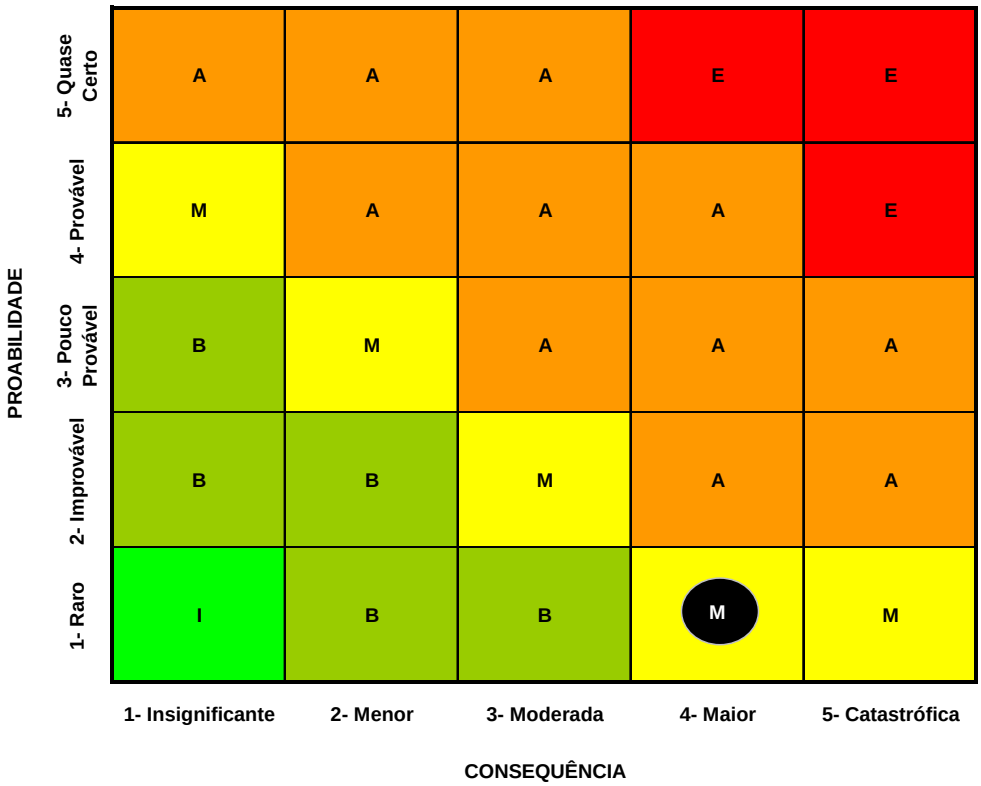
Com os dados de metais no cimento e os valores de referência (VR no cimento) foi possível avaliar o índice de probabilidade da matriz de nível de risco. No caso da poeira do cimento só é relevante a avaliação dos compostos inorgânicos uma vez que os compostos orgânicos são destruídos completamente no forno de clínquer devido às suas altas temperaturas de operação.

Os elementos avaliados na poeira do cimento foram: chumbo, manganês , e cromo.

O cromo foi selecionado pois dependendo do ponto de injeção do resíduo parte do cromo trivalente pode tornar-se cromo hexavalente o que causaria uma modificação na classificação do cromo pois o valor de referência para o mesmo no cimento considerando a avaliação para a poeira do cimento é 100 ppm conforme já mencionado anteriormente.

No caso específico avaliado como este resíduo entra via matéria-prima não existe o risco de parte do cromo trivalente presente no resíduo transformar-se em cromo hexavalente. No entanto se caso este resíduo entrasse via maçarico principal onde as temperaturas da chama atingem mais de 2000 graus centígrados esta avaliação de não transformação do cromo trivalente em cromo hexavalente já não seria mais válida.

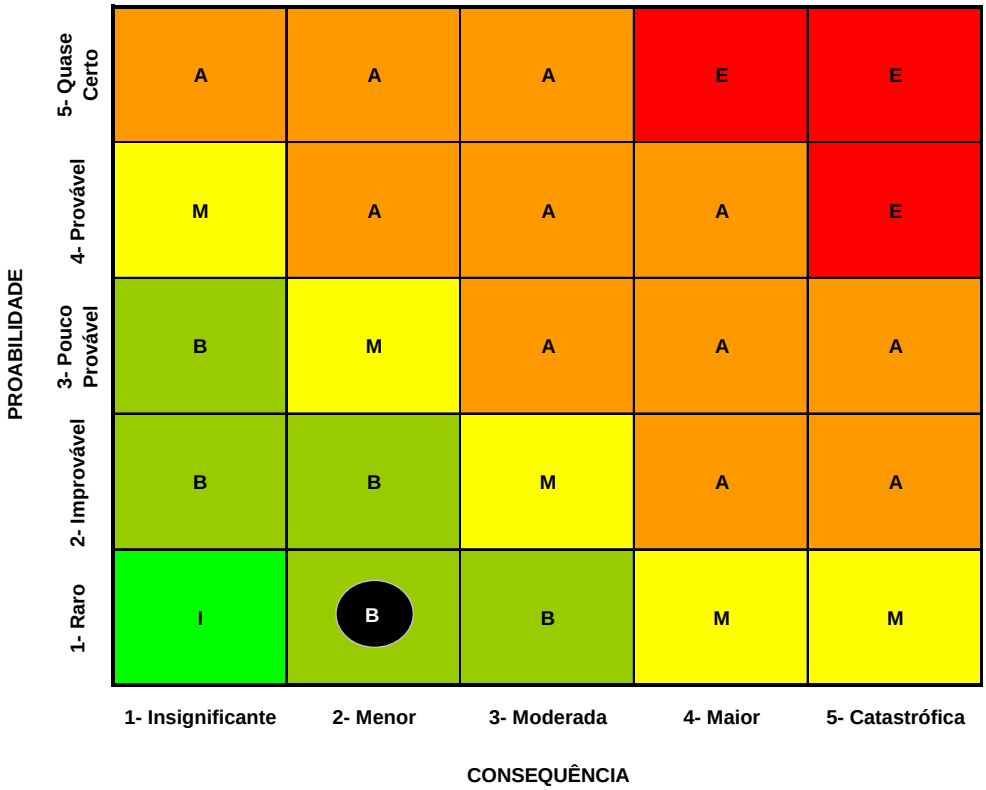
Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Poeira do Cimento) - Pb



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.67- Pó de aciaria - Avaliação Meio Ambiente (Poeira do Cimento) – Chumbo

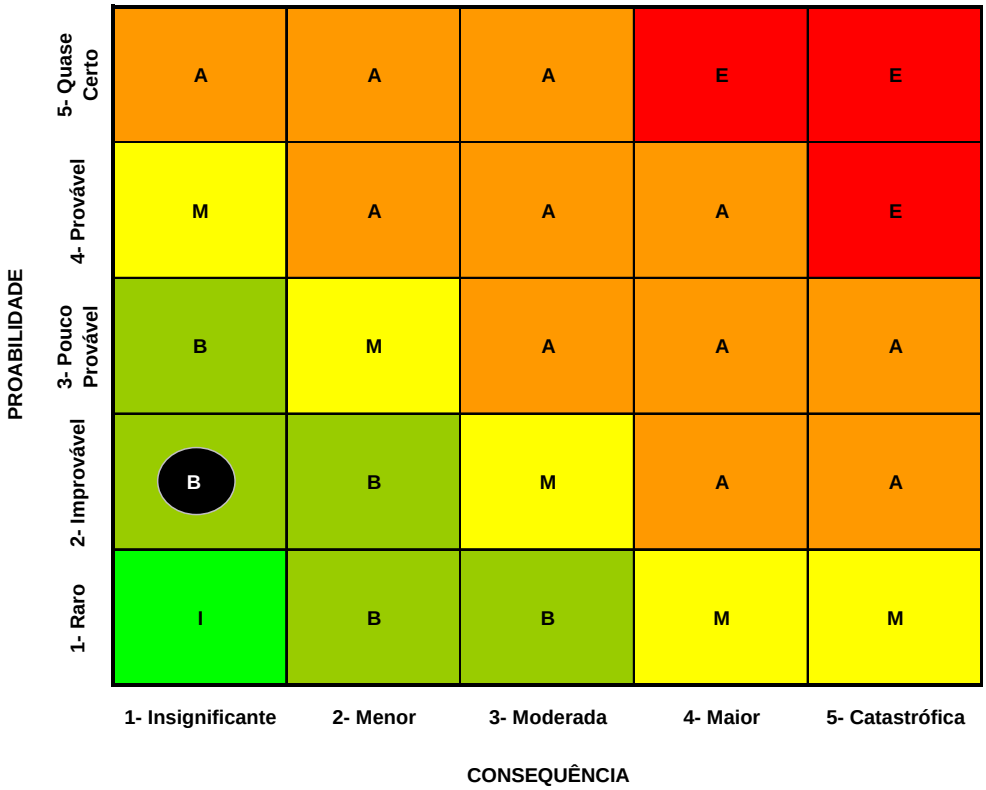
Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Poeira do Cimento) - Mn



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.68- Pó de aciaria - Avaliação Meio Ambiente (Poeira do Cimento) – Manganês

Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Poeira do Cimento) - Cr



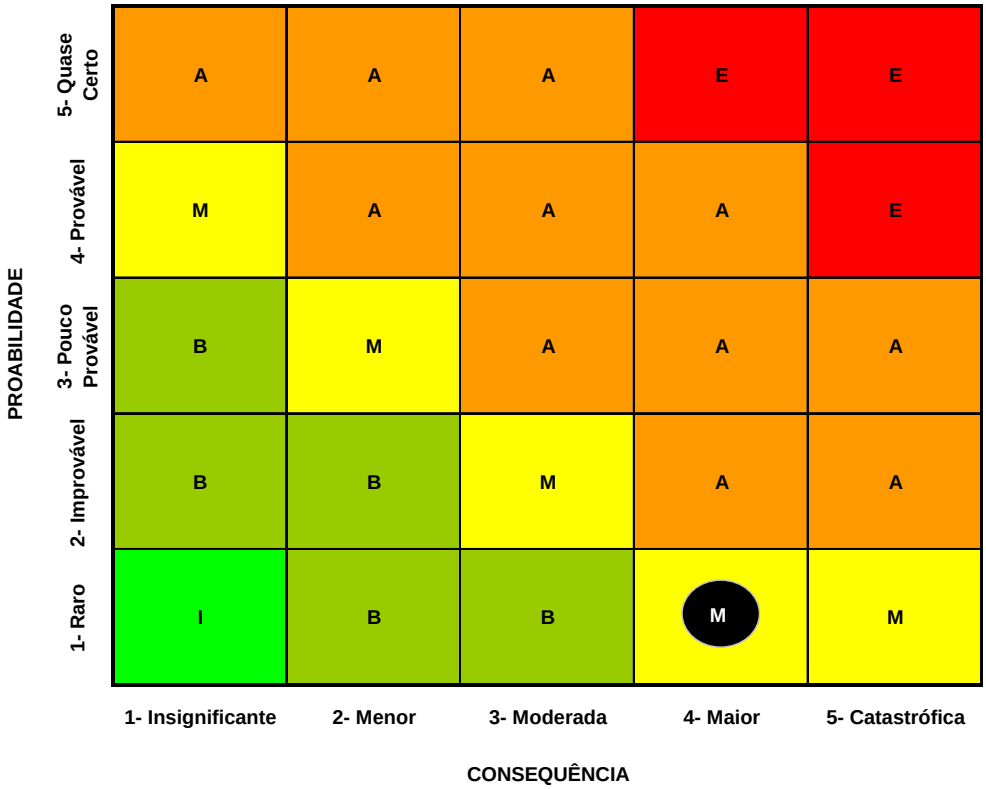
Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.69- Pó de aciaria - Avaliação Meio Ambiente (Poeira do Cimento) – Cromo

Com os dados de metais no cimento e os valores de referência (VR no cimento) foi possível avaliar o índice de probabilidade da matriz de nível de risco. No caso da qualidade ambiental do cimento só é relevante a avaliação dos compostos inorgânicos uma vez que os compostos orgânicos são destruídos completamente no forno de clínquer devido às suas altas temperaturas de operação.

Os elementos avaliados no que se refere a qualidade ambiental do cimento foram: chumbo, manganês , e cromo.

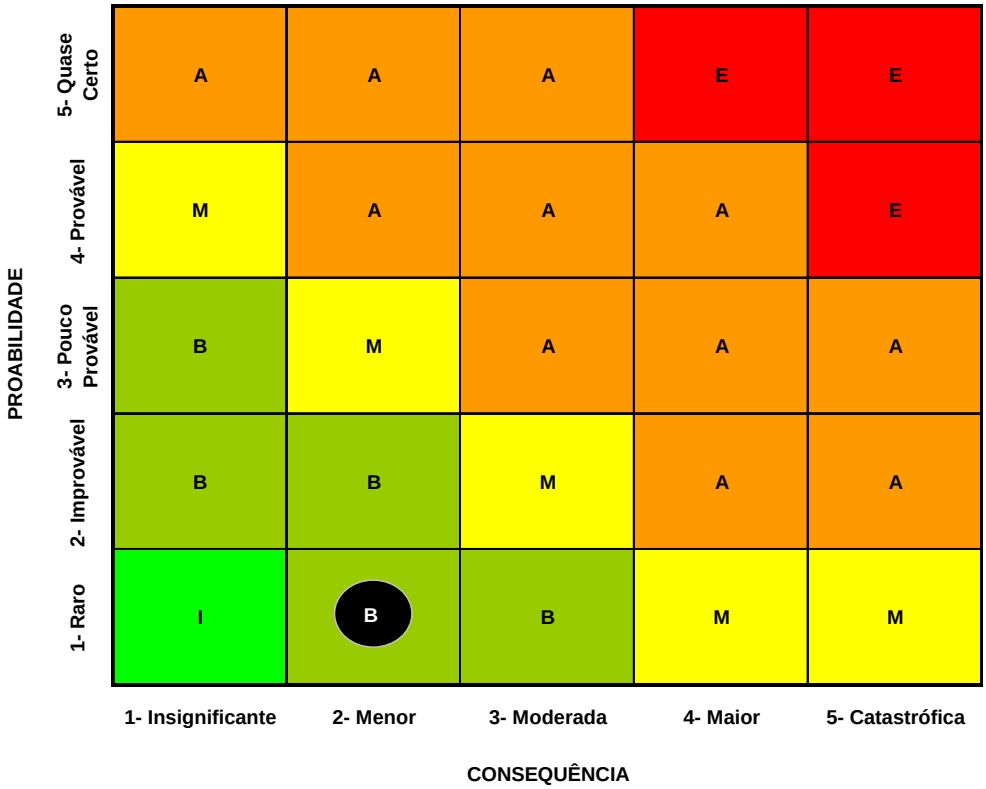
Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Qualidade Ambiental do Cimento) - Pb



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.70- Pó de aciaria - Avaliação Meio Ambiente (qualidade ambiental do cimento) – Chumbo

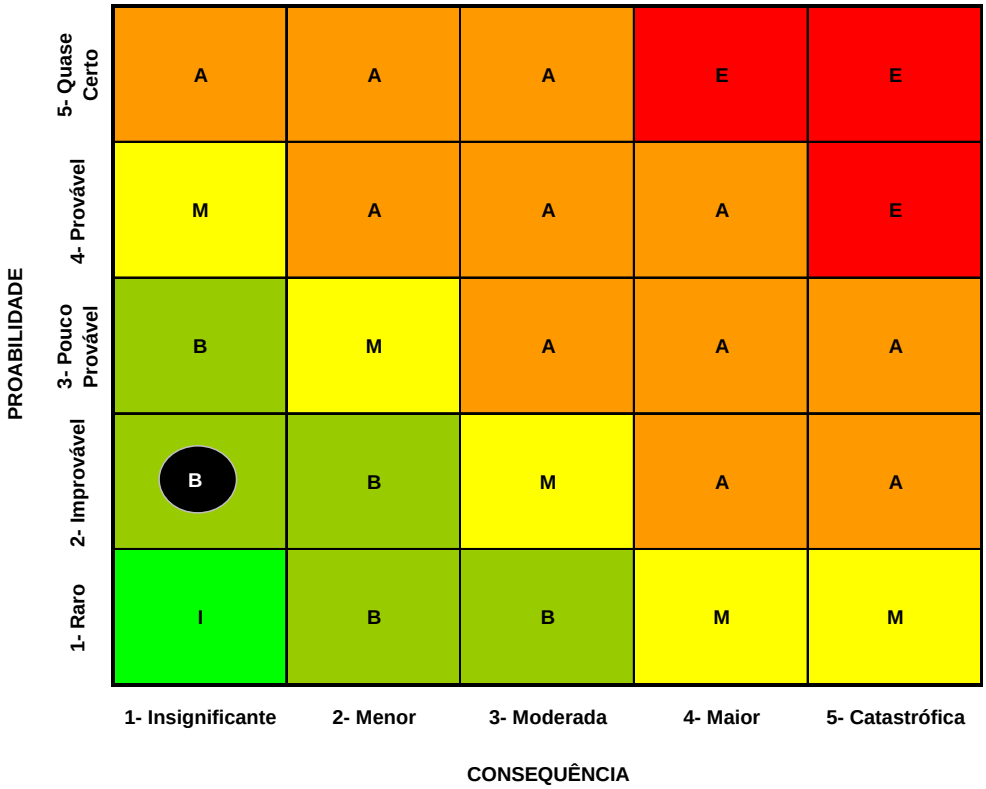
Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Qualidade Ambiental do Cimento) - Mn



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.71- Pó de aciaria - Avaliação Meio Ambiente (qualidade ambiental do cimento) – Manganês

Matriz de Risco - Avaliação de Meio Ambiente (Qualidade Ambiental do Cimento) - Cr



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

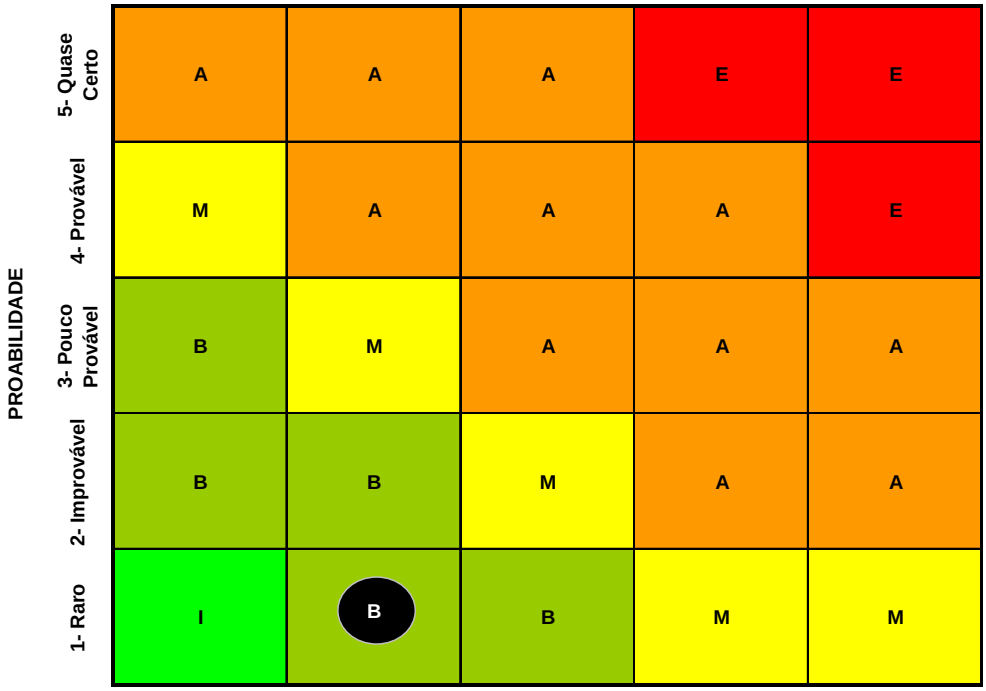
Figura 6.72- Pó de aciaria - Avaliação Meio Ambiente (qualidade ambiental do cimento) – Cromo

6.6.4 Avaliação da Qualidade do Produto

Na área de impacto qualidade do produto foram avaliados os seguintes elementos químicos: chumbo, manganês e zinco.

Os riscos Q19 – aumenta a trabalhabilidade , Q11- aumenta as resistências não foram avaliados pois são impactos positivos na qualidade do cimento.

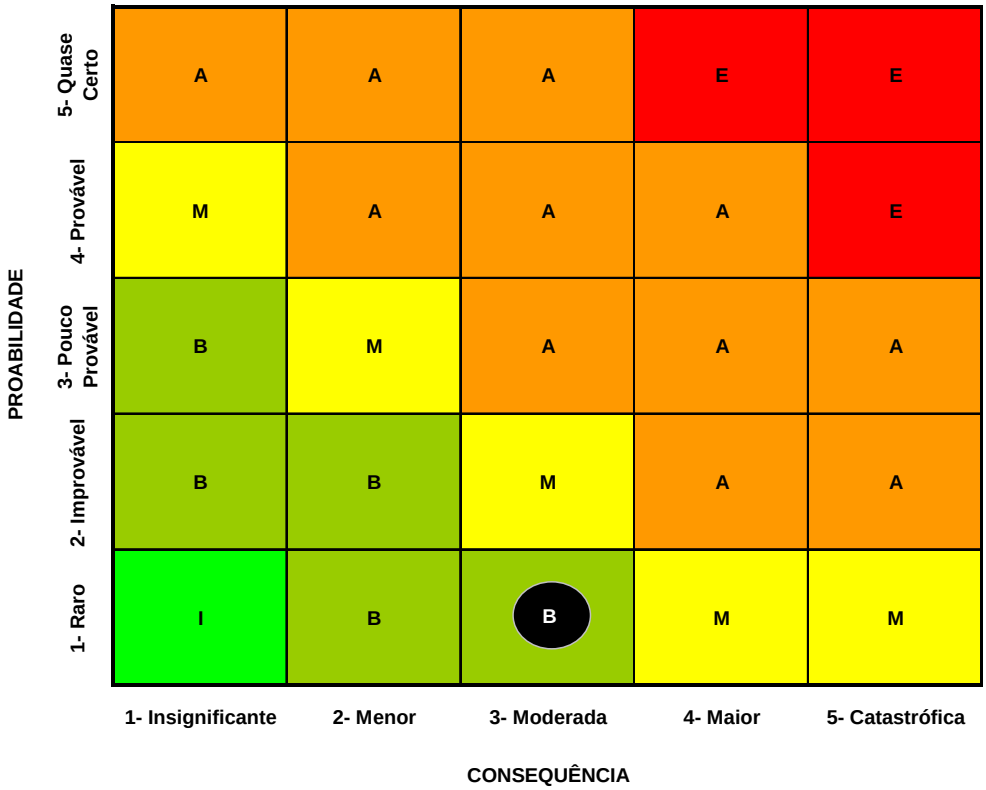
Matriz de Risco - Avaliação de Qualidade do Produto - Q18- Retarda a hidratação da pasta - Chumbo



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.73- Pó de aciaria- Avaliação Qualidade do Produto- Q18- Retarda a hidratação da pasta - Chumbo

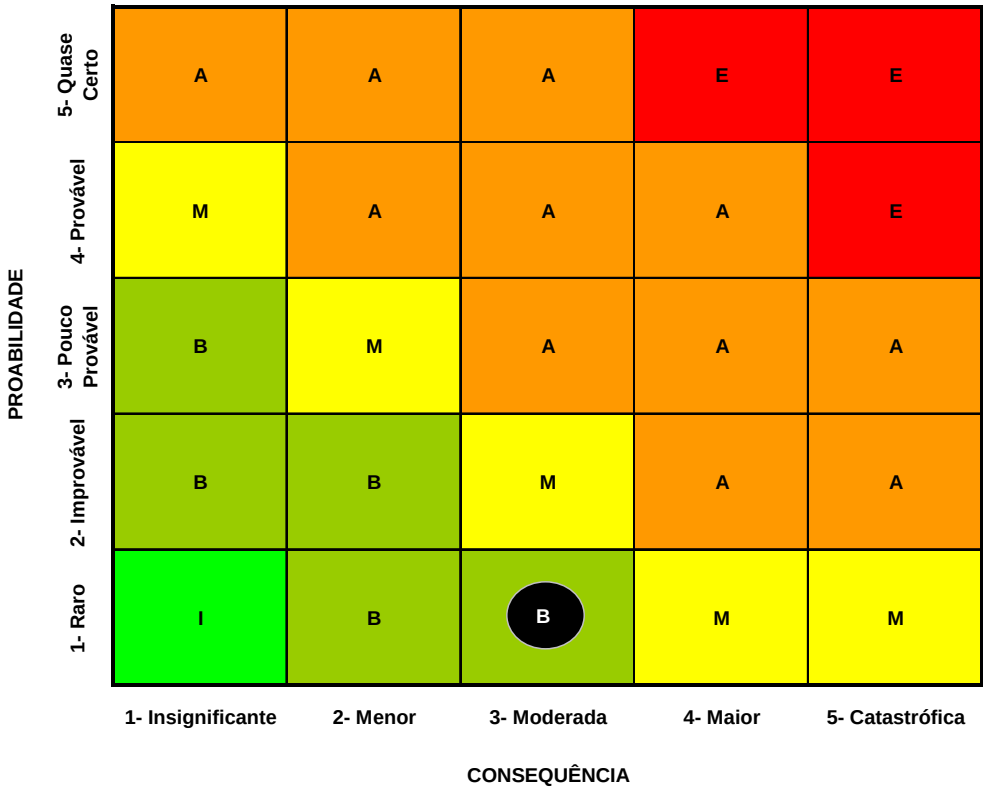
Matriz de Risco - Avaliação de Qualidade do Produto - Q13 - Pode afetar a cor do cimento - Manganês



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.74 – Pó de aciaria - Avaliação Qualidade do Produto- Q13- Pode afetar a cor do cimento - Manganês

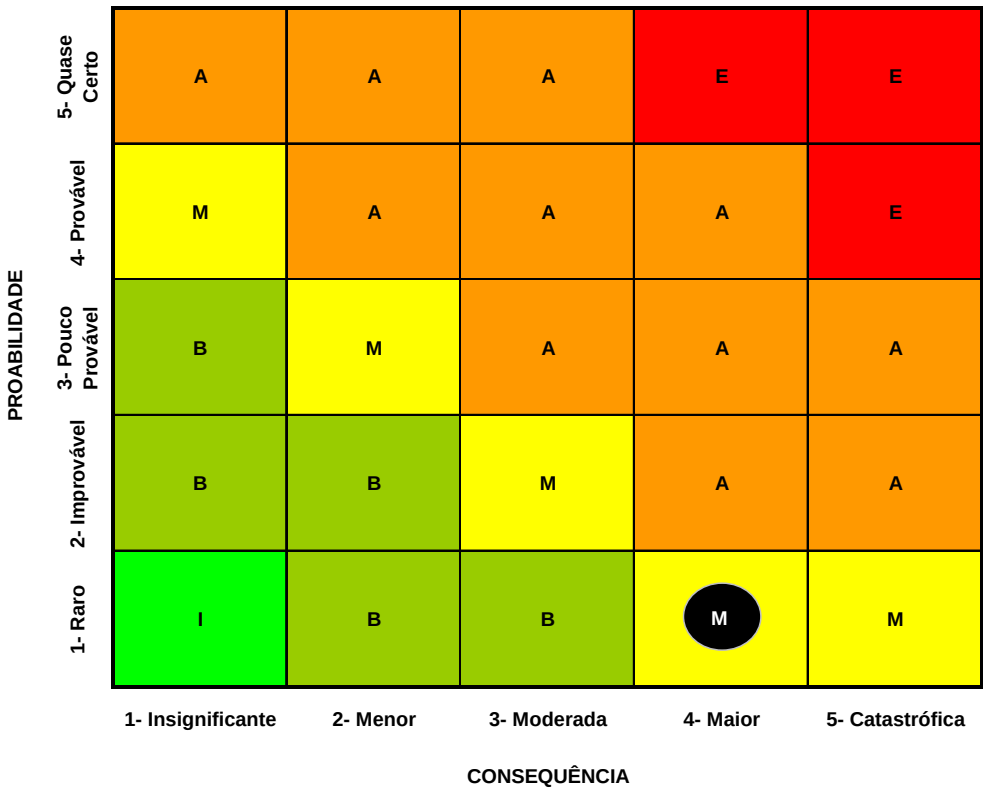
Matriz de Risco - Avaliação de Qualidade do Produto - Q15 - Reduz a resistência - Zinco



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.75 – Pó de aciaria - Avaliação Qualidade do Produto- Q15- Redução da resistência - Zinco

Matriz de Risco - Avaliação de Qualidade do Produto - Q1- Retarda o tempo de pega - Zinco



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.76 – Pó de aciaria - Avaliação Qualidade do Produto- Q1- Redução do Tempo de Pega - Zinco

6.6.5 Avaliação do Processo Produtivo

Na área de impacto processo produtivo foi avaliado a influência do cobre.

Não foram avaliados os riscos P17 – em condições oxidantes acelera a formação de C3S, P1- reduz a temperatura de queima, P2 – reduz a viscosidade da fase líquida, P3 – reduz a cal livre pois estes efeitos são positivos ao processo produtivo.

Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P15 - Aumenta a temperatura de fusão da fase líquida - Cobre

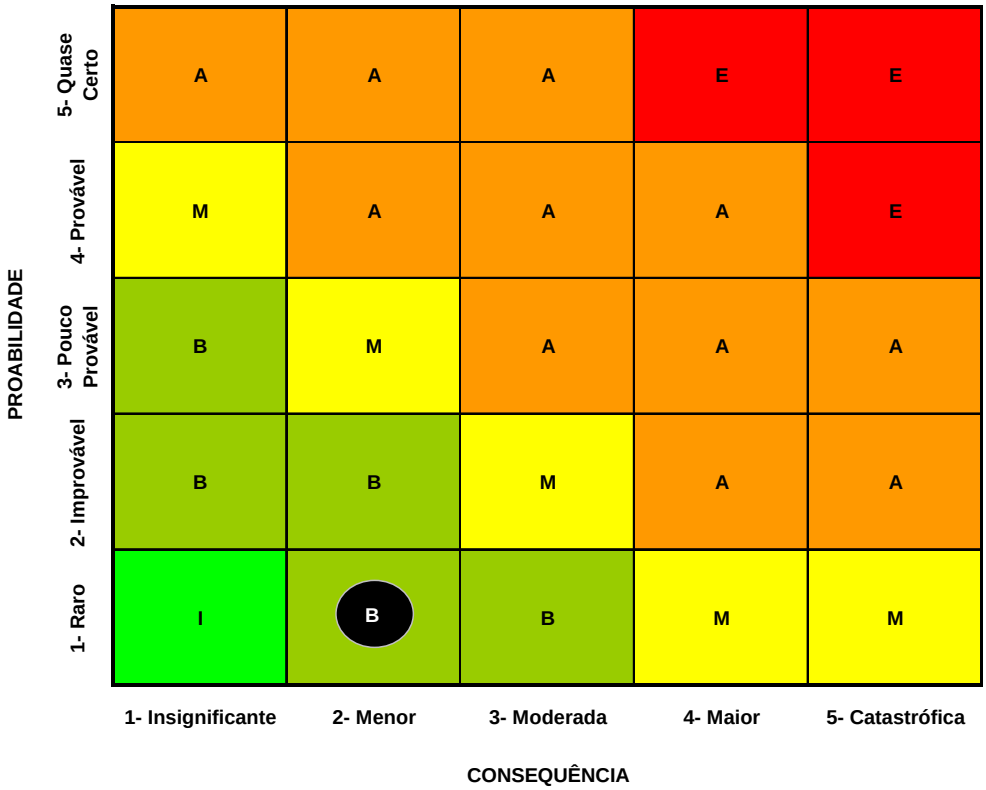
PROABILIDADE	1- Insignificante	2- Menor	3- Moderada	4- Maior	5- Catastrófica
5- Quase Certo	A	A	A	E	E
4- Provável	M	A	A	A	E
3- Pouco Provável	B	M	A	A	A
2- Improvável	B	B	M	A	A
1- Raro	I	B	B	M	M

CONSEQUÊNCIA

Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.77- Pó de aciaria - Avaliação do Processo Produtivo –P15- aumenta a temperatura de fusão da fase líquida - Cobre

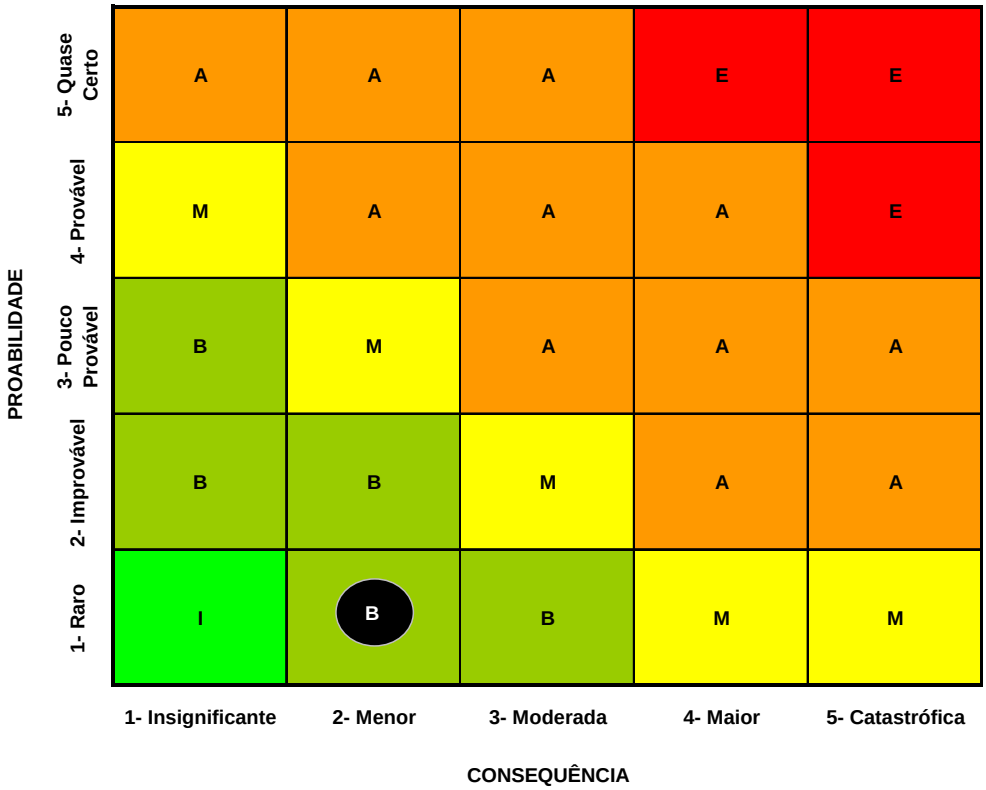
Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P1 - Aumenta a temperatura de queima - Cobre



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.78- Pó de aciaria - Avaliação do Processo Produtivo –P1- aumenta a temperatura de queima – Cobre

Matriz de Risco - Avaliação do Processo Produtivo - P18 - Em condições redutoras reduz a formação de C3S- Cobre



Legenda:
E: recomenda-se não co-processar
A: controle adicional necessário
M: controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
B: manter os monitoramentos e controles atuais
I: não fazer nada

Figura 6.79 - Pó de aciaria - Avaliação do Processo Produtivo –P18- em condições redutoras reduz a formação de C3S - Cobre

6.6.6 Discussão e Conclusões Parciais do Pó de aciaria

Este resíduo nas condições de uso avaliada apresenta riscos significativos para a inalação de poeira do pó de aciaria e meio ambiente (avaliação geral)

Para o aceite do resíduo pó de aciaria na fábrica Y deve-se utilizar a experiência da fábrica X para a utilização do SPL moído o que faria a fábrica Y reduzir significativamente os riscos de inalação e meio ambiente (avaliação geral) quando da utilização do pó de aciaria.

A tabela 6.13. resume os resultados encontrados para a avaliação de risco da utilização do pó de aciaria na fábrica Y.

Tabela 6.13- Resumo das avaliações de risco do pó de aciaria e tratamento do risco

Área de Impacto	Risco	Índice de Probabilidade	Índice de Consequência	Nível de Risco	Tratamento do Risco
Saúde e Segurança	Risco de inalação da poeira do pó de aciaria	3 -Pouco Provável	4 - Maior	A	Implementar mesmo sistema de injeção do SPL moído
Meio Ambiente - Avaliação geral	Risco de alta toxicidade para organismos aquáticos	2 - Improvável	4 - Maior	A	Implementar mesmo sistema de injeção do SPL moído
Meio Ambiente - Emissões atmosféricas - Cd	Risco das emissões atmosféricas causarem danos à saúde humana	1- Raro	4 - Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Meio Ambiente - Emissões atmosféricas - Pb	Risco das emissões atmosféricas causarem danos à saúde humana	1- Raro	4 - Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Meio Ambiente - Emissões atmosféricas - Dioxinas e furanos	Risco das emissões atmosféricas causarem danos à saúde humana	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Poeira do cimento - Pb	Risco da poeira do cimento causar danos à saúde humana devido à presença do chumbo	1- Raro	4 - Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Poeira do cimento - Mn	Risco da poeira do cimento causar danos à saúde humana devido à presença do manganês	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Poeira do cimento - Cr	Risco da poeira do cimento causar danos à saúde humana devido à presença do cromo	2 - Improvável	1- Insignificante	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Qualidade ambiental do cimento - Pb	Risco do cimento causar danos ambientais devido à presença de chumbo	1- Raro	4 - Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Qualidade ambiental do cimento - Mn	Risco do cimento causar danos ambientais devido à presença de manganês	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Qualidade ambiental do cimento - Cr	Risco do cimento causar danos ambientais devido à presença de cromo	2 - Improvável	1- Insignificante	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Qualidade do Produto	Risco de retardar a hidratação da pasta	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Qualidade do Produto	Risco de afetar a cor do cimento	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Qualidade do Produto	Risco de reduzir a resistência	1- Raro	3- Moderada	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Qualidade do Produto	Risco de retardar o tempo de pega	1- Raro	4 - Maior	M	controle adicional se possível e manter os monitoramentos existentes
Processo Produtivo	Risco de aumentar aumentar a temperatura de fusão da fase líquida	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de aumentar a temperatura de queima	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais
Processo Produtivo	Risco de reduzir a formação de C3S em condições redutoras	1- Raro	2 - Menor	B	Manter os controles e monitoramentos atuais

7 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados mostraram que o marco legal para a gestão do co-processamento de resíduos industriais em fornos de cimento no Brasil foi estabelecido em 1999 através de uma resolução específica, a CONAMA 264/1999, que representou um grande avanço no controle das emissões atmosféricas para os fornos que faziam o co-processamento por meio de padrões mais restritivos, baseados nas normas das agências ambientais americana e alemã, do que os padrões já existentes para as fábricas que não faziam o co-processamento.

No entanto, inexistindo no Brasil um sistema adequado de classificação de misturas perigosas, o que seria mais apropriado no caso do co-processamento, já que os resíduos são combustíveis e as matérias-primas alternativas para a indústria de cimento, foi exigido na CONAMA 264/1999 a aplicação da NBR10004 para a classificação de resíduos sólidos.

Diferentemente dos sistemas de classificação das substâncias químicas presentes nos resíduos já estabelecidos em países desenvolvidos como o Reino Unido (CHIP3), a NBR10004 traz muito pouca informação que ajude na avaliação dos potenciais de danos presentes nos ingredientes dos resíduos.

Na área ocupacional, a gestão do co-processamento é realizada através dos programas de prevenção e controle (PPRA e PCMSO), os quais já incluem a avaliação mais aprofundada dos riscos químicos devido aos resíduos que são co-processados. No entanto, em um processo produtivo com grandes variações, como é o caso do co-processamento de resíduos industriais em fornos de clínquer, esses programas podem não ser suficientes para a gestão dos novos riscos que os resíduos representam para a indústria de cimento.

Não obstante, a NBR10004 não fornece o detalhamento necessário para a questão da saúde e segurança do trabalhador no que se refere à resposta ao questionamento sobre quais substâncias químicas contidas no resíduo implicam na classificação da substância para fins de avaliação dos riscos no local de trabalho, que possa ser utilizada nos programas de prevenção e controle (PPRA e PCMSO).

Na avaliação dos novos riscos que os resíduos possam representar para a indústria cimenteira, um dos principais obstáculos é a falta de informação quanto à periculosidade dos resíduos por

parte dos geradores. Algumas empresas disponibilizam informações mais precisas dos potenciais de danos dos resíduos, mas estas são exceções.

Como a legislação atual não exige que sejam fornecidas por parte dos geradores informações mais completas para a destinação de resíduos tais como a FISQP dos resíduos, é fundamental que a indústria cimenteira busque alternativas voluntárias para que tenha os seus riscos controlados e possa contribuir para a solução do grande problema da sociedade contemporânea, ou seja, a minimização do volume de resíduos que são dispostos no ambiente concomitantemente com a conservação dos recursos naturais, através do aproveitamento do conteúdo energético e dos materiais presentes no resíduo co-processado, reintroduzindo-o na cadeia produtiva.

Algumas indústrias de cimento, através do princípio da precaução, estão analisando uma lista enorme de compostos inorgânicos e orgânicos de forma a identificar os possíveis ingredientes perigosos presentes nos resíduos, buscando preencher a lacuna da NBR10004 e da falta de informação adequada das substâncias químicas presentes nos resíduos por parte de quem os gera. Tal procedimento, além de oneroso, muitas vezes tem se mostrado insuficiente, uma vez que o ingrediente que irá trazer a periculosidade do resíduo poderá não ter sido contemplado na análise, devido à gama enorme de possíveis ingredientes que conferem periculosidade aos resíduos. Em um dos exemplos avaliados neste trabalho (borra de fundo de tanque) essa situação é demonstrada.

Outro obstáculo na avaliação dos riscos é a fragmentação do setor público, onde as avaliações ambientais e ocupacionais são realizadas por diferentes agências e quadros legais. Os riscos relacionados ao co-processamento são tratados por diferentes áreas do governo que têm dificuldades de operar de forma integrada. A avaliação de riscos de forma integrada, conforme realizada neste trabalho, envolvendo as quatro áreas de impacto do co-processamento – saúde e segurança do trabalhador, meio ambiente, qualidade do produto e processo produtivo – auxilia no processo decisório mais amplo de aceitação do resíduo para o co-processamento.

Com base nos resultados da aplicação do procedimento proposto aos quatro exemplos avaliados, podem-se citar os seguintes pontos positivos do instrumento:

- O fundamento do procedimento foi realizado em bases científicas já validadas por outros países desenvolvidos (Norma Australiana de Gestão de Riscos, Catálogo Europeu de Resíduos e a diretiva européia para classificação de misturas perigosas).
- Sistema integrado de avaliação de riscos levando-se em conta as quatro áreas de impacto do co-processamento: saúde e segurança do trabalhador, meio ambiente, qualidade do produto e controle do processo produtivo.
- Possibilidade de aplicação do conceito de avaliação de risco em camadas (*tiers approach*) em função das informações disponíveis. Por exemplo, pode-se calcular o índice de probabilidade através de três níveis de análise (análise qualitativa, análise semi-quantitativa e análise quantitativa), assim como o índice de conseqüência, o qual pode ser avaliado de forma genérica ou através de uma avaliação mais específica, conforme apresentado nas frases R, frases Q e frases P. Ou seja, à medida que aumenta o conhecimento sobre o resíduo, a ferramenta pode ser novamente aplicada em uma outra camada de avaliação, em um processo de melhoria contínua.
- A avaliação dos riscos do resíduo é realizada em função do seu contexto de utilização, o que facilita a avaliação das medidas de controle necessárias para que os riscos sejam devidamente controlados.
- A ferramenta apresenta uma gradação adequada na avaliação dos riscos através de uma matriz de níveis de risco cinco x cinco, o que possibilita um melhor gerenciamento dos riscos, priorizando os de maior significância.
- As matrizes de riscos geradas através da aplicação do procedimento auxiliam na priorização e a definição dos principais riscos a que estão expostos os trabalhadores e que, dessa forma, deverão ser contemplados nos programas de prevenção e controle (PPRA e PCMSO).
- As matrizes de riscos geradas para o resíduo e o contexto específico, obtidas a partir da aplicação do procedimento proposto, auxiliam na comunicação clara, objetiva e transparente aos trabalhadores da atividade de co-processamento sobre os possíveis riscos a que estão expostos.
- A aplicação do procedimento de forma integrada, considerando-se todos os impactos (saúde e segurança do trabalhador, meio ambiente, qualidade do produto e processo

produtivo), auxilia também na definição mais adequada dos custos envolvidos na prestação dos serviços de destinação de resíduos industriais em fornos de clínquer, uma vez que considera todos os controles adicionais necessários para que os riscos sejam controlados.

- A ferramenta auxilia a alta direção da empresa na priorização dos investimentos de co-processamento e na disseminação das melhores práticas. Esse item foi demonstrado através da utilização do SPL em três cenários de uso diferenciados. Os resultados obtidos através das matrizes de risco demonstraram que um mesmo resíduo pode ter seus riscos controlados em função das medidas de controle adotadas. E que, no caso específico desse resíduo, a forma como a empresa X co-processa representa a melhor prática da indústria brasileira e, portanto, deve ser seguida pelas fábricas.
- A influência dos elementos traços na qualidade do produto e no processo produtivo é bastante diversificada, o que dificulta uma análise mais objetiva por parte dos técnicos das fábricas de cimento. Neste estudo, essas influências foram avaliadas através das frases Q (frases de qualidade) e frases P (frases do processo produtivo) apresentadas nos Apêndices I e II, o que facilita sobremaneira a aplicação de forma objetiva e simples desses fundamentos pela indústria cimenteira.

No entanto, a ferramenta possui algumas limitações, quais sejam:

- Os valores de referência (VR) para a análise semi-quantitativa do índice de probabilidade utilizado nas áreas de impacto qualidade ambiental do cimento, qualidade do produto e processo produtivo basearam-se em diversos artigos científicos já publicados sobre o assunto, os quais muitas vezes não levam em conta a interdependência dos agentes químicos. Desta forma, é fundamental que as fábricas de cimento calibrem os valores de referência com base em estudos mais aprofundados.
- Não foi avaliado o impacto dos efeitos sinérgicos à exposição múltipla dos trabalhadores ao diversos agentes químicos abaixo dos limites de corte, uma vez que ainda não existem bases científicas consolidadas a esse respeito.

Em função das considerações feitas, pode-se inferir sobre a necessidade de se buscarem alternativas voluntárias do setor cimenteiro e a revisão e a complementação da legislação vigente para a avaliação dos novos riscos que o co-processamento possa trazer à indústria de cimento, com a finalidade de verificar medidas de controle que auxiliem no processo de

tomada de decisão para a aceitação de resíduos destinados ao co-processamento. Isso de forma que os riscos sejam devidamente controlados e que o procedimento aqui proposto possa auxiliar na gestão de riscos do co-processamento.

8 RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados desta pesquisa, é possível formular duas categorias de recomendações. A primeira delas está voltada para o mundo acadêmico e diz respeito às perspectivas de realização de novas pesquisas que completem ou ampliem o que foi feito. A segunda está voltada para o mundo prático, isto é, para a mudança de práticas de formuladores e implementadores de políticas públicas.

Devido à natureza exploratória e abrangente da pesquisa, vários aspectos estudados ainda estão incompletos ou imprecisos. Dentre os estudos de natureza investigativa, sugerem-se:

- Estudos sobre o comportamento de resíduos contendo cromo trivalente e possíveis transformações durante o processo de clinquerização a cromo hexavalente.
- Estudos sobres as metodologias de avaliação do impacto da qualidade ambiental do cimento tanto internacional como nacional, de forma a estabelecer o melhor instrumento para a avaliação ambiental do cimento.
- Estudos sobre a influência da exposição múltipla dos trabalhadores do co-processamento a agentes químicos abaixo dos limites de corte utilizados neste estudo.
- Estudos sobre a influência dos pontos de injeção de resíduos nos fornos de clínquer nas emissões atmosféricas dos fornos.

Os resultados da pesquisa, a despeito de suas limitações e imprecisões, permitem sugerir a adoção de uma série de políticas ou práticas que podem contribuir para a redução dos riscos e aumentar a sustentabilidade do setor.

Em médio e longo prazo, será possível desenvolver ações que não dependam de mudanças no quadro legal e que possam ter efeito nas práticas atuais, tais como:

- Mobilização das indústrias cimenteiras no sentido de estabelecer um código de práticas relacionadas ao co-processamento que contemple a avaliação dos novos riscos representados pelos resíduos, assim como a adoção de medidas necessárias ao controle dos riscos.

- Elaborar protocolos sobre o reconhecimento e a avaliação dos riscos – ocupacionais, ambientais, da qualidade do produto e do processo produtivo – das principais tipologias de resíduos co-processados no Brasil.
- Capacitação de técnicos do governo e de empresas na área de avaliação e controle de riscos de substâncias químicas.
- Estimulação da troca de experiências relativas a práticas bem-sucedidas desenvolvidas e implementadas pelas empresas do setor.

Conclui-se assim este estudo com a convicção de que ele poderá dar importantes contribuições para gestão de riscos do co-processamento, rumo ao desenvolvimento sustentável da indústria cimenteira.

- **REFERÊNCIAS**

ABAD, E.; MARTÍNEZ, K.; CAIXACH, J. e RIVERA, J. *Polychlorinated Dibenzo-p-dioxin/Polychlorinated Dibenzofuran Release sinto the Atmosphere from the Use of Secondary Fuels in Cement Kilns during clinker Formation*. Environ. Sci. Technol. 2004, 38, 4734-4738.

ABCP- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Apresentação sobre co-processamento em fornos de cimento da ABCP para a Fundação Getúlio Vargas* .Rio de Janeiro, 2006. [Documento Interno]

ABCP- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Laudo de caracterização de resíduos no. 18987* .São Paulo, 2004. [Documento Interno]

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004 Resíduos sólidos- Classificação*. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 11174 Armazenamento de Resíduos Classe II- não inertes e III-inertes*. Rio de Janeiro, julho 1990. 7p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12235 Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos* . Rio de Janeiro, abril 1992. 14p.

ACGIH – AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNAMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. *TLVs and BEIs* Cincinnati: ACGIH, 2006.

AHLUWALLA, S.C.; PAGE, C.H.*Effect of low grade fuels , combustible wastes and non-tradicional raw materials*. 9th International Congress on the Chemistry of Cement. p. 83-122.

ALCOA. *Facts about SPL from Alcoa prebake pots*. 2005. [Documento Interno]

ANDRADE, F.R.D.; MARINGOLO, V.; KIHARA, Y. *Incorporation of V, Zn and Pb into the crystalline phases of Portland Clinker*. Cement and Concrete Research 33 (2003) 63-71.

ANTT – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE. *Resolução ANTT no. 420 de 12 de fevereiro de 2004*. Aprova as instruções complementares ao regulamento do transporte terrestre de produtos perigosos. Disponível em: http:\\www.antt.gov.br/legislacao

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6023: Informação e documentação: referências: elaboração*. Rio de Janeiro 2002 24 p.

BARROS, A. M.; TENÓRIO, J. A. S.; ESPINOSA, D. C. R. *Chloride Influence on the incorporation of Cr2O3 and NiO in clinker: a laboratory evaluation*. Journal of Hazardous Materials B 93 (2002) 221-232.

BARROS, A. M.; TENÓRIO, J. A. S.; ESPINOSA, D. C. R. *Evaluation of the incorporation ratio of ZnO, PbO and CdO into cement clinker*. Journal of Hazardous Materials B 112 (2004) 71-78.

BHATTY, J. I. *Role of Minor Elements in Cement Manufacture and Use*. Portland Cement Association. Skokie, Illinois, 1995.

BIOAGRI. *Laudo de caracterização de resíduos no. 10663*. São Paulo, 2006.[Documento Interno]

Formatado: Inglês (EUA)

BOUGHTON, B.; HORVATH, A. *Environmental Assessment of Shredder residue management*. Resources, Conservation & Recycling. 47 (2006) 1-25.

BUCCHI, R. *Influence of the nature and preparation of raw materials on the reactivity of raw mix*..VII ICCC, Paris 1980.Vol I

BURGESS, A. A ., BRENNAN, D. J. *Application of life cycle assessment to chemical processes*. Chemical Engineering Science, (56), 2589-2604; 2001.

CAPONERO,J.; TENÓRIO, J.A.S.*Laboratory testing of te use of phosphate-coating sludge in cement clinker*. Resources, Conservation & Recycling 29 (2000) 169-179.

CAVALCANTI, J. E. W. A. *Situação da Indústria de Co-processamento no Brasil*. Saneamento Ambiental, 1996, n. 39, p.22-23.

CORTI, A; LOMBARDI, L. *End Life Tyres: Alternative final Disposal processes compared by LCA*. Energy 29 (2004) 2089-2108.

CSI - Cement Sustainability Initiative WBCSD. *Guidelines For the selection and use of fuels and Raw Materials in the cement Manufacturing Process*. December 2005, version 1.0. Disponível em: http://www.wbcsdcement.org/fuels.asp.

DE JONG, J.G.M. e VOORBRAAK, J.H.C. *Toelaatbare gehaltes chroomoxide, koperoxide, loodoxide en zinkoxide in pyriet-as*.ENCI Ref. no. 10.505 (28-03-1974) [Documento Interno]

DOS SANTOS, M.M. *O co-processamento de resíduos industriais em fornos de clínquer: Avaliação das emissões atmosféricas*. Dissertação (Mestrado em Saúde Ambiental)-Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo 2003.

ECKERT, J. O. J; GUO, Q. *Heavy Metals in cement and cement kiln dust from kilns co-fired with hazardous waste- derived fuel: application of EPA leaching and acid digestion procedures*. Journal of Hazardous Material 59 (1998) 55-93.

ECKERT, J.O.J; GUO, Q. *Heavy metals in cement and cement kiln dust from kilns co-fired with hazardous waste-derived fuel: Application of EPA leaching and acid-digestion procedures.*: Journal of Hazardous Materials, Rutgers Univ, v 59, n 1, Mar, 1998, p 55-93

ECOLABOR. *Laudo de caracterização de resíduos no. 387465*. São Paulo, 2006.[Documento Interno]

EKVALL, T.; FINNVEDEN, G. *Allocation in ISO 14041 - a critical review*. Journal of Cleaner Production 9, 197-208, 2001.

EUROPEAN COMMUNITIES. *DIRECTIVE 1999/45/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL* of 31 May 1999 concerning the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to the classification, packaging and labelling of dangerous preparations.

EUROPEAN COMMUNITIES. *DIRECTIVE 67/548/EEC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL* of 27 June 1967 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions relating to the classification, packaging and labelling of dangerous substances (as amended) is the main European Union Law concerning chemical safety.

EUROPEAN COMMUNITIES. *DIRECTIVE 88/379/EEC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL* of 7 June 1988 on the approximation of laws,

regulations and administrative provisions relating to the classification, packaging and labelling of dangerous preparations.

EUROPEAN COMMUNITIES. *DIRECTIVE 793/93/EEC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL* of 23 March 1993 on the evaluation and control of the risks of existing substances.

EUROPEAN COMMUNITIES. *European Waste Catalogue.*2000. Disponível em: http://www.europa.eu.it/eur-lex/en/consleg/pdf/2000/en_2000DO532_do_001.pdf

EUROPEAN COMMUNITIES.EIPPC – European Integrated Pollution *Prevention and Control Bureau. Reference document on best available techniques in the cement and lime manufacturing industries.* Seville, December 2001.

FERNANDES, R. *"Modelagem Matemática da Aerodinâmica Interna de Queimadores à Jato"*. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

FINNVEDEN, G. *Methodological aspects of life cycle assessment of integrated solid waste management systems.* Resources Conservation and Recycling 26, 173-187, 1999.

FRANÇA, J. L.; VASCONCELOS A. C. *Manual para Normalização de Publicações Técnico-científicas*. 7. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2004. 242 p.

GOEDKOOP, M. *The Eco-indicator 95, Final Report*. Pré consultants, Amersfoort (NL), 1995.

GUO, Q; ECKERT, J.O.J. *Heavy metal outputs from a cement kiln co-fired with hazardous waste fuels.* Journal of Hazardous Materials, New Jersey, v 51, n 1-3, Nov, 1996, p 47-65

GUO,Q. *Increases of lead and Chromium in drinking water from using cement-mortar-lined pipes: initial modeling and assessment*. Journal of Hazardous Materials 56 (1997) 181-213.

HAZELWOOD,D.L; SMITH, F.J.; KEARNEY, A.T. e GARTNER, E.M. *Assessment of waste fuel use in cement kilns*.US Environmental Protection Agency, EPA 600/2-82-013 March 1982

HEIJUNGS R. ET AL.. *Life Cycle assessment: What it is and how to do it*.,1996. Paris: UNEP. 91p.

HORNAIN, R. *La répartition des éléments de transition. Leur influence sur quelques propriétés du clinket et du ciment.* Rev. Mat. Constr. no 671-672 p. 203

HOUILLON, G. e JOLLIET, O. *Life Cycle Assessment of processes for the treatment of wastewater urban sludge: energy and global warming analysis*. Journal of cleaner Production 13 (2005) 287-299.

ISO – INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. *ISO 14040: Environmental management – lifecycle assessment – principles and framework.* ISO; 1997.

ISO – INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. *ISO 14041: Environmental management – life cycle assessment – goal and scope definition and inventory analisys*. ISO; 1998.

ISO – INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. *ISO 14042: Environmental management – lifecycle assessment – life cycle impact assessment.* ISO; 1999.

Formatado: Inglês (EUA)

ISO – INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. ISO 14043: *Environmental management – lifecycle assessment – interpretation*. ISO; 2000.

JOSA, A.; AGUADO, A.; HEINO, A.; BYARS, E.; CARDIM, A. *Comparative analysis of available lifecycle inventories of cement in the EU*. Cement and Concrete Research 34 (2004) 1313-1320.

KAANTEE,U.; ZENENHOVEN, R.; BACKMAN,R.; HUPA M. *Cement Manufacturing using alternative fuels and the advantages of process modeling*. Fuel Processing Technology 85 (2004) 293-301.

KELLY, K. E; BEAHLER, C. C. *Burning hazardous waste in cement kilns: a study of emissions, offsite concentrations, and health effects in Midlothian, Texas*. In: Instituit of Electrical and Eletronics Engineers, Inc Cement Industry Technical Conference, 1993,Toronto, Papers, p 363-393

KHAN, F. I.; RAVEENDER, V.; HUSAIN, T. *Effective environmental management through life cycle assessment*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 15, 455-466, 2002.

KIRCHER,G. *Reaktionen des Cadmiums beim Klinkerbrennprozess*.ZKG 38 535 (1985)

KIRCHER,G. *Thallium Cycles and Thallium Emissions from Cement Clinker Burning* Research Institute of the Cement Industry, Düsseldorf . ZGK Magazine No. 3/87 .p 134-144

KIHARA, Y. *Impacto da Normalização do co-processamento de resíduos em fornos de clínquer*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 5, São Paulo, Novembro, 1999. Anais....São Paulo, 1999.

MARINGOLO, V. *Clinquer Co-processado produto de tecnologia integrada para sustentabilidade e competitividade da indústria de cimento*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MINAS GERAIS – COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental. *Deliberação Normativa COPAM no. 026 de 28 de julho de 1998*. Dispõe sobre o co-processamento em fornos de clínquer. Retificação – Diário do Executivo – "Minas Gerais" – 24/10/98-06/10/98.Belo Horizonte, MG, 24 de outubro de 1998.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução no. 264 de agosto de 1999*. Dispõe sobre o licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de Resíduos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 de agosto de 1999.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NORMAS REGULAMENTADORAS. http://www.mte.gov.br/Empregador/segsau/Legislacao/Normas/Download/NR_15.pdf Acesso em: 13 Ago. 2006.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. *Norma Regulamentadora Nº. 7* estabelece o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional. Disponível em: http://www.mte.gov.br/legislacao

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. *Norma Regulamentadora Nº. 9* estabelece o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Disponível em: http://www.mte.gov.br/legislacao

MOUDILOU, E.; BELLOTTO, M.; DEFOSSE, C.; SERCLERAT, I.; BAILLIF, P.; TOURAY, J. C. *A dynamic leaching method for the assessment of trace metals released from hydraulic binders*. Waste Management 22 (2002) 153-157.

Formatado: Inglês (EUA)

MOUDILOU, E.; BELLOTTO, M.; DEFOSSE, C.; SERCLERAT, I.; BAILLIF, P.; TOURAY, J.C. *A dynamic leaching method for the assessment of trace metals released from hydraulic binders* Waste Management, Guerville Cédex, v 22, n 2, 2002, p 153-157

NPI – National Pollutant Inventory. *Emission Estimation Technique Manual for cement manufacturing*. August, 1999.

NAVIA, R.; RIVELA, B.; LORBER, K.E.; MÉNDEZ, R.Recycling contaminated soil as alternative raw material in cement facilities: lyfe cycle assessment. Article in press. Resources, Conservation and Recycling xxx (2006) xxx-xxx.

PARANÁ. SEMA – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. *Resolução SEMA 41*, de 9 de dezembro de 2002 [Define critérios para Controle da Qualidade do Ar]. Disponível em: http://www.pr.gov.br/meioambiente/pdf/res_sema_4102_qdd_ar.pdf . Acesso em12/12/2006.

PAUMGARTTEN, F.J. *Risk Assessment for Chemical Substances: the link between toxicology and public health*. Cadernos de Saúde Pública Vol. 9 no. 4. Rio de Janeiro, Oct/Dec. 1993.

PISTERS, H. *Chrom im Zement und Chromatekzem*. ZKG 19 467 (1966)

PRISCIANDARO, M.; MAZZIOTTI, G.; VEGLIO, F. *Effect of burning supplementary waste fuels on the pollutant emissions by cement plants: A statistical analysis of process data* Resources, Conservation and Recycling, v 39, n 2, Sep 1, 2003, p 161-184.

PRISCIANDARO, M.; MAZZIOTTI, G.; VEGLIO, F. *Effect of burning supplementary waste fuels on the pollutant emissions by cement plants: A statistical analysis of process data* Resources, Conservation and Recycling, v 39, n 2, Sep 1, 2003, p 161-184

RIO DE JANEIRO. FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente.*Deliberação CECA no. 2.953*, de 31 de agosto de 1993. Dispõe sobre os padrões de emissões de poluentes do ar para processo de destruição térmica de resíduos. Rio de Janeiro, 31 de agosto de 1993.

SÃO PAULO. CETESB – Companhia de tecnoligia de saneamento básico. *Norma CETESB P4.263* , de dezembro de 2003. Dispõe sobre procedimento para utilização de resíduos em fornos de produção de clínquer (Processo e/341/2003).

SENAI. SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. *Laudo de caracterização de resíduos no. 27893*. Curitiba, 2006. [Documento Interno]

SERCLÉRAT, I.; MOSZKOWICZ, P.; POLLET, B. *Retention Mechanisms in mortars of the trace metals contained in Portland Cement Clinkers*. Waste Management 20 (2000) 259-264.

SERCLERAT, I; MOSZKOWICZ, P; POLLET, B. *Retention mechanisms in mortars of the trace metals contained in Portland cement clinkers*.Waste Management, Lyon, v 20, n 2, 2000, p 259-264

SEVÁ-FILHO, A.O. e SANTI, A.M.M. *Os princípios da Precaução e da Segurança Química diante de novos riscos: uso de resíduos industriais na fabricação de cimento*. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXIII. Ouro Preto, MG Out 2003. 10p.

SPRUNG, S.; DELORT, M. *Effect of Energy conservation and environmental control measures on clinker properties*. 9th International Congress on the Chemistry of Cement. p. 155-174.

SPRUNG, S.; RECHENBERG, W.; BACHMANN, G. *Environmental compatibility of cement*. Energy Conservation and Environmental Control in Cement Industry.

SPRUNG, S. *Technologische Probleme beim Brennen des Zementklinkers, Ursache und Lösung*. Schriftenreihe der Zementindustrie Heft 43/1982 (VDZ)

SPRUNG, S; KIRCHNER, G. e RECHENBERG, G. *Reaktionen schwer verdampfbarer Spurenelementen beim Brennen von Zementklinker*.ZKG 37 513 (1984)

SILVA, P.J. e BRITO, M.J. *Práticas de gestão de Resíduos da Construção Civil: uma análise da inclusão social de carroceiros e cidadãos desempregados*. GESTÃO & PRODUÇÃO v.13, n.3, p. 545-556. Set-Dez 2006.

SINTEF- The foundation for industrial and Scientific research. *Formation and release of POP´s in the cement industry*. Norway, March 2004.

STANDARDS AUSTRALIA; STANDARDS NEW ZEALAND. Joint Technical Committee OB/7- Risk Management *AS/NZS 4360: Risk Management*. Strathfield, New South Wales: Standards Association of Australia, 1999. 44p.

SWANSON, M. B.; SOCHA, A. C. (Ed.) *Chemical ranking and scoring: guidelines for relative assessments of chemicals.* Pensacola, Florida: Society for Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), 1997. 154p.

TRIVELATO, G. C. *Fatores de risco potenciais para a saúde e proposição de ações visando a proteção da saúde dos trabalhadores da Unidade Resotec- Holcim Brasil. Fábrica de Pedro Leopoldo MG*. Pedro Leopoldo 2003. [Documento Interno]

TRIVELATO, G. C. *Os (des)caminhos e riscos do chumbo no Brasil. Estudo de caso: análise sistêmica da gestão de riscos na reciclagem de baterias chumbo-ácido, 1976-2005.* Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

UNECE – UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE.- *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)*. Second edition, 10 December 2004.

UNITED KINGDOM.ENVIROMENT AGENCY. *Hazardous waste: Interpretation of the definition and classification of hazardous waste*. Second edition. Disponível em: http://www.environment-agency.gov.uk/subjects/waste/1019330/1217981/1384307/

UNITED KINGDOM. *UK National Atmospheric emissions inventory, 2002.* Disponível em: http://www.naei.org.uk

USA - UNITED STATES OF AMERICA. *National emission standards for hazardous air pollutants from hazardous waste combustors*. 40 CFR (Code of Federal Regulations), 40 CFR 63 Subpart EEE.

USA - UNITED STATES OF AMERICA. *National emission standards for hazardous air pollutants from the Portland cement manufacturing industry*. 40 CFR (Code of Federal Regulations), 40 CFR 63 Subpart LLL.

US EPA – Environmental Protection Agency. Office of Air quality planning and Standards. *Emission factor documentation for AP-42 section 11.6, Portland cement manufacturing*. Final report. May, 1994.

VDZ – VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE. *Environmental data of the german cement industry 2001*. Dusseldorf, 2002.

WBCSD – WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *Toward a sustainable cement industry- Substudy 10: Environment, healph & safetyperformance improvement*. December, 2002. Disponível em: http://www.wbcsdcement.org/

WEILER, K.J. e RUSSEL, H.A. *Branchen spezifische Einwirkungsprobleme von Zement, Kalk und Gips auf die Haut.* Dermatosen 28, 182 .1980.

ZOBEL, T.; ALMROTH, C.; BRESKY, J.; BURMAN, J-O. *Identificationand assessmentof environmental aspects in EMS context: an approach to a new reproducible method based on LCA methodology*. Journal of Cleaner Production 10, 381-396, 2002.

.

Apêndices

Apêndice I- Influências dos principais Elemetos Minoritários e Traços na qualidade do produto e processo produtivo

Os impactos dos elementos nas propriedades do cimento e no processo produtivo estão resumidas na tabela I.1. Os efeitos foram retirados de diversos artigos tais como o artigo dos elementos minoritários publicado pela Portland Cement Association.

O Índice de conseqüência foi avaliado através da experiência prática da autora .

Tabela I-0.1- Tabela Influência dos Elementos na qualidade do produto e processo produtivo

Elemento	Influência	Índice de Consequência
F	P- Reduz a temperatura de queima	1
	P- Reduz a viscosidade da fase líquida	1
	P- Reduz fortemente o cal livre	1
	P- Reduz a quantidade de C3S	3
	E-Reduz NOX	1
	Q- Retarda Tempo de Pega	4
Na	P- Aumenta a viscosidade da fase líquida	2
	P- Aumenta o teor de cal livre	2
	P- Se faltar enxofre altera C3A tornando-o mais reativo	1
	Q- Acelera Tempo de Pega	1
	Q- Aumenta resistências 1 e 3 dias (mais importante no Potássio)	1
	Q- Diminui resistência aos 28 dias (mais importante no Potássio)	3
	Q- Contribui fortemente para a reação álcalis agregado se Na2O equi > 0,6 (mais importante no sódio)	4
Mg	P- Reduz a temperatura de queima	1
	P- Reduz a viscosidade da fase líquida	1
	P- Aumenta o cal livre	2
	Q- Melhora a reatividade do C3S	1
	Q- Se quantidades elevadas pode-se ter expansão autoclave devido ao periclásio	3
P	P- Aumenta o teor de cal livre	2
	Q- Retarda a pega	3
	Q- Reduz as resistências finais	3
S	P- Pode aumentar a formação de colagem	4
	P- Aumenta a quantidade de fase líquida	1
	P- Reduz a viscosidade da fase líquida	1
	P- Pode formar anéis no forno	4
	Q- Aumenta a quantidade de C2S	2
	Q- Reduz a quantidade de C3S	2

Continuação da tabela I.1.

Elemento	Influência	Índice de Consequência
Cl	P- Forma sais solúveis de cloreto de sódio e de potássio que formam ciclos. Aumento do fenômeno de circulação.	4
	P- Pode reduzir cal livre	1
	P- Prode causar problemas de corrosão, filtros, destruição de refratários	4
	P- Pode causar corrosão do casco do forno e ataque os analisadores de gases.	4
	E- Emissão de ácido clorídrico.	4
K	P- Aumenta a viscosidade da fase líquida	2
	P- Aumenta o teor de cal livre	2
	P- Se faltar enxofre altera C3A tornando-o mais reativo	1
	Q- Acelera o Tempo de Pega	1
	Q- Aumenta resistências 1 e 3 dias (mais importante no Potássio)	1
	Q- Diminui resistência aos 28 dias (mais importante no Potássio)	3
	Q- Contribui fortemente para a reação álcalis agregado se Na2O equi > 0,6 (mais importante no sódio)	4
Ti	P- Reduz a temperatura de queima	1
	P- Reduz a viscosidade da fase líquida	1
	P- Reduz Cal livre	1
	Q- Aumenta as Resistências	1
V	P- Reduz a temperatura de queima	1
	P- Reduz a viscosidade da fase líquida	1
	P- Reduz Cal livre	1
	Q- Aumenta as Resistências	1
Cr	P- Reduz a temperatura de queima	1
	P- Reduz a viscosidade da fase líquida	1
	P- Reduz Cal livre	1
	Q- Aumenta as Resistências Finais e Diminui as Resistências Iniciais	2
	S- No cimento problema de eczema	4

Continuação da tabela I.1.

Elemento	Influência	Índice de Consequência
Mn	P- Reduz a temperatura de queima	1
	P- Reduz a viscosidade da fase líquida	1
	P- Reduz Cal livre	1
	Q- Aumenta as resistências	1
	Q- Pode afetar a cor do cimento	3
Co	P- Reduz a temperatura de queima	1
	P- Reduz a viscosidade da fase líquida	1
	P- Reduz a Reatividade do C3S	2
	Q- Pode afetar a cor do cimento	3
Ni	P- Reduz a temperatura de queima	1
	P- Reduz a viscosidade da fase líquida	1
	Q- Estabiliza a alita podendo aumentar as resistências	1
Cu	P- Aumenta a temperatura de fusão da fase líquida	2
	P- Aumenta a temperatura de queima	2
	P- Em condições oxidantes acelera a formação do C3S	1
	P- Em condições redutoras reduz a formação do C3S	2
	E- Catalisador da reação de dioxinas e furanos	4
Zn	P- Reduz a viscosidade da fase líquida	1
	P- Reduz Cal livre	1
	Q- Reduz a Resistência	3
	Q- Retarda Fortemente a pega	4
As	Q- Retarda ligeiramente a hidratação de pasta quando As2O3 é adicionado acima de 5%	2
	Q – Lixiviação do cromo no concreto é muito lenta	2
Se	P- Aumenta Fenômeno de circulação	
Sr	Q- Aumenta a formação de cal livre	2
	Q- Reduz a Resistência	2
Mo	P- Reduz a viscosidade da fase líquida	1
Cd	P- Concentração de Cd no clínquer diminui com o aumento crescente do cloro	3
	P- Reduz a temperatura de queima	1

Continuação da tabela I.1.

Elemento	Influência	Índice de Consequência
Sb	P- Forma antimoniatos de cálcio voláteis.	4
Te	P- Aumenta Fenômeno de circulação	4
Ba	P- Aumenta o teor Cal livre	2
	Q- Aumeta a Resistência	1
	Q- Melhora Reatividade do C3S	1
Tl	P- Concentra-se no pó de retorno. Fenômeno de Circulação	4
Pb	Q- Retarda a Hidratação da Pasta	2
	Q- Aumenta a Trabalhabilidade	1

Legenda:

P- Processo produtivo

Q- Qualidade do Produto

E- Meio Ambiente

Apêndice II- Metodologia para definição das Frases de Qualidade (Frases Q) e Frases de Processo (Frases P)

As frases de qualidade com os seus respectivos índices de consequência estão resumidas na tabela II.2.

Tabela II-0.1- Frases de Qualidade e índice de conseqüência

Frases de Qualidade	Descrição	Índice de Consequência
Q1	Retarda Tempo de Pega	4
Q2	Acelera Tempo de Pega	1
Q3	Aumenta as resistências iniciais (1 e 3 dias)	1
Q4	Diminui a resistência final (aos 28 dias)	3
Q5	Q- Contribui fortemente para a reação álcalis agregado se Na2O equi > 0,6	4
Q6	Melhora a reatividade do C3S	1
Q7	Se quantidades elevadas pode-se ter expansão autoclave	3
Q8	Aumenta o teor de cal livre	2
Q9	Aumenta a quantidade de C2S	2
Q10	Reduz a quantidade de C3S	2
Q11	Aumenta as resistências	1
Q12	Aumenta as Resistências Finais e Diminui as Resistências Iniciais	2
Q13	Pode afetar a cor do cimento	3
Q14	Estabiliza a alita podendo aumentar as resistências	1
Q15	Reduz as Resistências	3
Q16	Retarda ligeiramente a hidratação de pasta	2
Q17	Melhora Reatividade do C3S	1
Q18	Retarda a Hidratação da Pasta	2
Q19	Aumenta a Trabalhabilidade	1

As frases de processo com os seus respectivos índices de consequência estão resumidas na tabela II.3.

Tabela II-0.2 - Frases de processo e índice de conseqüência

Frases de Processo	Descrição	Índice de consequência
P1	Reduz a temperatura de queima	1
P2	Reduz a viscosidade da fase líquida	1
P3	Reduz o teor de cal livre	1
P4	Reduz a quantidade de C3S	3
P5	Aumenta a viscosidade da fase líquida	2
P6	Aumenta o teor de cal livre	2
P7	Se faltar enxofre altera C3A tornando-o mais reativo	1
P8	Pode aumentar a formação de colagem	4
P9	Aumenta a quantidade de fase líquida	1
P10	Pode formar anéis no forno	4
P11	Forma sais solúveis de cloreto de sódio e de potássio que formam ciclos. Aumento do fenômeno de circulação.	4
P12	Pode causar problemas de corrosão, filtros, destruição de refratários	4
P13	Pode causar corrosão do casco do forno e ataque os analisadores de gases.	4
P14	Reduz a Reatividade do C3S	2
P15	Aumenta a temperatura de fusão da fase líquida	2
P16	Aumenta a temperatura de queima	2
P17	Em condições oxidantes acelera a formação do C3S	1
P18	Em condições redutoras reduz a formação do C3S	2
P19	Aumenta Fenômeno de circulação	4
P20	Concentração de Cd no clínquer diminui com o aumento crescente do cloro	3
P21	Forma antimoniatos de cálcio voláteis.	4
P22	Aumenta Fenômeno de circulação	4
P23	Aumenta o teor Cal livre	2
P24	Concentra-se no pó de retorno. Fenômeno de Circulação	4