

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais
(PPGEM)

ESTUDO DE LIBERAÇÃO DO CARVÃO DE CANDIOTA-RS, VISANDO SEU
BENEFICIAMENTO

DAVID SELEMANE JOSÉ

Dissertação para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

Porto Alegre, Dezembro de 2011

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais
(PPGEM)

ESTUDO DE LIBERAÇÃO DO CARVÃO DE CANDIOTA-RS, VISANDO SEU
BENEFICIAMENTO

DAVID SELEMANE JOSÉ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM) como parte dos requisitos para a obtenção do título de *Mestre em Engenharia*.

Área de Concentração: Tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia Extrativa

Porto Alegre, Dezembro de 2011

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração Tecnologia Mineral Ambiental e Metalurgia Extrativa e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Hoffmann Sampaio, UFRGS

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Otávio Petter- Prof. PPGEM/UFRGS

Prof. Dr. Irineu Antônio Schadach de Brum, UFRGS

Dr. Gerson Miltzarek- Pesquisador da CNPq

Professor Telmo Strohaecker

Coordenador do PPGEM-UFRGS

Porto Alegre, Dezembro de 2011

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha mãe (*in memoriam*).

“Há uns que nos falam e não ouvimos; há uns que nos tocam e não sentimos; há aqueles que nos ferem e nem cicatrizes deixam, mas... há aqueles que simplesmente vivem e nos marcam por toda vida”.

Hannah Arendt.

AGRADECIMENTOS

O Autor agradece as identidades e pessoas abaixo relacionadas, que foram fundamentais para a realização e concretização desta dissertação.

Em primeiro lugar ao meu orientador Professor Doutor Carlos Hoffmann Sampaio, pelas diretrizes em todo o momento durante os meus estudos, pelas valiosas informações e sugestões técnicas, sem as quais o trabalho não teria sucesso, e por ter acreditado em mim e pela confiança depositada durante a realização do mestrado.

Em segundo lugar agradeço a todos os membros da banca examinadora pela disponibilidade de tempo e as suas críticas que contribuíram no melhoramento do trabalho; desde já adianto os meus profundos e sinceros agradecimentos.

A Doutoranda Karime Ferreira de Souza pela paciência, amizade incondicional e prontidão no fornecimento de dados para a realização deste trabalho, sem ela seria quase impossível à efetivação deste trabalho.

A Professora Doutora Rejane, que sempre me incentivou durante a realização do mestrado.

A Professora Doutora Carla Schwengber ten Caten Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, pela interpretação dos dados do artigo escrito sobre o carvão de Candiota, no âmbito da disciplina de Projeto de Experimentos e pela sua atenção, paciência durante as aulas.

Ao Engenheiro Norton Ferreira Feil, pela amizade incondicional e suas valiosas contribuições.

A todos os professores do Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, pelo apoio prestado sempre que fosse solicitado.

A todos meus colegas de Mestrado e Doutorado, pelas sugestões e idéias discutidas durante a frequência do mestrado; em especial ao mestrando Cassiano Rossi dos Santos e; em particular ao Doutorando Ítalo Gomes Gonçalves.

A todos os bolsistas de iniciação científica inscritos no LAPROM pelo apoio e convivência agradável.

Aos funcionários da secretaria da Pós-graduação em Engenharia de Minas e Metalúrgica, pelo atendimento incondicional na orientação e enquadramento, em especial a secretaria do programa de Pós-Graduação Beatriz Maria Ferraz e a Marta Kizonde.

À empresa VALE (empresa Brasileira) por ter subsidiado a bolsa de mestrado durante os dois anos da minha formação.

A CNPq (Brasil) pela oportunidade, junto ao Ministério de Ciência e tecnologia da República de Moçambique (MCT).

Ao Instituto Superior Politécnico de Tete (ISPT), na pessoa do Diretor Geral, pela assinatura da carta de autorização para a continuação dos estudos de Pós-graduação.

Aos meus familiares em geral, que durante os dois anos, estiveram torcendo por um final feliz e que acreditaram e confiaram em mim, dando-me forças em todo tempo.

A todas aquelas pessoas e identidades que não foram acima citadas, mas que contribuíram de uma ou de outra forma para a concretização dessa importante etapa da vida acadêmica do autor, a todos;

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XIII
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XVI
RESUMO	XVIII
ABSTRACT	XIX
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 O objetivos	2
1.2 Justificativa do trabalho	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Localização geográfica das maiores jazidas de carvão no Brasil	3
2.2 Localização geográfica da região de estudo	4
2.3 Carvão mineral, generalidades.....	5
2.4 Clima.....	6
2.5 Depósitos, sua origem.....	7
2.6 Ambiente deposicional	7
2.7 Propriedades petrográficas.....	9
2.8 Identificação dos principais constituintes do carvão mineral	9
2.8.1 Vitrinita	9
2.8.2 Liptinita	9
2.8.3 Exinita	10
2.9 Caracterização química do carvão	12
2.10 Classificação dos carvões pelo seu rank	12
2.11 Qualidade dos carvões.....	14

2.12	Evolução e desenvolvimento da flora	15
2.13	Geologia do carvão, generalidades.....	16
2.14	Carvões Gonduânicos.....	17
2.15	Formação dos carvões brasileiros	19
2.16	Bacia carbonífera do Rio Grande do Sul.....	20
2.17	Classificação e gênese dos carvões brasileiros	21
2.18	Tipos de depósitos.....	22
2.19	Carvão no mundo	22
2.20	Reservas de carvão no mundo.....	24
2.21	Beneficiamento do carvão	25
2.22	Caracterização para o beneficiamento gravimétrico de carvões	26
2.23	Processo de beneficiamento do carvão mineral	28
2.24	Circuitos de processamento e malhas ótimas de cominuição	29
2.25	Critérios para a seleção de equipamentos	30
2.26	Relevância do tamanho de partícula, custo e eficiência na escolha do processo de beneficiamento gravimétrico	31
2.27	Aplicabilidade do carvão mineral	31
2.28	Aspectos ambientais, generalidades.....	32
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
3.1	Material.....	34
3.2	Metodologia	34
3.3	Elaboração de tabelas comparativas para o beneficiamento.....	34
3.4	Cálculo da recuperação das massas teóricas nas camadas de carvão	39
3.5	Elaboração de fluxogramas de beneficiamento	39
3.6	Cálculo da recuperação mássica e teor de cinzas.....	41
3.7	Curvas médias dos flutuados, afundados , densimétricas e de NGM	42
4.	DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	44

4.1 Tabelas comparativas para o beneficiamento	44
4.2 Cálculo da massa teórica das camadas dos furos de carvão de Candiota	50
4.3 Cálculo da massa teórica das camadas dos furos. Cortes de 35, 42 e 48% de teores de cinzas.....	55
3.4 Fluxogramas de beneficiamento	61
3.4 Cálculo da média ponderada.....	76
3.6. Curvas médias das camadas superiores e inferiores	84
5. CONCLUSÕES	88
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
ANEXOS	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização geográfica de jazidas de carvão no Brasil, adaptado de W. Kalkreuth et al. <i>Jornal internacional de geologia do carvão</i> . [v. 68 de (2006) 79–116]. 4	
Figura 2: Localização geográfica dos furos de carvão da Região de estudo CRM, malha VII [FONTE: by Karime Ferreira de Souza].....	5
Figura 3: Curva densimétrica de um carvão brasileiro. [Henry – Reinhardt. <i>apud</i> Sampaio, 2002].....	27
Figura 4: Curva dos flutuados e curva dos afundados de um carvão brasileiro [Henry–Reinhardt <i>apud</i> Sampaio, 2002].	27
Figura 5: Curvas dos flutuados e afundados usadas para o cálculo das suas respectivas massas. Fração -25,4 +2,0 mm. [FONTE: Karime Ferreira de Souza, 2011].	35
Figura 6: Curva densimétrica e NGM. Fração -25,4 +2,0 mm. [FONTE : Karime Ferreira de Souza, 2011].....	36
Figura 7: Curva dos flutuados e afundados usadas para o cálculo das suas respectivas massas. Fração -2,0 +0,1 mm. [FONTE: Karime Ferreira de Souza, 2011].	36
Figura 8: Curvas densimétrica e de NGM. Fração -2,0 +0,1 mm. [Adaptado: Karime Ferreira de Souza, 2011].....	37
Figura 9: Curva dos flutuados para determinar o teor de enxofre total da camada I1 na fração -25,4 +2,0 mm. [Adaptado: Karime Ferreira de Souza, 2011].....	38
Figura 10: Curva dos flutuados para determinar o teor de enxofre total da camada I1 na fração -2,0 +0,1 mm. [Adaptado: Karime Ferreira de Souza, 2011].....	38
Figura 11: Fluxograma da camada superior 5 para corte de 35% de cinzas.	62
Figura 12: Fluxograma da camada superior 8, corte de 35% de cinzas.	63
Figura 13: Fluxograma da camada Banco Louco (BL), no corte de 35% de cinzas.	64
Figura 14: Fluxograma da camada inferior 2 corte de 35% de cinzas.	65
Figura 15: Fluxograma da camada inferior 4, corte de 35% de cinzas.	66
Figura 16: Fluxograma da camada superior 5, corte de 42% de cinzas.	67
Figura 17: Fluxograma da camada superior 8, corte de 42% de cinzas.	68
Figura 18: Fluxograma da camada superior 8, corte de 42% de cinzas.	69
Figura 19: Fluxograma da camada inferior 2, corte de 42% de cinzas.	70

Figura 20: Fluxograma da camada inferior 4, corte de 42% de cinzas.	71
Figura 21: Fluxograma da camada superior 5, corte de 48% de cinzas.	72
Figura 22: Fluxograma da camada superior 8, corte de 48% de cinzas.	73
Figura 23: Fluxograma da camada Banco Louco (BL), corte de 48% de cinzas.	74
Figura 24: Fluxograma da camada superior 2, corte de 48% de cinzas.	75
Figura 25: Fluxograma da camada inferior 4, corte de 48% de cinzas.	76
Figura 26: Curva média dos flutuados e afundados e Curva média densimétrica e NGM. Blendagem das camadas inferiores de I1 a I5.	84
Figura 27: Curva média dos flutuados e afundados e Curva média densimétrica e NGM. Blendagem das camadas inferiores de I1 a I5	85
Figura 28: Curva média dos flutuados e afundados e Curva média densimétrica e NGM. Blendagem das camadas superiores de S2 a BL.....	86
Figura 29: Curva média dos flutuados e afundados e Curva média densimétrica e NGM. Blendagem das camadas superiores de S2 a BL.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros do <i>rank</i> do carvão. Adaptado. [Diessel,1992].	13
Tabela 2: Reservas ao longo dos Períodos geológicos. [Jablonski, Apud Pacheco 2008].	19
Tabela 3: Distribuição global de energia por recurso. Adaptado [Borba, 2001].	23
Tabela 4: Disponibilidade de carvão em termos de reservas mundiais. Adaptado:[Departamento de Informação sobre Energia 2006].	24
Tabela 5: Tabela comparativa para um possível beneficiamento gravimétrico da camada II. Fração -25,4 + 2,0 mm.	39
Tabela 6: Cálculo da massa teórica do concentrado e rejeito, na fração -25,4 +2,0 mm. Furo 364 – camadas S5, S8, BL, I2 e I4.	40
Tabela 7: Recuperação teórica do concentrado e rejeito na fração -2,0 +0,1 mm. Furo 364 – camadas S5, S8, BL, I2 e I4.	41
Tabela 8: Escala de valores do NGM. Modificado: [Bird, <i>apud</i> Sampaio e Tavares, 2005].	44
Tabela 9: Tabela comparativa para beneficiamento. Corte em 35% de cinzas.	45
Tabela 10: Tabela comparativa para o beneficiamento. Corte de 35% de cinzas.	46
Tabela 11: Tabela comparativa para o beneficiamento. Corte em 42% de cinzas.	47
Tabela 12: Tabela comparativa para o beneficiamento. Corte em 42% de cinzas. Fração -2,0 +0,1 mm.	48
Tabela 13: Tabela comparativa para o beneficiamento. Corte em 42% de cinzas. Fração -25,4 +2,0 mm.	49
Tabela 14: Tabela comparativa para o beneficiamento. Corte em 42% de cinzas. Fração -2,0 +0,1 mm.	50
Tabela 15: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão - Furo 364.	51
Tabela 16: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão - Furo 365.	51
Tabela 17: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão - Furo 366.	52
Tabela 18: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão- Furo 368.	52
Tabela 19: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão- Furo 369.	53

Tabela 20: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão- Furo 370.	53
Tabela 21: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão - Furo 371.	54
Tabela 22: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão - Furo 372.	55
Tabela 23: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão furo 364, corte 35% de cinzas. Fração -25,4 +2,0 mm.	56
Tabela 24: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão furo 364, corte 35% de cinzas. Fração -2,0 +0,1 mm.	57
Tabela 25: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão furo 364, corte 42% de Cz . Fração -25,4 +2,0 mm.	58
Tabela 26: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão furo 364, corte 42% de cinzas. Fração -2,0 +0,1 mm.	59
Tabela 27: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão furo 364, corte 48% de cinzas. Fração -25,4 +2,0 mm.	60
Tabela 28: Cálculo da massa teórica de carvão furo 364, corte 48% de cinzas.	61
Tabela 29 Tabela: Dados usados para o cálculo da média ponderada de camadas inferiores.	78
Tabela 30: Dados usados para o cálculo da média ponderada de camadas inferiores....	79
Tabela 31: Dados usados para o cálculo da média ponderada de camadas superiores. .	80
Tabela 32: Dados usados para o cálculo da média ponderada de camadas superiores. .	82

LISTA DE SÍMBOLOS

°C: grau Celsius

cm: centímetros

CO₂: Dióxido de carbono

g/cm³: gramas por centímetros cúbicos

J/kg: Joule por quilograma.

m: metros

mm: milímetros

m³/t: metros cúbicos por toneladas

Mk/kg: Mega caloria por quilograma

MJ/kg: Mega joule por quilograma

t/m²: toneladas por metros quadrados

Km: quilómetros

km²: quilómetros quadrados

LISTA DE ABREVIATURAS

A: teor de cinzas em sua composição

Atm: atmosfera

ASTM: Sociedade Americana de normalização e Testes de materiais

CE: Carvão Energético

CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CRM: Companhia Riograndese de Mineração

Cfix: Carbono fixo

CGTEE: Companhia de Geração Térmica de Energia

Cz: teor de cinzas.

DOE: Departamento de Energia

et. al.: entre outros autores

et al., apud.: citado por outro autor

ISPT: Instituto Superior Politécnico de Tete

ICCP: Comitê Internacional de Carvão e Petrologia Orgânica

LAPROM: Laboratório de Processamento Mineral

MCT: Ministério da Ciência e Tecnologia de Moçambique

MV: Matéria Volátil

Mvbasic: Matéria volátil base seca

MW: Mega Watts.

NGM: *Near gravity Material*- grau de dificuldade no beneficiamento gravimétrico de um determinado carvão

OECD : Organização de Cooperação e de Desenvolvimento e Económico da Europa e Euroásia

(% Rm): Poder refletor da vitrinita

PPGEM: Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais

(Q): Poder calorífico do carvão

ROM: *run-of-mine*- Minério bruto não beneficiado

RS: Estado do Rio Grande do Sul

S: teor de enxofre na sua composição

SSM: Seival Sul Mineração

S.A: Sociedade Anônima

U: Umidade

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UTE: Unidade de Transmissão de Energia

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo à caracterização do carvão de Candiota visando seu beneficiamento. A caracterização do carvão para o seu beneficiamento tem sido de grande importância hoje, uma vez que este recurso mineral representa uma alternativa energética em todo o mundo.

Entretanto, a previsão de um bom aproveitamento deste recurso mineral, não passa da necessidade da sua caracterização efetiva.

O beneficiamento do carvão tem por objetivo promover a redução do teor de cinza, o aumento do teor da matéria carbonosa e conseqüentemente, do poder calorífico. Além disso, promove a redução do teor de enxofre e a obtenção de granulometrias adequadas às especificações industriais, visando a sua utilização em função das necessidades do mercado consumidor.

Para a caracterização do carvão de Candiota para este estudo foram elaboradas tabelas comparativas de todas as camadas divididas em dois grupos: camadas inferiores e superiores nos furos 364, 365, 366, 368, 369, 670, 371 e 372.

Devido às exigências mínimas no conteúdo de teor de cinzas no carvão mineral para o seu uso no mercado consumidor, foram pré-definidos três cortes de cinzas em 35, 42 e 48 %.

Para alcançar o objetivo proposto, foi calculado para todas as camadas presentes nos furos anteriormente referidos, o concentrado e o respectivo rejeito. Também foi calculada para cada camada a recuperação mássica teórica, média ponderada nas frações -25,4 +2,0 mm e -2,0 +0,1mm respectivamente. A fração fina de -0,1 mm foi considerada para descarte.

Igualmente foram elaborados os fluxogramas de beneficiamento para todas as camadas do carvão nos furos anteriormente referidos, assim como as suas respectivas curvas médias de blendagem. Não foram usados métodos estatísticos para este estudo, nem a previsão de maior recuperação usando as curvas tromp ou de erro, em contra partida foram elaboradas as curvas médias nas blendagens das camadas inferiores e superiores incluindo neste último a camada Banco Louco.

Palavras-Chave: Carvão mineral, beneficiamento, camadas inferiores e superiores.

ABSTRACT

This study aims to characterize the Candiota coal processing your order. The characterization of coal to its processing has been of great importance today, since this non-renewable mineral resource represents an alternative energy source worldwide. However, the forecast of a good use of this mineral resource is but need for effective characterization.

The beneficiation of coal aims to promote the reduction of ash content, the increase in content of carbonaceous matter and therefore, the calorific value. It also promotes the reduction of sulfur content and particle size appropriate for obtaining industrial specification for their application to the needs of the consumer market.

For the characterization of coal Candiota for this study were prepared comparative tables of all seams divided in two groups: lower and upper seams in the holes 364, 365, 366, 368, 369, 370, 371 and 372.

Due to the specification, the minimum content of ash content in coal for use in the market, were pre-defined three of ash 35, 42 and 48%.

To achieve the proposed objective, was calculated for all seams in the holes previously mentioned, its concentrate and their waste. Was also calculated for each seams theoretical mass recovery ash content, calculate the weighted average fractions -25,4 +2,0 mm and -2,0 +0,1 mm respectively. The fine fraction of -0,1 mm was considered for disposal.

Also were prepared flowcharts of processing for all seams of coal holes mentioned above, as well as their respective average curves blending. No statistical methods were used for this study, neither the higher recovery prediction curves using tromp or error, starting from the average curves were prepared in blends of lower and upper seams including the discontinuous seam.

Keywords: Coal mining, beneficiation, lower and upper seams.

1. INTRODUÇÃO

O beneficiamento de carvão mineral consiste numa série de processos que visam à redução da matéria inorgânica, tais como rocha (estéril) e impurezas, existente no carvão a fim de melhorar sua qualidade. O carvão bruto não beneficiado, obtido diretamente da mina, é denominado de minério *run-of-mine* (ROM).

Por outras palavras, o beneficiamento de carvão, se refere ao tratamento dado ao carvão ROM, logo após sua extração, a fim de assegurar a qualidade do mesmo e aumentar sua potencialidade para o uso. O tratamento depende das propriedades do carvão e de seu uso pretendido, podendo exigir uma simples lavagem/moagem ou necessitar de processos mais complexos de tratamento.

Na atualidade, a mineração de carvão é uma atividade de grande importância para a economia nacional brasileira, não só, mas também para muitos países do mundo em vias de desenvolvimento. A escassez de energia elétrica aliada à menor disponibilidade de recursos hídricos faz com que a geração de energia térmica passe a ser um dos focos principais das possibilidades de expansão do sistema elétrico nacional e internacional. A expansão e aumento da produção de energia no Brasil são de suma importância para atender a necessidade de crescimento econômico que tem se registrado nos últimos anos.

Entre os recursos energéticos não renováveis, o carvão mineral ocupa a primeira colocação tanto em abundância, quanto em perspectiva de vida útil; considerado, portanto, a mais importante reserva energética mundial a longo prazo. Sua demanda atual está aumentando consideravelmente, com o objetivo de abastecer novas usinas termelétricas.

No Brasil, os maiores depósitos deste recurso mineral, encontram-se situados no Sul do país, concretamente nos estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul; o objeto de estudo para este trabalho é para a jazida de Candiota, onde se encontra a maior reserva minerada atualmente pela Companhia Riograndese de Mineração – CRM, no estado do Rio Grande do Sul, Pires e Querol (2004), Sampaio *et al.* (2008).

A Companhia Riograndesse de Mineração (CRM) vem minerando a céu aberto na região de Candiota desde 1961, objetivando a produção de carvão termelétrico. A produção, hoje estima-se na faixa de 1,7 milhões de toneladas de carvão por ano, abastecendo assim a Usina termelétrica Presidente Médici, de 446MW instalados.

1.1 O objetivos

- **Geral:** O objetivo geral deste trabalho é o estudo de liberação do carvão de Candiota visando seu beneficiamento.

- **Específico:** A partir dos cortes de pré-definidos de 35, 42 e 48% de teores de cinzas, segundo as especificações do mercado, elaborar as tabelas comparativas para seu beneficiamento; e a partir destes cortes determinar o concentrado e o rejeito em cada uma das camadas presentes na região em estudo.

- Realizar o cálculo da massa teórica das camadas dos 8 furos da região de Candiota.

- Elaborar os fluxogramas para todas as camadas em relação à massa teórica do concentrado e rejeito.

- Calcular a média ponderada das camadas superiores e inferiores.

- Realizar as curvas médias de blendagem das camadas superiores e inferiores nas frações de -25,4 +2,0 mm e -2,0 +0,1 mm.

- Finalmente interpretar os resultados.

1.2 Justificativa do trabalho

Pela maior procura de energia elétrica no mundo, cresce a importância do carvão mineral na atualidade, aumentando-se assim as necessidades de investimentos em otimização de tecnologias com o propósito de se conhecer ainda mais em detalhe as características fundamentais deste recurso mineral para a sua utilização seja nas indústrias siderúrgicas como nas termoelétricas; para queima ou para uso em altos fornos. Nesse contexto se justifica a necessidade deste estudo com o intuito de descrever ainda mais as características gerais dos carvões brasileiros em particular os de Candiota pela sua importância econômica, social que apresenta, na contribuição para a redução da demanda de energia elétrica no país e em particular no estado do Rio Grande do Sul.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Localização geográfica das maiores jazidas de carvão no Brasil

Segundo Tractebel Energia Suez (2008), se referindo as maiores jazidas no país, afirma que os maiores depósitos de carvão do Brasil situam-se nos estados de Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, totalizando 32,5 bilhões de toneladas.

Distribuem-se em 8 grandes jazidas, 7 das quais no estado do Rio Grande do Sul e 1 no estado de Santa Catarina .

Por outro lado Gomes (2002), afirma que cerca de 88% dos recursos localizam-se no Estado do Rio Grande do Sul. Os jazimentos mais importantes se estendem de Sudoeste para Nordeste: Candiota, Capané, Iruí, Leão, Charqueadas, Morungava/Chico Lamã, Santa Teresinha, e Jazida Sul - Catarinense. Candiota é a maior jazida de carvão do Brasil, com 38% dos recursos totais conhecidos. O Rio Grande do Sul é o estado que possui as maiores reservas geológicas, seguido por Santa Catarina e depois pelo Paraná.

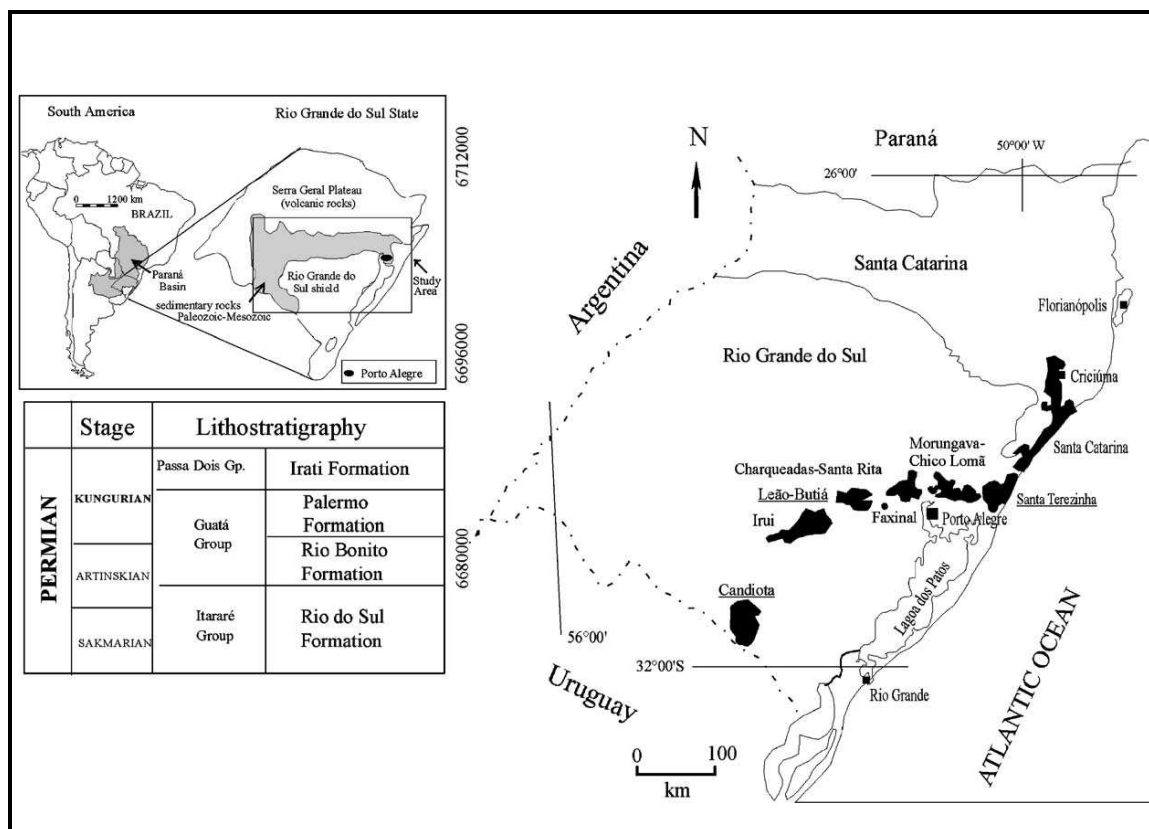


Figura 1: Localização geográfica de jazidas de carvão no Brasil, adaptado de W. Kalkreuth et al. *Jornal internacional de geologia do carvão* [v. 68 de (2006) 79–116].

2.2 Localização geográfica da região de estudo

A área de estudo se enquadra no Município de Candiota, na jazida do mesmo nome localizada a 400 km de Porto Alegre, no sudoeste do Rio Grande do Sul, com uma área de 430 km².

Segundo Gomes (2002), a área da jazida de Candiota atinge 2 mil km², com 23 camadas das quais a de Candiota é a mais relevante. Sua espessura média (camada total) é de aproximadamente 4,5 metros, localmente ultrapassando os 6 metros. Junto as camadas Candiota inferiores I1 e I2 contém 90% dos recursos. A lavra da camada Candiota é de baixo custo e custo industrial difícil e dispendioso nas opções tecnológicas atualmente adotadas. Os recursos totais atingem 12,3 bilhões de toneladas, até 50 metros de cobertura. A jazida de Candiota, está sendo lavrada pela Companhia Riograndese de Mineração (CRM), a céu aberto, numa Mina mecanizada com capacidade de 2x10⁶ toneladas de carvão ROM por ano, que supre de combustível a

Unidade Transmissão de Energia (UTE) Presidente Médici, da Companhia de Geração Térmica de Energia (CGTEE). A Seival Sul Mineração (SSM), detém a concessão e o projeto da mina de Seival, na porção da jazida ao Norte da mina da CRM.

Ainda Gomes (2002) a Mina de Candiota atinge em relação as suas reservas totais de carvão de 1.363.299.000 toneladas, e produz cerca de $1,7 \times 10^6$ toneladas por ano. Sendo a maior jazida de carvão do país, tendo uma participação de 55% das reservas medidas totais.

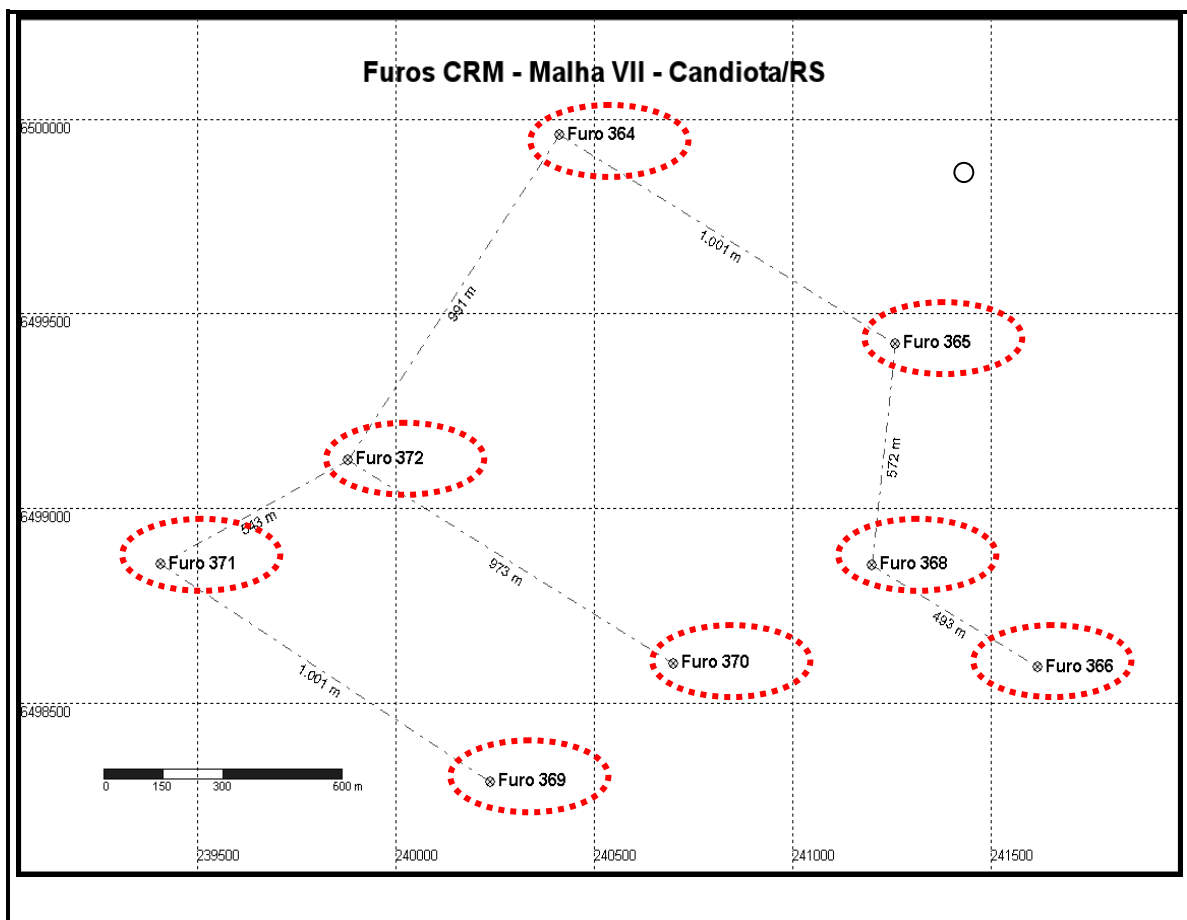


Figura 2: Localização geográfica dos furos de carvão da Região de estudo CRM, malha VII [FONTE: by Karime Ferreira de Souza]

2.3 Carvão mineral, generalidades

Segundo Laus *et al.* (2006), o carvão mineral é uma rocha sedimentar, combustível fóssil sólida formada a partir da matéria orgânica de vegetais depositados

em bacias sedimentares. Por ação de pressão e temperatura em ambiente sem contato com o ar, em decorrência de soterramento e atividade orgânica, os restos vegetais ao longo do tempo geológico se solidificam, perdem oxigênio e hidrogênio se enriquecendo em carbono por um processo denominado carbonificação. Quanto mais intensas a pressão e a temperatura a que a camada de matéria vegetal for submetida, e quanto mais tempo durar o processo, mais alto será seu grau de carbonificação e maior a qualidade do carvão.

2.4 Clima

Teichmüller *et al. apud* Pacheco (2008), no carbonífero superior, as turfas predominavam nas zonas de clima quente e úmido, formando depósitos ricos em carvões. Contudo, no Hemisfério Sul existem depósitos de carvão que se acumularam em clima temperado úmido ou mesmo em clima frio, por exemplo, os carvões gonduânicos do Permiano inter e pós-glacial.

Ainda Teichmüller (1975), refere que as jazidas de carvão que foram depositadas em climas úmidos e quentes contêm bandas largas de carvão brilhantes, originadas de troncos grossos. Por outro lado, as jazidas que se originaram em climas temperados ou frios contêm relativamente pouco carvão brilhante. Por exemplo, os carvões gonduânicos pós-glaciais, que freqüentemente se formaram a partir de uma flora relativamente raquítica, são os finos dentríticos. Os argilominerais, que são típicos destes carvões, podem ter sido carregados para dentro dos pântanos, quase sem árvores, a partir de montanhas circundantes que ainda eram desprovidas de vegetação. Com o aumento do calor, não somente a planta cresce como também a taxa de decomposição aumenta. Conseqüentemente, até poucas décadas atrás, pensava-se que turfas só atingiam grandes espessuras em zonas temperadas. Mais recentemente, contudo, as grandes áreas pantanosas com espessuras de turfa de mais de 30 metros têm sido descobertas nos trópicos.

Enquanto ao clima, sabe-se que quanto mais quente e úmido o clima, mais exuberante é a flora, e os pântanos de florestas se tornam mais dominantes em

relação aos pântanos de juncos e musgos. Um pântano tropical se renova em 7 a 9 anos, e, durante, este tempo as árvores podem atingir até 30 metros de altura.

2.5 Depósitos, sua origem

Segundo Teichmüller (1975), o carvão se origina a partir da turfa depositada em pântanos e para tal é necessário conhecer a evolução e desenvolvimento da flora, o clima e do ambiente deposicional. Os depósitos foram originados por vegetais que soterrados e na ausência de ar, sofreram transformações, principalmente geológicas, a medida do incremento da temperatura $>$ de 100°C e pressões (até 1500 atm), a matéria orgânica foi se transformando em combustível através de variados e alternados estágios, originando assim a turfa até o antracito. A formação dos carvões em seu primeiro estágio evolutivo pode ser observada nos dias de hoje com a formação das turfas nas turfeiras em pântanos e planícies costeiras. A qualidade dos carvões depende então da natureza da matéria vegetal, desenvolvimento evolutivo da flora, clima, da localização geográfica e da evolução geológica da região taxa de deposição sedimentar, subsidência, transformações físico-químicas, carbonificação e quando mais perto do antracito estiver um carvão, melhor será o seu grau de carbonificação.

2.6 Ambiente deposicional

De acordo com Bustin *et al. apud* Pacheco (2008), refere que a grande distribuição lateral, a espessura, a composição e a qualidade do carvão são determinadas pelo ambiente de deposição. A formação e preservação de significantes depósitos de turfa requerem um ambiente de alta produtividade orgânica e uma subsidência contínua e lenta, próxima da superfície da água subterrânea ou da superfície da turfa, no qual o pântano de turfa é protegido por longos períodos da invasão de águas marinhas ou por afluência de sedimentos clásticos. Esta condição aparentemente ocorreu no passado e também no presente em ambientes de *paralic* (costa marinha) ou *limnic*, que são áreas relativamente

estáveis tectonicamente, tal como, a bacia intracratônica. Os depósitos de carvão podem ser considerados de dois níveis descritos a seguir:

- Macroscópica – em que a sedimentologia do carvão, na sua fase inicial (turfa) é colocada na perspectiva do ambiente de sedimentação;
- Microscópica – realiza-se uma tentativa de interpretar a sedimentologia existente nas turfeiras, nos pântanos e nos charcos que geralmente envolvem estudos detalhados de carvão mineral.

Para Rigotti (2002), num ambiente deposicional protegido da ação do oxigênio do ar, os restos vegetais sofrem decomposição parcial, seguida de ação bacteriana bem como de pressões de camadas sobrepostas e de calor (geotérmico e de intrusões ígneas). A matéria vegetal que dá origem ao carvão foi depositada em águas relativamente rasas. Para que venham a formar-se camadas de carvão suficientemente espessas de aproveitamento econômico, a bacia de deposição deve sofrer lento rebaixamento (subsidência). Desse modo, a espessura da lâmina de água mantém mais ou menos constante, pois à medida que são depositados os restos vegetais que tendem a produzir o assoreamento (inchamento) da bacia, verifica-se igualmente a subsidência desta de modo que a profundidade da água permanece mais ou menos constante.

Ainda Rigotti (2002), afirma que nas bacias carboníferas sul - brasileiras as profundidades a que se encontram as camadas de carvão atingem a mais de 900 m na região de Araraguá, enquanto que as de Leão II, cerca de 200 m, e afloram, em parte, nos Municípios de Minas do Leão, Butiá e Candiota, como resultado do balanço erosão/ deposição na crosta terrestre, localmente afetado pelos falhamentos.

Estas características explicam então as diferenças existentes entre os carvões e distintas bacias e diferentes histórias geológicas dos jazimentos, assim como as potencialidades na geração de energia sendo esta uma das grandes aplicações deste combustível.

2.7 Propriedades petrográficas

2.8 Identificação dos principais constituintes do carvão mineral

Os principais constituintes dos carvões são chamados por macerais e eles podem ser classificados em três grupos fundamentais: Exinita, Vitrinita e Inertinita.

Segundo o sistema de classificação do ICCP (1994), há três grupos básicos de macerais, a vitrinita derivada da coalificação do tecido da madeira, a liptinita derivada de resinas e partes enceradas de vegetais e a inertinita derivada da parede de célula dos vegetais alteradas pela carbonização e bioquimicamente.

2.8.1 Vitrinita

Ainda este **Comitê Internacional de Carvão e Petrologia Orgânica**, refere que os macerais de vitrinita são derivados da parede da célula do tecido da madeira, que são compostas quimicamente de polímeros, celulose e lignina. Este grupo é o mais abundante constituinte dos carvões com cerca de 50 a 90%. As vitrinitas se formam sob condições úmidas, num nível freático inferior, devido a uma taxa menor de subsidência da bacia de deposição. Neste grupo há dois macerais principais a *collotelinite* (telocolinita) e a *collodetrinite* (desmocolinita).

2.8.2 Liptinita

O maceral liptinita é derivado de partes de vegetais encerados e resinoso, tais como: esporos, cutículas e resinas, que são resistentes ao aquecimento e à diagênese. Eles geralmente constituem cerca de 5 a 15% dos carvões e com uma reflectância que varia de 1,35 a 1,40, sendo bem menor que a vitrinita de um mesmo carvão. Este grupo é muito sensível à coalificação, pois eles tendem a desaparecer em carvão com o *rank* médio volátil e são ausentes nos carvões de *rank* baixo volátil. Quando a liptinita está presente no carvão, tende a conservar os vegetais originais.

2.8.3 Exinita

O maceral inertinita é derivado da vegetação que tem sido fortemente alterada e degrada no estágio da turfa na formação do carvão, podendo alcançar até 70% nos carvões. O fóssil de carvão vegetal forma a fusinita e a semifusinita. Eles apresentam a maior refletância de todos os macerais e são distinguidas por seus espectros e estruturas, dos quais podem ser classificados como:

Estes constituintes podem ser identificados por via microscópica, através da cor, da aparência, e do seu grau de refletância. Além dos macerais anteriormente referidos, o carvão mineral é constituído por alguns minerais de argilas, carbonatos, sulfuretos, minerais de quartzo e outros. Estes minerais foram agregados na fase inicial da formação do carvão, por isso se encontram disseminados na matéria carbonosa.

De acordo com Osório e Vilela (2002), para que um carvão apresente propriedades coqueificantes, ele deve possuir uma adequada composição de macerais Vitrinita, Exinita e Inertinita e situar-se numa determinada faixa de grau de carbonificação ou *Rank*. O parâmetro mais utilizado para a determinação do *Rank* é o poder refletor da vitrinita (% Rm). O *Rank* é o estágio atingido pelo carvão no curso da carbonificação, e não é uma grandeza diretamente mensurável. Pode ser avaliado através de parâmetros químicos como carbono, hidrogênio, umidade, matéria volátil, poder calorífico e físicos: poder refletor da Vitrinita.

Com base nos estudos de petrografia do carvão de Ade (1993) e da estratigrafia de seqüências de Alves (1994), Alves e Ade 1996 da Silva (1999), eles consideram que os carvões da jazida de Candiota foram depositados em um sistema laguna-barreira.

Posteriormente Holtz *apud* Pacheco (1998), estendeu a idéia para as principais camadas de carvão situadas na Formação Rio Bonito no Rio Grande do Sul.

De acordo com Gomes *at al.*, (1998), referem que as repetições das camadas de carvão, estudadas nas regiões citadas acima, estão relacionadas a fatores locais de condicionamento da evolução dos sistemas deposicionais que contribuíram para a formação do registro sedimentar e fechamento de lagunas com formação de pântanos atrás de sistemas de barreiras. O registro da sedimentação gonduânica, nesses setores,

segundo este autor, inicia por rochas areno-pelíticas rítmicas, paraconglomerados e folhelhos pretos, relacionados à Formação Rio do Sul, do Grupo Itararé. O Grupo Guatá ocorre completo, com as Formações Rio Bonito e Palermo. As rochas características da Formação Rio Bonito, na região, estão representadas por arcóseos grossos a conglomerados, paraconglomerados, siltitos cinzas a cinzas-escuros e carbonosos, carvão e arenitos quartzosos finos e médios.

Dois bancos de carvão, com aproximadamente 2 m de espessura, intercalados por uma camada de argilito de 80 cm, são atualmente minerados pela CRM. Com cobertura na faixa de 10 m para a camada Candiota, a mineração se processa a céu aberto. A relação estéril/minério está na faixa de 1,5 m³/t de carvão ROM, e o rendimento, apenas para a camada Candiota é de 7 t/m².

As camadas de carvão, os folhelhos carbonosos, folhelhos, siltitos, arenitos e conglomerados que ocorrem na região da Mina de Candiota pertencem a formação Rio Bonito. Esta formação localmente é dividida em três intervalos faciológicos: fácies inferior, intermediário e superior. Em relação a camada de candiota está inserida na fácies intermediária juntamente com os siltitos e arenitos.

Geralmente a camada Candiota, é constituída por dois leitos de carvão denominados camada inferior e camada superior, totalizando uma espessura média do leito 5 metros intercalado por uma camada de argilito de espessura media de 0,7 m.

As características físico-químicas do carvão são de vital importância para o seu aproveitamento futuro, pois várias análises são necessárias para se determinar claramente os seus usos adequados (termo-elétrica, altos fornos), assim como as suas especificações para a sua comercialização, de acordo com as metodologias e normais existentes.

Os elementos distinguíveis macroscopicamente são os chamados litotipos. Tais elementos pode-se referir a vitrênio que compõe leitos finos na camada de carvão, constituindo a parte lisa e brilhante; o clarênio que é semi-brilhante e mostra se fino estriado; durênio tem aspecto opaco e superfície rugosa aparendo em leitos mais resistentes e, fusênio que se apresenta em leitos foscos, fibrosos e friáveis, sendo o único litotipo que suja ao entrar em contato com as mãos ou dedos.

2.9 Caracterização química do carvão

De acordo com Osório e Vilela (2002), referem que a qualidade do coque tem relação direta com a qualidade dos carvões utilizados no processo de coqueificação. As principais análises para definir a composição química do carvão são análises imediatas, análise elementar, análise de enxofre e suas formas e análise dos componentes das cinzas. A análise imediata é um método simples e rápido para a determinação da distribuição dos produtos obtidos em aquecimento de uma amostra de carvão, em termos de teor de matéria volátil (MV), cinzas (CZ), Umidade (U), e Carbono fixo (Cfix) por diferença. Carvões coqueificantes possuem matéria volátil, em base seca isenta de cinzas (Mvbasic), numa faixa em torno de 20 a 30%. O teor das cinzas não tem uma relação direta com as propriedades coqueificantes de um carvão, mas deve ser o mais baixo possível em função do alto forno.

Por outro lado, análise elementar indica a composição química do carvão em termos de carbono, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio numa base isenta de umidade e cinzas. O oxigênio e o hidrogênio influenciam diretamente às propriedades plásticas do carvão. A análise do enxofre e das suas formas é fundamental, pois praticamente todo o enxofre contido no ferro-gussa e no aço é proveniente do carvão.

2.10 Classificação dos carvões pelo seu rank

Para Correia da Silva *et al.* (1987) o *rank* de um carvão se refere ao grau de coalificação suportado pela matéria orgânica, sendo calculado pelo conteúdo da mistura, da energia específica, da refletância da vitrinita ou da matéria volátil, estes são os parâmetros do *rank*.

Segundo Correia da Silva *et al.*, (1987), refere que a classificação do carvão nunca foi uma tarefa simples, devido à complexidade das propriedades químicas e físicas e seus usos variados. A multiplicidade de esquemas de classificação para os carvões tem sido propostos durante anos usando, assim, uma variedade de parâmetros como termos de referência.

Tabela 1: Parâmetros do *rank* do carvão. Adaptado [Diessel,1992].

Estágio do <i>rank</i>	(%) de carbono (daf)	(%) Matéria volátil (daf)	Energia específica (Mk/kg)	(%) de Umidade in situ	(%) Refletância da vitrinita	Máxima
					Random	
Madeira	50	> 65	-	-	-	-
Turfa	60	> 60	14,7	75	0,2	0,2
Carvão Marrom	71	52	23	30	0,4	0,42
Sub-Betuminoso	80	40	33,5	5	60	0,63
Carvão Betuminoso de alto volátil	86	31	35,6	3	0,97	1,03
Carvão betuminoso de médio volátil	90	22	36	< 1	1,47	1,58
Semi-antracito	92	8	36	1	2,65	2,83
Antracito	95	2	35,2	2	6,55	7

Em 1981 foi utilizado nos Estados Unidos o sistema padrão ASTM – *American Society for Testing and Materials*, nos quais foram baseados na matéria volátil a no valor calorífico, não estando incluso os parâmetros geológicos.

O espectro de maturidade ou metamorfismo é dividido em linhito, sub-betuminoso, betuminoso e antracito. O grupo é baseado na matéria mineral livre, matéria volátil, umidade e de valor calórico.

Segundo Berkowitz, *Apud* Pacheco (2008), no Brasil, o alto teor de cinzas, por um lado, bem como a composição petrográfica, induzem distorções nos resultados e dificuldades comparativas entre os carvões brasileiros e de outros países. Apesar desta limitação, pode se dizer que os carvões variam pelo *rank* no sentido geral do Sudoeste para Nordeste, de betuminoso de alto volátil C, até betuminoso de alto volátil A, a jazida de Candiota ela é classificada no primeiro caso.

Ainda Berkowitz, *Apud* Pacheco (2008), existem outras classificações, uma delas é a utilização do tipo de *coking* junto com matéria volátil, na qual foi adotada pela *National Coal Board in Britain – NCB*. Neste esquema, os carvões são divididos em grupos e classes que são identificados por código de três dígitos. Outra, a *International Classification* para carvões do tipo sub-betuminoso A do sistema ASTM, tem sido

proposto com muitas similaridades com o sistema NCB: ele identifica a variedade de carvões com um código de três dígitos, caracterizando o rank pela matéria volátil e valor calórico e, também, utilizando o índice de calor e de resfriamento.

No Brasil, não existem classificações de cunho científico, as classificações usadas são de cunho comercial, por exemplo, Carvão energético por CE5200, CE 3300. As principais classificações dos carvões são Alemã, Australiana, Norte-americana, Russa e Internacional.

2.11 Qualidade dos carvões

Osório e Vilela (2002) apontam os três pontos chave para a definição da qualidade do carvão como sendo: o poder calorífico do carvão (Q); o teor de cinzas em sua composição (A) e o teor de enxofre na sua composição (S). O poder calorífico do carvão é a energia armazenada que, ao sofrer um processo de combustão, é liberada para o ambiente. O poder calorífico é dado em J/kg (energia / massa) e, em negociações internacionais, este valor varia de 24 a 28 MJ/kg. O teor de cinzas é formado pelas parcelas incombustas resultante de todo processo de combustão. Toda substância apresenta maior ou menor teor de cinzas, dependendo de sua composição.

Lorenz e Grudzink *apud* (2003) apontam que no mercado internacional de carvão, o teor de cinzas é relativamente baixo, variando de 8 a 16%. O teor de enxofre é um parâmetro muito importante para o aspecto ambiental, pois influencia diretamente na emissão de óxidos de enxofre. A queima de carvão com baixo teor de enxofre tende a ser o método mais simples e mais barato para diminuir as emissões de SO₂, porém existe uma grande dificuldade em se determinar a quantidade de carvão com baixo teor de enxofre disponível no mercado.

Borba (2001) destaca os diversos estágios de carbonificação, seqüenciados do menor para o maior rank de qualidade na seguinte ordem: turfa; sapropelito; linhito; carvão subbetuminoso; carvão betuminoso e antracito. O estágio mínimo para a utilização industrial do carvão é o do linhito.

Estudos publicados por Kalkreuth *et al.*, (2006), apontam que de ponto de vista técnico, o carvão de Candiota apresenta as seguintes características: o teor de cinzas do carvão ROM é da ordem de 50% para a camada superior e 52% para a camada inferior; o teor de enxofre total fica em torno de 2,0%, sendo que menos de 0,9% corresponde a enxofre orgânico. O enxofre sulfático apresenta valores baixos de 0,3%; a classificação do carvão de Candiota segundo o *rank*, de acordo com os resultados de análises químicas de concentrado de vitrênio, poder refletor médio das vitrinitas e poder calorífico é sub-betuminoso C.

2.12 Evolução e desenvolvimento da flora

De acordo Teichmuller *et al.* (1975), refere que os antracitos são bem conhecidos e estudados. Eles são muito raros e impuros, mas sob microscópio, as estruturas das plantas são visíveis nestes carvões mais antigos. No Devoniano Inferior, cresceram plantas submersas (Psilophytas) em lagos rasos e desenvolveram camadas pouco espessas de carvão com bandas finas de vitrinita. A formação de verdadeiras jazidas de carvão só foi possível no Devoniano Superior, quando acontecem desenvolvimentos das plantas terrestres por todos os continentes, e as de importância economicamente aconteceram no Carbonífero Inferior.

No período carbonífero, formou-se o carvão betuminoso, advindo da grande quantidade de florestas de pântano, nos quais desenvolveram árvores de até 30 m (Lepidodendron e Sigillaria). Contudo, as comunidades de plantas formadoras de carvão do Carbonífero não se aproximavam da variedade das floras de tempos geológicos mais recentes.

As camadas de depósitos de carvão do Permiano se formaram predominantemente a partir de Gimnospermas Cordaites, que se tornaram importantes contribuidores para a formação de turfas no Carbonífero Superior.

No Jurássico e Cretáceo Inferior, as Gimnospermas são as principais formadoras de carvão. O desenvolvimento muito rápido da flora, entre o Cretáceo Inferior e Superior, originou pântanos de floras ricas de Angiospermas do Cretáceo Superior e

Terciário da América do Norte, Europa, Japão e Austrália. Comparando-os com a flora do Carbonífero, as plantas do Mesozóico e, particularmente, as do Terciário, são muito mais diversas e especializadas, resultando em espessos depósitos de turfa com vários tipos de fácies diferentes.

Segundo Borba (2001), as características físico- químicas do carvão são de vital importância para o seu aproveitamento futuro, pois várias análises são necessárias para se determinar claramente os seus usos adequados (termoelétrico, altos- fornos), assim como as suas especificações para a sua comercialização, de acordo com as metodologias e normas existentes.

Por outro lado Miriam *et al.* (2005), em relação a flora refere que existem diferenças entre as camadas superiores e inferiores do carvão de Candiota, tendo sido formados em diferentes paleoambientes, tendo em conta com a formação da turfa e os tipos fácies. Assim são conhecidos então 4 tipos de fácies.

2.13 Geologia do carvão, generalidades

Em relação à geologia do carvão para sua melhor descrição e compreensão, pretende-se abordar esta questão fazendo-se referência em carvões gonduânicos e carvões brasileiros, em particular os do estado do Rio Grande do Sul.

Segundo Silva (1999 e 1994); Ade (1993); Correia da Silva (1987, 1988) e (1992) As principais rochas características da região estão representadas por formação Rio Bonito, constituídas por arcóseos grossos a conglomerados, paraconglomerados, siltitos cinzas a cinzas-escuros e carbonosos, carvão e arenitos quartzosos finos e médios.

Segundo Guerra (2000), a formação Rio Bonito é formada por arenitos médios, siltitos cinza-esverdeados, cinzas-escuros e carbonosos com leitos e camadas de carvão na porção basal. Ocorre ainda um pacote predominantemente pelítico constituído por siltitos cinza a cinzas-claros, cinzas claros e pretos, carbonosos, às vezes carbonosos,

por vezes argilosos, macicos com intercalações de arenitos e camadas de carvão. A espessura total desta unidade é de aproximadamente 90 a 120 m.

Ainda Guerra (2000), enfatiza dizendo que neste conjunto de formação se desenvolvem as principais camadas de carvão do Rio Grande do Sul, as quais totalizam das litologias da formação. Em relação ao ambiente de sedimentação, observa-se que os depósitos continentais (fluvio-deltático) são os que predominam na formação Rio Bonito, com influências locais de episódios transgressivos.

Segundo Bustin *et al.* *Apud* Pacheco (2008), alguns carvões do Gondwana foram acumulados em clima frio, sendo entremeados com tilitos glaciais. Camadas de carvões que foram depositadas em climas tropicais e subtropicais são geralmente caracterizadas pela presença de bandas brilhosas originadas de material lenhoso. Por outro lado, os carvões originados de clima frio são os levemente bandeados e finamente detrital, como resultado da escassez de grandes árvores dentro da turfa pantanosa.

2.14 Carvões Gonduânicos

Segundo agência de informação de energia (AIE, 2001) aponta que o carvão é a fonte mais utilizada para geração de energia elétrica no mundo, respondendo por 41% da produção total. Sua participação na produção global de energia primária, que considera outros usos além da produção de energia elétrica, que é de 26%. Por outro lado a agência Internacional de Energia também projeta que o minério manterá posição semelhante nos próximos 30 anos.

Bustin *et al.* *Apud* Pacheco (2008), os grandes depósitos descobertos na Europa e ao leste da América do Norte datam do Período Carbonífero, mesmo conhecendo as variedades de suas propriedades, pois se sabe que eles pertenciam a uma família reconhecível. As condições climáticas, durante a formação dos principais depósitos de carvão do Continente Gonduânico, foram muito diferentes daqueles dos carvões do Carbonífero Europeu. O clima era frio-temperado com alternância de períodos de seca e chuva. Já no final do Permiano, o clima tornou-se quente a quente temperado. A flora caracterizou-se pelas florestas *Glossopteris*, semelhantes às atuais subárticas, estas em

contraste com as florestas de *Lepidophyta*, no Hemisfério Norte, eram caracterizadas por árvores com desenvolvimento sob condições tropicais e subtropicais.

Jablonski *Apud* Pacheco (2008), referindo-se a Geocronologia cita dois grandes períodos de formação destes depósitos: no primeiro, abrange o Carbonífero Inferior e Superior e o Permiano, na Era Paleozóica; no segundo, abrange o Cretáceo Superior (Era Mesozóica) e o Terciário (Era Cenozóica), de acordo com a tabela 2.

De acordo com Jablonski, *Apud* Pacheco (2008), os diversos estudos realizados no mundo sobre o carvão, os pesquisadores concluíram que estas massas de terra outrora deveriam estar muito próximas, sendo que hoje estão derivadas de suas posições atuais. Como o continente Gonduânico, *Gondwanaland*—nome dado a este supercontinente hipotético — que posteriormente se desfez em continentes e subcontinentes, compartilhando, assim, dos mesmos ambientes climáticos, de sedimentação e geográfico.

O início da sedimentação ocorreu no final do Período Carbonífero Superior, porém foi no Período Permiano que ocorreu a formação do carvão. À medida que as reservas do mundo foram exploradas, tomou-se o conhecimento de depósitos de outros Períodos, desde o Permiano até o Terciário. As enormes reservas de carvões subbetuminosos e linhitos com alto teor de umidade, típicos do fim do Mesozóico ou do Terciário, localizados na Europa, oeste da América do Norte, sudoeste da Austrália e outras partes do mundo, tiveram que ser consideradas como outra grande família.

A formação dos depósitos do carvão Gonduânico foi precedida por uma invasão glacial, e os estratos que a seguiram depositaram-se como uma espessa série de sedimentos fluviais, lacustres ou deltaicos, com acumulações intercaladas de camadas de turfa, que posteriormente formaram as jazidas de carvão.

Tabela 2: Reservas ao longo dos Períodos geológicos. [Jablonski, Apud Pacheco 2008].

Período geológico	Antracito (%)	Carvão (%)	Linhito (%)	Total (%)
Terciário	0,04	16,2	38,2	54,44
Cretáceo	0,01	0,25	0,08	0,34
Jurássico	0,18	2,3	1,55	4,03
Triássico	0,27	0,25	0,02	0,54
Permiano	1,58	14,77	0,56	16,91
Carbonífero Superior	0,91	21,31	-	22,22
Carbonífero Inferior	-	1,44	0,08	1,52
Devoniano	-	-	-	-
Total	2,99	56,92	40,49	100

Segundo Jablonski, *Apud* Pacheco (2008), os carvões do Gondwana tendem a ser escuros, contendo mais inertinita e apresentam uma sedimentação sobreposta de arenitos, que são altamente permeáveis, permitindo, assim, a percolação de água subterrânea e também o acesso da matéria mineral, geralmente fina. As fraturas e fissuras pouco se desenvolveram e, como consequência, pouca quantidade de camadas de vitrinita espessas e regulares.

2.15 Formação dos carvões brasileiros

Nesta epígrafe, referir-se à sobre carvões brasileiros em geral e em particular, o carvão do Rio Grande do Sul, mais concretamente o carvão da jazida de Candiota.

De acordo com Gomes *et al.* (2002), os carvões brasileiros formaram-se nos períodos Permiano e Permocarbonífero (há 280 milhões de anos) no continente Gondwana no sul do Brasil, tendo predominado a flora gangamopteris-glossopteris, responsável pela formação do carvão brasileiro, em período inter e pos-glacial, acumulada em bacia intracratônica de relativa estabilidade sedimentar, cuja história geológica acabou por formar rochas combustíveis apropriadas ao aproveitamento energético. A geração de energia a partir do carvão mineral, com a aplicação de

tecnologia atualizada nas termelétricas, pode ser ambientalmente aceitável, além de ser uma alternativa técnica e economicamente viável, principalmente na jazida de Candiota, que possui as condições geológicas mais favoráveis do Brasil.

2.16 Bacia carbonífera do Rio Grande do Sul

Miriam *et al.* (2005), referem que nas camadas inferiores do carvão de Candiota foram confirmadas a predominância de esporos, atribuídos principalmente ao grupo Cingulicavati (*Vallatisporites*, *Cristatisporites*, *Lundbladispota*, *Kraeuuselisporites*), entre outros. Enquanto que nas camadas superiores as esporas *Cingulicavati* e *Laevigati* são as dominantes, como derivados de arborecentes licófitas *Lundbladispota* bem como as *Sphenophyta*.

Segundo Guerra (2000), no Rio Grande do Sul, as jazidas de carvão mineral formaram-se em turfeiras predominantemente subaquáticas, de fácies orgânicas límnic e limnotelmático, sendo formadas por vegetais pteridofíticos de porte arbustivo e herbáceo associados a gimnospermas arborescentes e elementos vegetais relacionados a algas.

Ainda Guerra (2000), se referindo dos diferentes conjuntos de rochas presentes na região de Candiota sublinha que o conjunto de rochas sedimentares e vulcânicas que constituem a bacia, representa a superposição de pacotes depositados, no mínimo, em três diferentes ambientes tectônicos decorrentes da dinâmica de placas, que conduziu à evolução do Gondwana. Os limites da bacia foram muito variáveis no tempo, e, por isso, sua configuração atual não é o registro daquilo que já foi um grande mar diretamente conectado com oceano Pacífico Paleozóico. As camadas de carvão ocorrem, litoestratificamente, na Formação Rio Bonito, Grupo Guamá, Supergrupo Tubarão e fazem parte da seqüência deposicional IV da megasseqüência Carbonífera Eotriássica de caráter geral transgressivo. Na base da seqüência IV ocorrem depósitos fluviais (de mar baixo), que evoluem para condições favoráveis à formação de turfeiras, provavelmente associada a uma paleogeografia de lagos.

Para Guerra (2000), as repetições das camadas de carvão, estudadas nas regiões citadas acima, estão relacionadas a fatores locais de condicionamento da evolução dos sistemas deposicionais que contribuíram para a formação do registro sedimentar e fechamento de lagunas com formação de pântanos atrás de sistemas de barreiras. O registro da sedimentação gonduânica, nesses setores, segundo este autor, inicia por rochas areno-pelíticas rítmicas, paraconglomerados e folhelhos pretos, relacionados à Formação Rio do Sul, do Grupo Itararé. O Grupo Guatá ocorre completo, com as Formações Rio Bonito e Palermo. As rochas características da Formação Rio Bonito, na região, estão representadas por arcóseos grossos a conglomerados, paraconglomerados, siltitos cinzas a cinzas-escuros e carbonosos, carvão e arenitos quartzosos finos e médios. A análise paleoambiental deposicional dos carvões das jazidas do Leão, Pantano Grande, Iruí, Capané e São Sepé permitem a identificação de um sistema flúvio-deltaico, associado a um sistema de barreira litorânea que, em determinado momento da evolução da área, foi afogado por um pulso transgressivo, o qual condicionou a transformação da parte da região em uma plataforma rasa sob intensa ação das ondas e tempestades.

Segundo Zalan *et al.* *Apud* Pacheco (2008), a bacia do Paraná é uma bacia intratônica desenvolvida sobre a crosta continental e preenchida com rochas sedimentares e vulcânicas, com idade variando do Ordoviciano ao Cretáceo. Esta bacia está situada na parte centro-leste do Continente Sul-Americano e ocupa cerca de 1.100.000 km² da área brasileira, além de mais de 300.000 km² distribuídos entre os territórios do Uruguai, Paraguai e Argentina.

2.17 Classificação e gênese dos carvões brasileiros

De acordo com Gomes (2002), para camadas e jazidas de carvão mineral, a sua avaliação econômica é feita através de dois grupos principais de parâmetros (parâmetros geométricos e qualidade físico-química). O primeiro grupo inclui-se espessuras, coberturas, extensão em áreas, encaixantes próximas, padrão estrutural entre outros. O segundo grupo inclui o *rank* e o *grade*; onde o *Rank* ou grau de carbonificação que é a transformação progressiva da turfa, linhito, carvão e antracito; enquanto que se usa o

termo grade para designar genericamente as relações matéria orgânica – matéria inorgânica numa camada de carvão, bem como as características a matéria inorgânica presente.

Ainda Gomes (20020, refere que a lavabilidade é o parâmetro mais importante do grade dos carvões expressando as possibilidades de separação entre a matéria orgânica e matéria inorgânica através de processo de beneficiamento (lavadores, jigues, meiodenso e centrífugadores). Neste grupo de parâmetros são estudadas diversas medidas tais como (carbono fixo, matéria volátil, poder calorífico, refletância de vitrinitas, FSI (*free swelling index*), índice de inchamento livre.

2.18 Tipos de depósitos

Segundo Gammidge *apud* Ade (1993), existem dois tipos de depósitos de carvões os parálicos e os *limnic* (límnicos). Os depósitos parálicos são aqueles que no tempo da sua formação houve uma conexão hidrológica com o mar no tempo da deposição da turfa. Estes podem ser encontrados ao longo de planícies litorâneas, lagunas de barreira, estuários e deltas. A turfa que forma ambiente isolado na praia, por exemplo, em bacias com pouca subsidência, produzem depósitos de carvão de *limnic*. Os *limnics* são os carvões depositados nas regiões entre montanhas, onde o nível de água era controlado através de condições locais em vez de regionais. As camadas de carvão são comumente resultado da subsidência local devido à falha e são geralmente caracterizadas por camadas grossas de extensão lateral limitada. Os materiais orgânicos dos depósitos de carvões *limnics* podem ser alóctones ou autóctones.

2.19 Carvão no mundo

Segundo Lorenz e Grudzinsk (2003), o mercado internacional de carvão se divide em duas regiões: o mercado do Pacífico, que tem como exportadores Áustria, Indonésia e China e como importadores Japão, Coréia do Sul e Taiwan; e o mercado do Atlântico, onde os exportadores são os países do oeste europeu e da bacia do

mediterrâneo, e os importadores são África do Sul, Polônia, Colômbia e Estados Unidos.

Estudos realizados por Ekawan *et al.* (2001), apontam um aumento das transações comerciais de carvão no mercado do Pacífico nas últimas duas décadas. Esse aumento se deve à grande demanda no Japão e países da região noroeste da Ásia e também à progressiva exportação da Austrália e Indonésia. A expectativa é de que o mercado continue a expandir vindo a se tornar mais importante que o mercado do Atlântico. Na composição da matriz energética global, o carvão fica abaixo apenas do petróleo, sendo que especificamente na geração de energia elétrica, o carvão assume a condição de principal recurso conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3: Distribuição global de energia por recurso . Adaptado [Borba, 2001]

Recurso	Consumo Geral de Energia	Geração global de eletricidade
Carvão	23,30%	38,40%
Petróleo	35,70%	8,90%
Gás natural	20,30%	16,10%
Nuclear	6,70%	17,10%
Renováveis	11,20%	-
Hídricos	2,30%	17,90%
Outros*	0,04%	1,60%

*Inclui energia eólica, solar, geotérmica, etc.

Segundo Borba (2001), em termos de recursos naturais não renováveis, o carvão mineral apresenta a maior vida útil estimada. Esta vida útil é mais de cinco vezes maior que a do petróleo e mais de três vezes maior que a do gás natural.

O Panorama da disponibilidade de carvão em termos de reservas mundiais em bilhões de toneladas, pode ser observado na tabela 4.

Tabela 4: Disponibilidade de carvão em termos de reservas mundiais. Adaptado:[Departamento de Informação sobre Energia 2006].

REGIÃO/ PAÍS	TOTAL
Estados Unidos	270,7
Rússia	173,1
China	126,2
Índia	102,9
Outros países não OECD (Organização de Cooperação e de Desenvolvimento e Económico) da Europa e Euroásia	100,1
Austrália e Nova Zelândia	
ÁFRICA	87,2
Países OECD da Europa	55,5
Outros países não OECD da Ásia	43,3
BRASIL	11,5
Outros países da América do Sul e Central	11,1
Canadá	10,8
Outros*	7,3
	2,3
TOTAL	1.000,90

* Inclui México, Oriente Médio, Japão e Coreia do Sul.

2.20 Reservas de carvão no mundo

De todos os combustíveis fósseis o carvão é sem dúvida o com maior reserva no mundo. Foi estimado atualmente que há mais de um trilhão de toneladas de carvão em reservas economicamente acessíveis usando a atual tecnologia de exploração de minas. Além de as reservas de carvão serem grandes, elas são geograficamente divididas, sendo espalhadas por centenas de países em todos os continentes, onde o continente africano faz parte. Essa grande quantidade de minas garantem uma reserva para um grande período de exploração.

Ainda mais, significativos avanços tecnológicos continuam a ser feitos de modo a melhorar a eficiência do carvão, fazendo com que mais energia seja retirada e utilizada de uma tonelada de carvão. As reservas atuais de carvão são mais do que cinco vezes maior do que as reservas de petróleo (de duração de aproximadamente 45 anos) e mais do que três vezes maiores das que de gás natural (de duração de aproximadamente

70 anos). Se o nível de exploração mundial continuar como atualmente as reservas são suficientes para durar aproximadamente 250 anos.

2.21 Beneficiamento do carvão

Sampaio e Tavares (2005), referindo-se da modernização técnica de tratamento do carvão mineral, aplicada nas indústrias mineiras, tendo em conta aumentar a capacidade de produção e ampliação do seu mercado consumidor, para os diferentes segmentos industriais, enfatiza que ela surgiu da necessidade de desenvolver tecnologias, aumentar as capacidades das plantas de beneficiamento, melhorando a sua eficiência, visando a sua adequação para atender a demanda existente; assim o conhecimento das especificações dos produtos desejados é importante para a verificação da viabilidade técnica e econômica do beneficiamento do carvão.

Hoje em dia, milhões de toneladas de carvão são extraídas e utilizadas com finalidades que vão desde a simples queima até a fabricação de coque metalúrgico empregado em altos fornos. Devido a diferenças de gênese dos carvões, existe a ocorrência de material inorgânico, basicamente argilas e pirritas em alguns casos até carbonatos, misturado com material orgânico, os chamados macerais. Os processos que utilizam carvões na maioria das vezes necessitam baixas quantidades destas impurezas, sendo por exemplo as argilas as principais responsáveis pelas cinzas geradas após a combustão de carvões, muitas vezes prejudiciais ao processo empregado e danoso ao meio ambiente. Assim, a separação dessas impurezas é chamado de beneficiamento, e visa a remoção de materiais não desejáveis que podem estar misturados ao carvão.

Segundo Schubert apud Sampaio (2002) os processos de beneficiamento são classificados de maneira geral, de acordo com a granulometria do carvão empregado como se descreve a continuação:

- Beneficiamento de ultrafinos de carvão (material com granulometria inferior a 0,1 mm), neste caso o processo mais utilizado é a flotação:

- Beneficiamento de finos de carvão (material com granulometria entre 0,1 e 2 mm), neste caso os processos mais utilizados são as mesas concentradoras, espirais, concentradoras, espirais concentradoras e ciclones autógenos;

- Beneficiamento de grossos de carvão (material com granulometria entre 2 e 50 mm), nestes casos, os processos mais empregados são os jigues, meios densos estáticos e meios densos dinâmicos;

- Beneficiamento de grosseiros (material com granulometria maior que 50 mm), quando assim, os processos mais utilizados são os de meio denso estático.

Salienta-se que esta divisão em granulometrias estanques, são apenas indicações, pois diversos equipamentos operam com faixas granulométricas muito diversificadas.

2.22 Caracterização para o beneficiamento gravimétrico de carvões

Ainda Sampaio (2002), refere que toda a caracterização do carvão mineral para o beneficiamento com tamanhos superiores a 0,1 mm (carvões finos, grossos e grosseiros), é realizado pelo chamado Beneficiamento Gravimétrico, o qual está baseado na diferença de densidades entre a matéria orgânica (normalmente densidade $1,3\text{g/cm}^3$) e a matéria inorgânica (argilas com densidade próxima a $2,0\text{ g/cm}^3$ e pirita com densidade próxima a $2,4\text{g/cm}^3$). Portanto antes de qualquer técnica de beneficiamento a ser empregada, faz-se necessária a caracterização do carvão visando o seu beneficiamento.

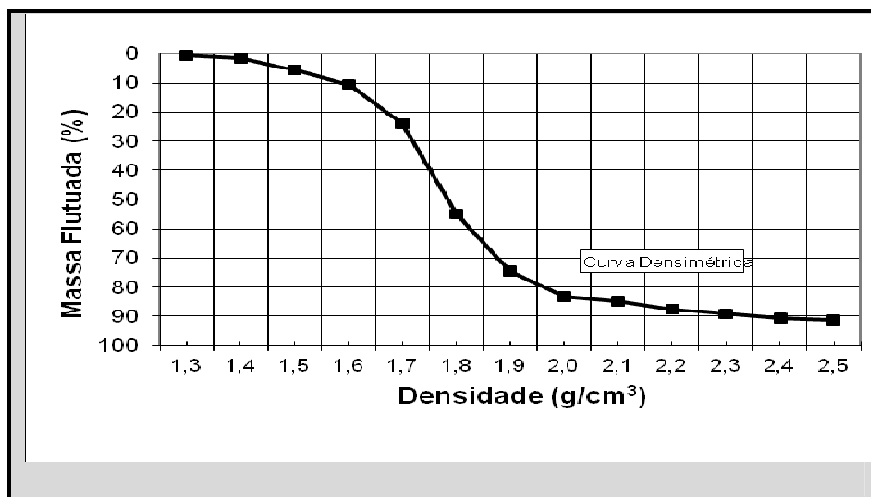


Figura 3: Curva densimétrica de um carvão brasileiro [Henry – Reinhardt. *apud* Sampaio, 2002].

Esta caracterização é normalmente, realizada utilizando-se curvas de lavabilidade de Henry-Reinhardt: curvas densimétricas vide figura 3 e curvas dos flutuados e afundados figura 4.

A curva densimétrica de Henry- Reinhardt, descreve a liberação das partículas de carvão, por outro lado sabe-se que quando os carvões, quando cominuidos, não são formados por partículas somente de material orgânico ou somente de material inorgânico, existem também a presença de mistos. Estas misturas são formadas parcialmente por material inorgânico, nesse caso a sua densidade será intermediária à densidade dos materiais que a compõem. Também a curva densimétrica ela apresenta quantidade de material flutuado em função da densidade.

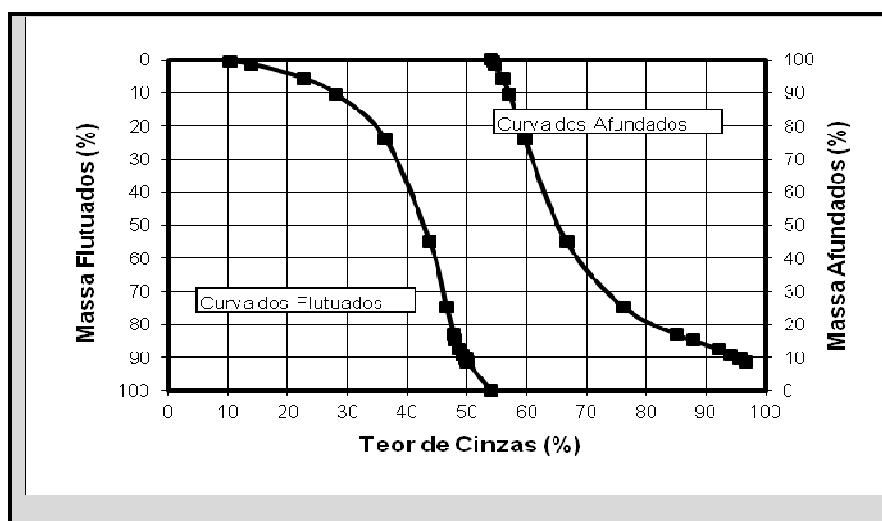


Figura 4: Curva dos flutuados e curva dos afundados de um carvão brasileiro [Henry–Reinhardt *apud* Sampaio, 2002].

A curva dos flutuados indica o teor médio de cinzas do material flutuado numa determinada densidade, por seu turno a curva dos afundados indica o teor médio de cinzas do material restante, ou seja do material que afundou.

De acordo com Cebeci e Aslan (2002), Majumder e Barnwal (2004), Sampaio e Tavares (2005), os testes de afunda-flutua são amplamente utilizados para o beneficiamento de carvão, pois através destes pode ser estimada a sua acessibilidade através da concentração gravimétrica. Estes testes são realizados em faixas densimétricas pré-fixadas. Com seus dados, são feitas as curvas de lavabilidade, também conhecidas como curvas de Henry-Reinhardt (curva densimétrica, curva dos flutuados e dos afundados, curva elementar e curva de tolerância densimétrica ou *Near Gravity Material* ou simplesmente NGM). Tais curvas são utilizadas para avaliar o grau de dificuldade da separação gravimétrica do carvão bruto e, promover dados qualitativos ou quantitativos para os produtos de separação na densidade relativa selecionada.

2.23 Processo de beneficiamento do carvão mineral

Sampaio (2002), se referindo sobre processo de beneficiamento refere que a operação de beneficiamento de carvões, propriamente dita, é uma etapa que não é danosa ao meio ambiente. Isto se justifica uma vez que as plantas de beneficiamento utilizam água para o beneficiamento de carvões. A água utilizada nesse processo é utilizada diretamente em misturas com carvões para facilitar a estratificação do particulado como exemplos na utilização de jígues, mesas concentradoras entre outros, etc. ou então na preparação de polpas (misturas com sólidos finamente cominuídos no caso da magnetita que é usado nos processos em meio-densos). Nos processos que utilizam meio-densos, após o beneficiamento o meio denso é regenerado por meio de separação magnética, restando à água misturada com partícula sólida; esta água é reaproveitada. Nas plantas de beneficiamento de carvões, a água não é totalmente reaproveitada, pois isto acarretaria aumento da concentração de sais dissolvidos proveniente do carvão beneficiado. Isso poderia diminuir o tempo de vida útil dos equipamentos, devido à corrosão causada por esses sais. Recomenda-se então que a

água utilizada sempre deve ser filtrada ou espessada antes do seu descarte, não causando nenhum efeito negativo ao meio ambiente, pois todo o particulado é removido.

Por exemplo, no beneficiamento de ultrafinos (flotação), todos os reagentes químicos utilizados são absorvidos pelo carvão concentrado ou rejeitos, não ocorrendo nenhum tipo de contaminação na água.

Sabe-se ainda que as plantas de beneficiamento de carvões que geram contaminantes nas suas operações estão sem dúvida operando de forma errônea, pois a operação de beneficiamento, em qualquer granulometria, não pode e não deve causar prejuízos ao meio ambiente. Por outro lado, pode se referir que a remoção de impurezas de carvões (basicamente argilas e piritas) é possível de ser realizada até os teores comumente aceitos por órgãos ambientais e /ou normas vigentes.

De acordo com Sampaio (2002), em todo esse processo, o maior problema enfrentado é a baixa recuperação mássica que se obtém com alguns carvões, quando se visa adequá-los aos teores exigidos. Esta baixa recuperação mássica está associada principalmente à liberação física do material orgânico dos materiais a serem removidos e não ao tipo de equipamentos ou técnicas utilizadas.

2.24 Circuitos de processamento e malhas ótimas de cominuição

Segundo Sampaio e Tavares (2005), existe uma grande variedade de circuitos de processamento utilizados na indústria, uma vez que cada material é, em essência, único. Os dois princípios mais importantes para o projeto de um circuito são:

- Recuperar o(s) mineral(is) de interesse tão logo ele(s) se torna(m) liberado(s) e na maior granulometria possível;
- Rejeitar a ganga (ou partículas de baixo teor) tão logo o material seja gerado e na granulometria o mais grossa possível.

Estes princípios estão relacionados ao fato que os custos associados ao beneficiamento gravimétrico a granulometrias grossas são menores e apresentam maior eficiência. Levando em consideração estes princípios, é evidente que a escolha da

configuração adequada do circuito está estreitamente relacionada à malha de cominuição do minério. Uma vez determinada a aplicabilidade da concentração gravimétrica com o auxílio do critério de concentração, é necessário determinar o *top size* do minério a ser tratado, uma vez que a distribuição granulométrica determina o tipo de equipamento de concentração a ser empregado. Segundo o critério de concentração, a separação gravimétrica é mais fácil de ser realizada quando os constituintes minerais encontram-se perfeitamente liberados. A granulometria na qual isto ocorre é chamada de malha de liberação.

Segundo Sampaio *Apud* Hower e Parekh (1991), referindo-se no beneficiamento de carvão, por exemplo, estima-se que o beneficiamento de partículas menores que 0,5 mm é de 3 a 4 vezes mais caro que o de partículas grossas. Desta forma, a malha ótima de cominuição é geralmente definida em termos econômicos. Além disto, alguns concentrados possuem especificação relacionada à granulometria. Como exemplo citam-se: minério de ferro para carga em alto forno, carvão metalúrgico e termoelétrico, rutilo para pigmentos, etc. Nestes casos, a malha de cominuição é imposta pela especificação granulométrica do produto.

2.25 Critérios para a seleção de equipamentos

De acordo com Sampaio e Tavares (2005), referem que o número de aparelhos de concentração gravimétrica é muito grande. Além disso, é freqüente encontrar um mesmo tipo de equipamento sendo produzido por diferentes fabricantes, apenas com algumas diferenças construtivas, como é o caso, por exemplo, de espirais e jiges. Isto torna difícil a tarefa de selecionar equipamentos para uma usina de beneficiamento. Entretanto, as limitações impostas pela granulometria da alimentação e pela capacidade requerida restringem o número de equipamentos cuja aplicação é viável para um determinado material. A escolha do equipamento ou processo mais adequado para uma operação específica depende de uma série de fatores, que incluem a granulometria, a taxa de alimentação, o estágio em que é empregado no circuito, o custo, a eficiência, etc. O beneficiamento de carvão mineral, normalmente requer aparelhos de alta capacidade e baixo custo, devido ao valor comparativamente inferior do produto.

2.26 Relevância do tamanho de partícula, custo e eficiência na escolha do processo de beneficiamento gravimétrico

De acordo com Sampaio e Tavares *Apud* Millard (1993), referem que a maior eficiência é obtida pelo uso de um grande número de intervalos de tamanhos granulométricos estreitos na separação. Porém, os maiores custos de investimento e o aumento da complexidade operacional impõem um limite prático, que depende da escala da operação e da mineralogia do depósito em particular. A razão entre o tamanho máximo e o mínimo a ser processado eficientemente em um aparelho depende da precisão de separação, da influência da granulometria e do critério de concentração.

2.27 Aplicabilidade do carvão mineral

Segundo Ekawan *et al.* (2005), em termos de aplicação, o carvão mineral foi usado por um longo tempo no setor de transportes, em veículos como as locomotivas e navios à vapor. Atualmente, o carvão mineral garante o funcionamento de usinas termoelétricas. Há dois mercados distintos para carvão comercializado internacionalmente, o carvão chamado coqueificável e o carvão a vapor para aplicações energéticas. Na siderurgia é utilizado o carvão coqueificável, que se classifica como um carvão nobre com alto poder calorífico e baixo teor de cinzas. No uso energético, o carvão admite, a partir do linhito, toda gama possível de qualidade, sendo uma questão de adaptação dos equipamentos ao carvão disponível.

Por outro lado Lorenz e Grudzinsk (2003), destacam os requisitos de qualidade dos clientes da extração de carvão para fins energéticos se diferem de acordo com seus equipamentos, não existindo um padrão de qualidade claramente definido para o carvão.

Hoje é usado na Combustão: geração de energia; Gaseificação: gases combustíveis/redutores; Pirólise: produtos voláteis e resíduos sólidos; Liquefação: Combustíveis líquidos; Coqueificação: produção de coque (resíduo sólido). O uso siderúrgico é o segundo maior mercado do carvão no mundo.

2.28 Aspectos ambientais, generalidades

Os processos de mineração (indústria metalúrgica, hidrometalúrgica) são, por natureza, grandes consumidores de água; em locais onde haja riscos potenciais ao patrimônio ambiental, incluindo os recursos hídricos a mineração deve ser vedada, apesar do aprimoramento das práticas mineiras, em termos ambientais, nas últimas décadas ainda são muito significativos os riscos ambientais derivados da atividade de mineração. Os impactos negativos podem variar, desde a geração e transporte de sedimentos causados por estradas mal conservadas durante a fase de exploração até o assoreamento de cursos de água e aumento de partículas sólidas em suspensão nas águas durante a fase de operação da Mina.

O desenvolvimento da tecnologia de mineração tem possibilitado, cada vez mais, o aproveitamento de minérios de baixo teor, o que acaba gerando maior quantidade de estéreis e rejeitos. Os rejeitos podem conter também agentes químicos usados no processamento de minérios, tais como cianeto ou ácido sulfúrico; tais rejeitos são geralmente estocados em barramentos nesses procedimentos, caso, se medidas não adequadas não forem tomadas os contaminantes dos estéreis e rejeitos da mina podem alcançar as águas superficiais e subterrâneas causando problemas sérios de poluição do precioso líquido que todos dependemos para a nossa sobrevivência e para as novas gerações.

Este é um dos grandes problemas que a mineração tem deixado e que deve e pode ser mudado com a utilização das melhores práticas de gerenciamento ambiental por parte da indústria extrativa mineral. Após serem removidos, os estéreis, que muitas vezes contém sulfetos que podem gerar águas ácidas, metais pesado, e outros contaminantes, são muitas vezes estocados acima dos terrenos em volumosas pilhas com drenagem livre, estas pilhas de estéril e a superfície expostas das minas já mineradas (bedrock), são a fonte da maioria da poluição por metais pesados.

Segundo Chen *et al.* (2006), dentro do cenário das teorias de aquecimento global e da redução da camada de ozônio, a pressão ambientalista contra o uso do carvão tem sido intensa, principalmente dentro da reivindicação do controle e da redução das emissões de poluentes para a atmosfera. Os fatores determinantes para a

aplicação do carvão como fonte de geração de energia elétrica se fundem na busca pelo desenvolvimento e uso de tecnologias com alta eficiência térmica associadas a baixos níveis de emissão de poluentes. A principal restrição à utilização do carvão é o forte impacto socioambiental provocado em todas as etapas do processo desde a produção, combustão assim como também no consumo.

Segundo os dados do departamento da agência de informação sobre a energia *AIE* (2006), indicam que CO₂, mantido em determinadas quantidades no ar atmosférico, é um dos gases responsáveis pela manutenção da temperatura terrestre, de modo que, com a ausência deste gás, a Terra seria simplesmente um bloco de gelo. Por outro lado, um excesso de CO₂ impede a saída de calor da atmosfera, provocando um aquecimento no planeta denominado efeito estufa. Nas últimas décadas, devido à enorme queima de combustíveis fósseis, a quantidade de gás carbônico na atmosfera tem sofrido um grande aumento, contribuindo para o aquecimento do planeta.

Nas últimas décadas, devido à enorme queima de combustíveis fósseis, a quantidade de gás carbônico na atmosfera tem sofrido um grande aumento, contribuindo para o aquecimento do planeta. Hoje se pretende a redução dos efeitos da emissão de gases à atmosfera gases efeito estufa.

Feil e Neto (2008), referem que o carvão brasileiro caracteriza-se por um baixo poder calorífico e elevado teor de cinzas e enxofre, variando estes de acordo com a região onde é explorado. Geralmente, este possui um elevado teor de cinzas e uma quantidade de enxofre muito alta entre 0,5 e 8,0%. Seu uso para a geração de energia elétrica esbarra na utilização de tecnologias limpas, mais caras, e no seu beneficiamento no intuito de aumentar sua eficiência. A presença destes componentes indesejáveis (cinzas e enxofre) acarreta uma série de inconvenientes de ordem ecológica ou material.

As principais conseqüências ambientais da mineração estão ligadas aos métodos utilizados, bem como as próprias características de camadas de carvão, com reduzida espessura, muitas intercalações de folhelhos, alto teor de cinzas, baixo poder calorífico e alto teor de enxofre, na forma de pirita (FeS₂). Sem dúvida se uma camada tiver menos carvão recuperável, vai gerar mais rejeito argilas, ou seja, as intercalações que estiverem presentes de acordo com as rochas encaixantes.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Material

Para a realização deste trabalho foi utilizada uma base de dados fornecida pela doutoranda Karime Ferreira de Souza. Esses dados são referentes aos ensaios laboratoriais do carvão da região de estudo (camadas inferiores – I1, I2, I3, I4 e I5; camadas superiores – S2, S3, S4, S5, S6, S8, S9 e BL) tais como: curvas dos flutuados, afundados, densimétricas e NGM, assim como, dados das massas retidas nas frações granulométricas $-25,4 +2,0$ mm e $-2,0 +0,1$ mm nos oito perfis de sondagem realizados na região de Candiota. Todos os dados disponibilizados, fazem parte do trabalho de doutorado de Karime Ferreira de Souza.

3.2 Metodologia

3.3 Elaboração de tabelas comparativas para o beneficiamento

Para a elaboração de tabelas comparativas para um possível beneficiamento gravimétrico, levou-se em consideração as exigências mínimas de utilização do carvão no mercado consumidor. Para isso foram definidos três cortes de teores de cinzas 35, 42 e 48%, nas frações $-25,4 +2,0$ mm e $-2,0 +0,1$ mm. Com isto, partindo das curvas densimétricas e NGM, assim como, das dos flutuados e afundados, foram calculadas as massas teóricas em todas as camadas inferiores e superiores, incluindo a camada Banco Louco.

Para a geração das tabelas comparativas, a metodologia consistiu em fixar o teor de cinzas em 35, 42 e 48% nas curvas de lavabilidade fazendo-se então as leituras das massas de flutuados e afudados nas suas respectivas curvas médias. Para as leituras dos valores de densidade de corte e NGM, foram usadas as suas respectivas curvas.

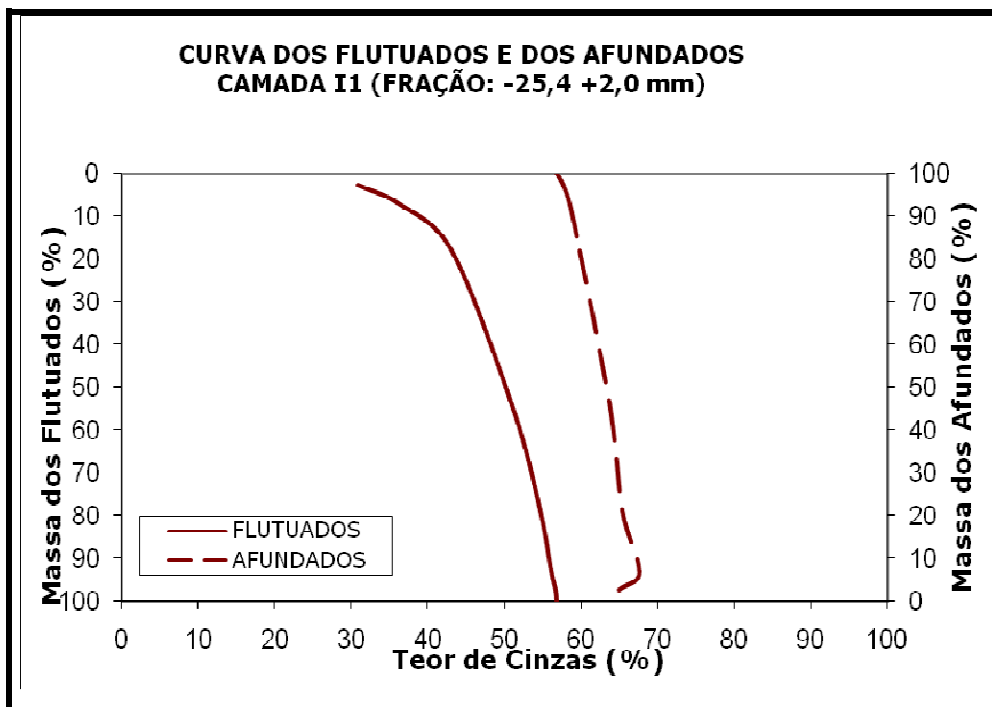


Figura 5: Curvas dos flutuados e afundados usadas para o cálculo das suas respectivas massas. Fração -25,4 +2,0 mm. [FONTE : Karime Ferreira de Souza, 2011].

Os resultados ilustrados nas tabelas 9 a 14 correspondem às tabelas comparativas do possível beneficiamento gravimétrico.

A figura 5 mostra as curvas dos flutuados e afundados usadas para o cálculo da massa dos flutuados e afundados para as tabelas comparativas, correspondente a camada inferior 1, na fração -25,4 +2,0 mm.

A figura 6 corresponde as curvas densimétricas e NGM, correspondente a camada II, na fração -25,4 +2,0 mm. Assim, a partir da curva de NGM, foi possível determinar os seus valores para a camada II. Por outro lado, a partir da curva densimétrica é possível determinar as densidades de corte.

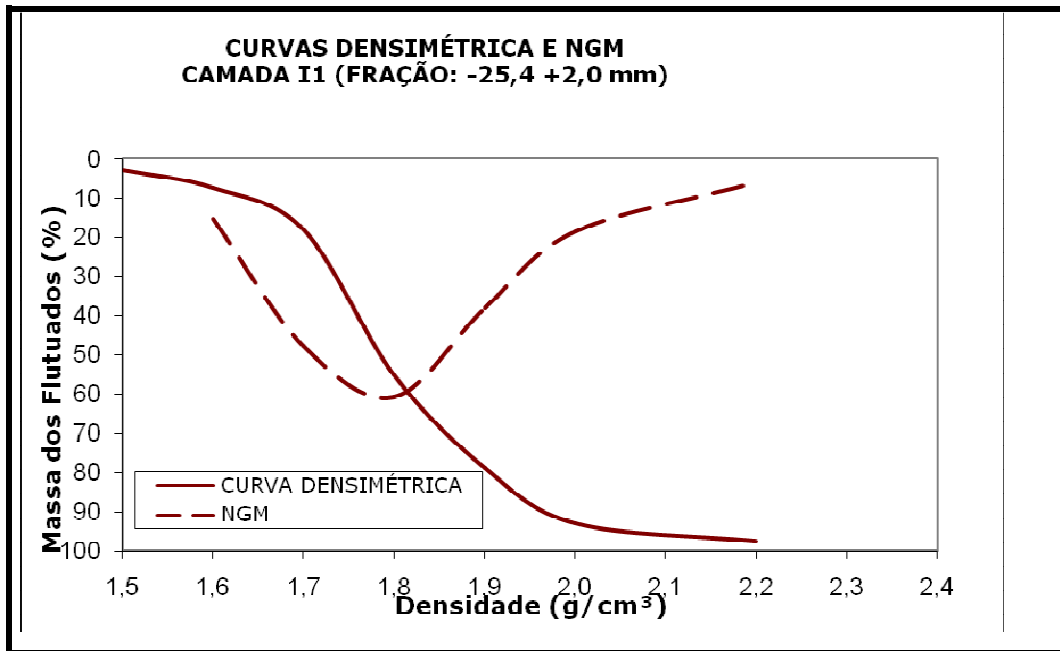


Figura 6: Curva densimétrica e NGM. Fração -25,4 +2,0 mm. [FONTE : Karime Ferreira de Souza, 2011].

Na fração -2,0 + 0,1 mm da camada I1 foi realizado o mesmo procedimento para calcular as massas dos flutuados e afundados, conforme mostram as figuras 7 e 8.

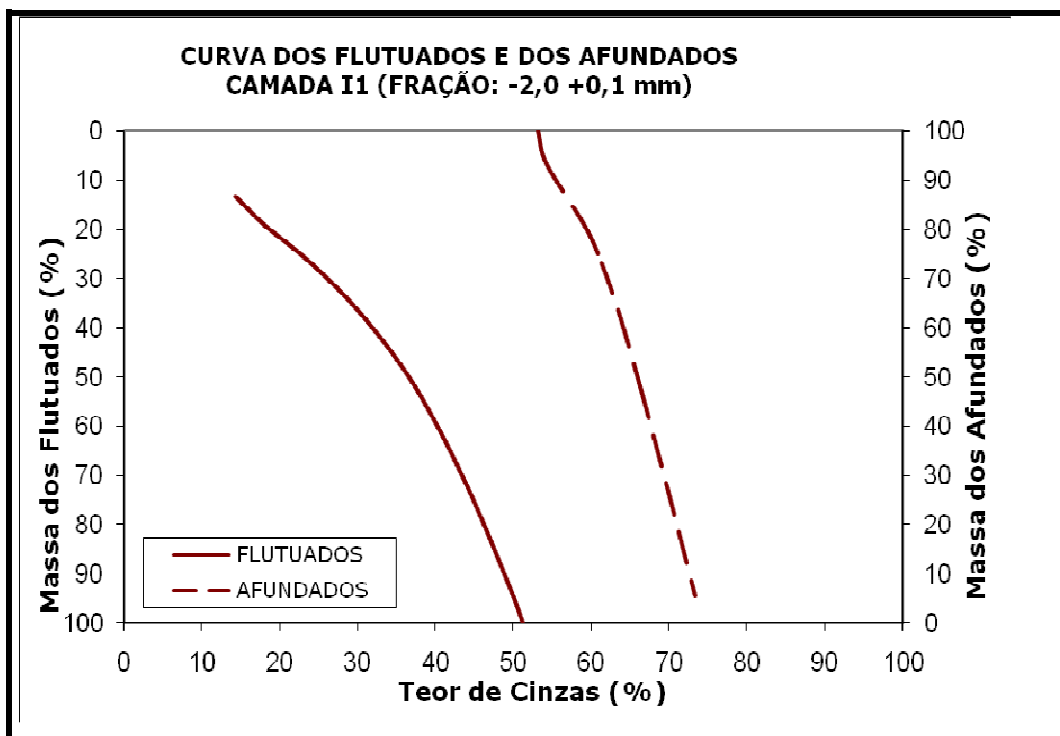


Figura 7: Curva dos flutuados e afundados usadas para o cálculo das suas respectivas massas. Fração -2,0 +0,1 mm. [FONTE : Karime Ferreira de Souza, 2011].

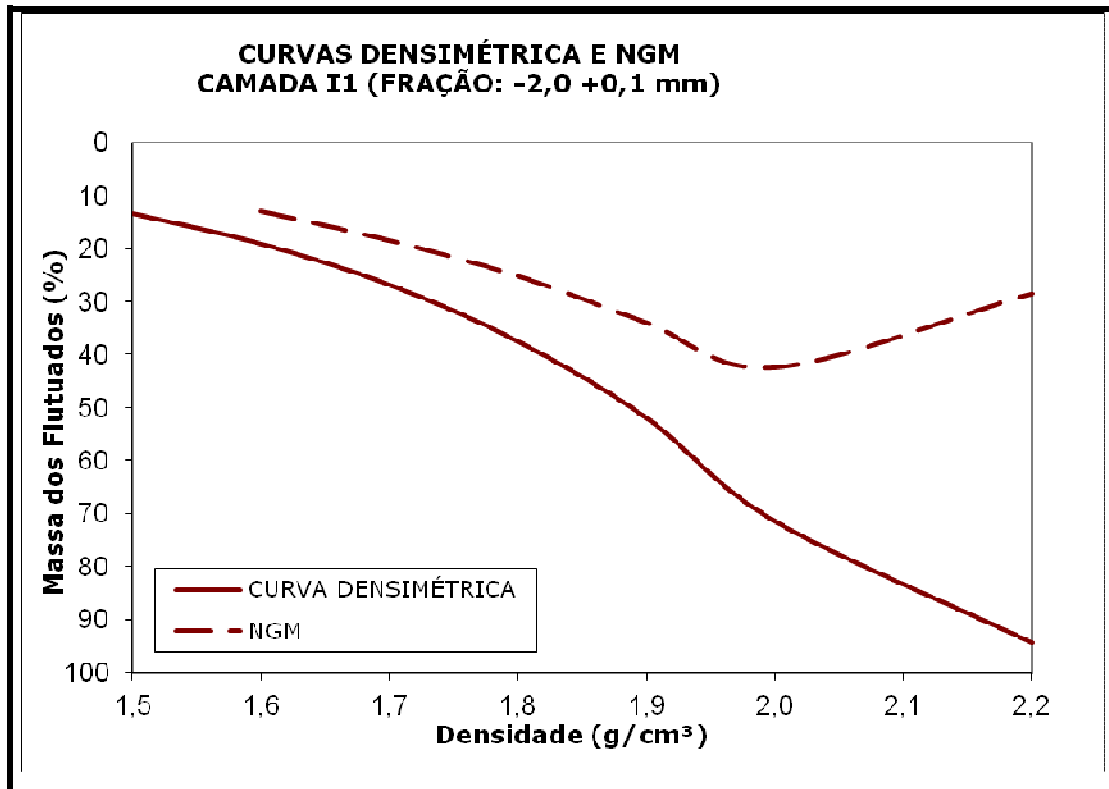


Figura 8: Curvas densimétrica e de NGM. Fração -2,0 +0,1 mm. [Adaptado: Karime Ferreira de Souza, 2011].

Para o cálculo do teor de enxofre total, a metodologia usada foi similar ao do cálculo das massas dos afundados e flutuados mostradas para a camada I1 nas duas frações granulométricas. Uma vez determinadas estas massas, pôde-se calcular os teores de enxofre total correspondentes a curva dos flutuados nas frações -25,4 +2,0 mm e -2,0 +0,1 mm mostradas nas figuras 9 e 10, respectivamente.

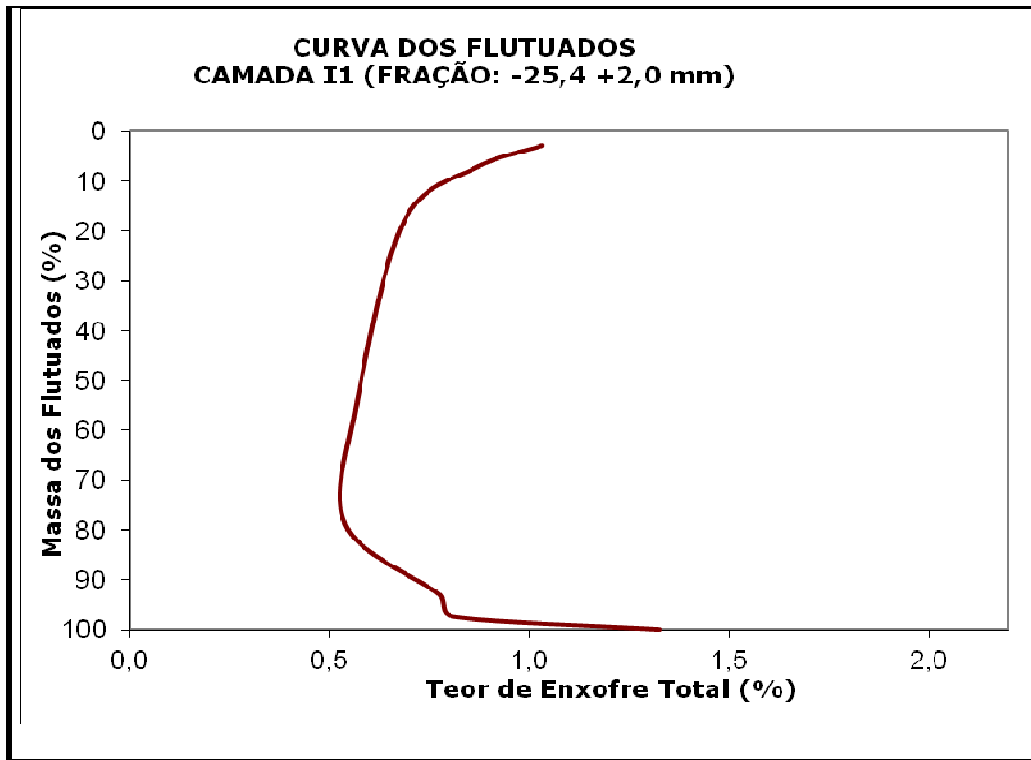


Figura 9: Curva dos flutuados para determinar o teor de enxofre total da camada I1 na fração - 25,4 +2,0 mm. [Adaptado : Karime Ferreira de Souza, 2011].

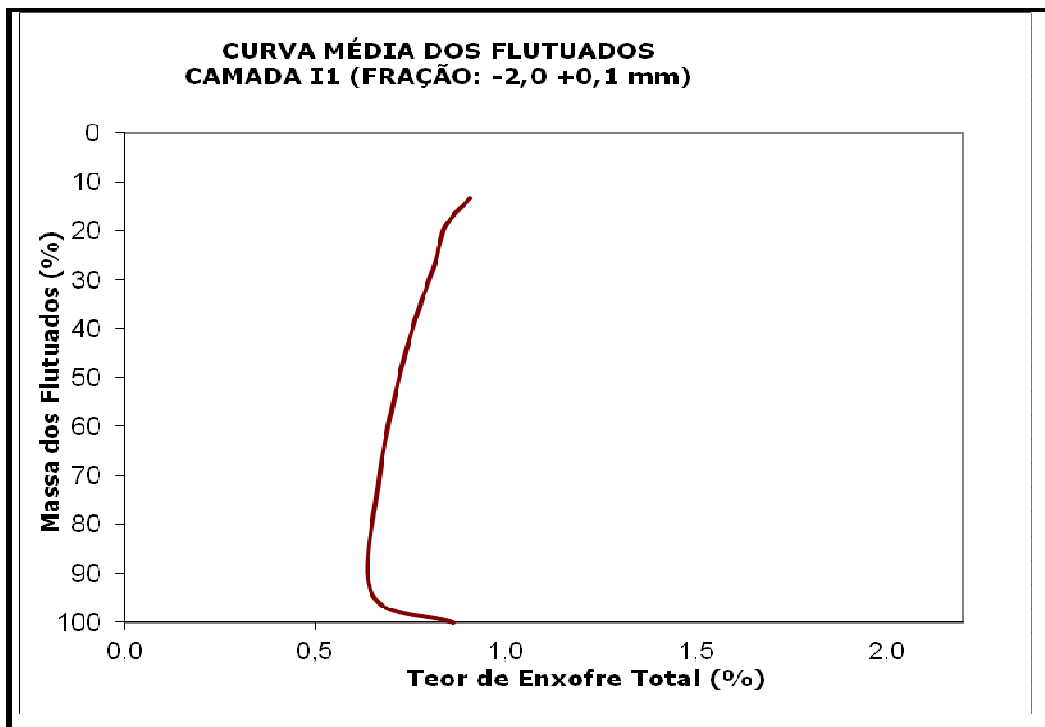


Figura 10: Curva dos flutuados para determinar o teor de enxofre total da camada I1 na fração -2,0 +0,1 mm. [Adaptado: Karime Ferreira de Souza, 2011].

A tabela 5 mostra as massas dos flutuados e afundados, além dos valores de NGM da camada II, calculados a partir das suas respectivas curvas, na fração -25,4 +2,0 mm, nos três cortes de cinzas.

Tabela 5: Tabela comparativa para um possível beneficiamento gravimétrico da camada II. Fração -25,4 + 2,0 mm.

Camadas	Alimentação (100%)	Teor de cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Teor de enxofre total (%)	Massa dos afundados (%)	Teor de enxofre total (%)	NGM (%)	Rec. Total (%)
I1	100	35	6	0,8	94	0,86	---	100
I1	100	42	18	0,7	82	1,3	46	100
I1	100	48	38	0,5	62	1,4	59	100

3.4 Cálculo da recuperação das massas teóricas nas camadas de carvão

Para o cálculo da recuperação mássica teórica das camadas utilizadas nesse estudo utilizou-se a espessura de cada camada a partir dos perfis de furos de sondagem. O cálculo da espessura de carvão de cada camada foi realizado mediante a subtração da sua profundidade final com a inicial. Com as espessuras de cada camada determinada foram calculados os percentagens das massas teóricas de cada camada por furo: espessura da camada dividida pela espessura total do furo, multiplicado por 100%. As espessuras das camadas foram calculadas a partir dos perfis em anexo de 1 a 8, correspondentes as figuras 30 a 37.

3.5 Elaboração de fluxogramas de beneficiamento

Para a elaboração dos fluxogramas, foram calculadas as massas teóricas do concentrado e do rejeito, a partir dos dados referentes a massa retida para cada camada, nas em ambas as frações granulométricas -25,4 +2,0 mm e -2,0 +0,1 mm. Os dados das frações finas (-0,1 mm), foram considerados como rejeito. Frações abaixo de 0,1 mm não são utilizados em processos gravimétricos.

A partir dos dados da alimentação e da fração descartada, assim como os valores das massas dos afundados e flutuados, foi possível calcular o concentrado e o rejeito em cada uma das camadas. em ambas as faixas granulométricas -25,4 +2,0 mm e -2,0 +0,1 mm.

Na tabela 6 podem ser vistos os dados obtidos mediante o cálculo do concentrado e do rejeito das camadas presentes no furo 364 (S5, S8, BL, I2 e I4) na fração -25,4 +2,0 mm. Para o cálculo dos concentrados foram utilizadas as massas da alimentação multiplicadas pela massa dos flutuados, divididas por 100%. Já para o cálculo do rejeito foram utilizadas as massas da alimentação, multiplicadas pelas massas dos afundados, divididas por 100%. A soma da massa dos concentrados e a massa dos rejeitos, devem ser iguais à soma das massas de alimentação, ou seja, concentrado + rejeito = alimentação.

Tabela 6: Cálculo da massa teórica do concentrado e rejeito, na fração -25,4 +2,0 mm. Furo 364 – camadas S5, S8, BL, I2 e I4.

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)	Fração fina (%)
	S5	35	89,67	25,00	22,42	75,00	67,25	1,49
	S8	35	90,62	4,00	3,62	96,00	87,00	1,80
	BL	35	91,55	35,00	32,04	65,00	59,51	1,27
	I2	35	89,52	3,00	2,69	97,00	86,83	1,68
	I4	35	87,88	48,00	42,18	52,00	45,70	1,96

Os demais resultados do cálculo do concentrado e rejeito dos furos 364 das camadas (S5, S8, BL, I2, e I2); furo 368 das camadas (S4, S6, S8, BL, I1 e I2); furo 371 das Camadas (S2, S3, S4, S5, S8, BL, I2, I3, I4 e I5), assim como o furo 372 das camadas (S4, S5, S6, BL, I2, I3, e I4), podem ser vistas nos anexos 39 a 44, correspondentes as tabelas 33 a 38, nas frações -25,4 +2,0 mm e -2,0 +0,1 mm respectivamente.

Tabela 7: Recuperação teórica do concentrado e rejeito na fração -2,0 +0,1 mm. Furo 364 – camadas S5, S8, BL, I2 e I4.

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)	Fração descartada
	S5	35	8,84	66,00	5,83	34,00	3,01	1,49
	S8	35	7,59	26,00	1,97	74,00	5,62	1,80
	BL	35	7,18	60,00	4,31	40,00	2,87	1,27
	I2	35	8,81	54,00	4,76	46,00	4,05	1,68
	I4	35	10,16	78,00	7,92	22,00	2,24	1,96

Deve ser salientado que a soma do concentrado e rejeito (massa que afundou mais a fração -0,1 mm) devem ser igual a alimentação (100%). Assim, por exemplo, camada superior 5 possui um concentrado de **28,25%** e um rejeito de **70,26% + 1,49%** da fração descartada que somados darão 100%.

3.6 Cálculo da recuperação mássica e teor de cinzas

Para o cálculo da média ponderada da massa teórica e do teor de cinzas, as camadas de carvão foram divididas em dois grupos considerando a blendagem das camadas inferiores e a blendagem das camadas superiores suas respectivas frações -25,4 +2,0 mm e -2,0 +0,1 mm Para tanto foram utilizadas as espessuras médias de cada camada considerando os oito furos presentes.

Para o cálculo do percentual da massa média total de cada blendagem, foram utilizadas as médias das espessuras de cada camada em relação a todos os furos, multiplicadas pelo percentual das massas de cada faixa densimétrica por camada, repetindo-se assim o procedimento até a última camada. O somatório das percentagens mássicas de todas as camadas nas diferentes faixas densimétricas deve ser igual a 100%.

Abaixo é ilustrado um exemplo de como foi feito o cálculo da massa ponderada da camada inferior 1 na densimétrica de 1,5 g/cm³.

$$[(AI1*YI1) + (BI2*YI1) + \dots \dots \dots (AI5*BI5)]$$

Onde:

AI1: espessura média da camada em relação a todos os 8 furos em estudo (m)

BI1: massa teórica (%).

Para o teor de cinzas foram usados os percentuais dos teores de cinzas multiplicados pelos percentuais mássicos correspondentes em cada faixa densimétrica de cada camada. Tal resultado foi dividido pelo soma total das massas por faixa densimétrica de cada camada (Média ponderada. Cálculo da percentagem de teor de cinzas referente a camada I5, densimétrica de 1,5 g/cm³.

$$[(XI1 *YI1) + (XI2*YI2) + \dots \dots \dots (X5*Y5) / 74, 14]$$

Onde:

XI1: teor de cinzas (%).

YI1: massa da camada (m).

74,14: soma das massas das camadas (**I1**+.....**I5**) na densimétrica de 1,5 g/cm³.

3.7 Curvas médias dos flutuados, afundados , densimétricas e de NGM

Para a elaboração das curvas médias dos flutuados, afundados, densimétricas e NGM, foi realizado o somatório de todas as massas das camadas inferiores e superiores para a suas blendagens. A blendagem foi realizada para cada uma das frações granulométricas -25,4 +2,0 mm e -2,0 +0,1 mm.

As curvas dos flutuados e afundados assim como as densimétricas e de NGM, foram feitas com auxílio de ferramenta computacional, no programa de Excel. A curva densimétrica por exemplo é construída lançando em gráfico a proporção acumulada flutuada na ordenada e a densidade de separação na abscissa. As curvas dos flutuados e de afundados os teores acumulados dos flutuados ou afundados são lançados em gráfico

em função da massa acumulada de flutuados e afundados, respectivamente, para cada intervalo de densidade.

Enquanto para a curva de NGM, esta curva é preparada a partir da proporção de partículas com densidades dentro de um intervalo estabelecido, em função da densidade de separação. Na série de abscissas corresponde aos valores de densidades e na série das ordenadas, os de NGM.

Dessa maneira foram feitas todas as curvas das camadas inferiores e superiores, neste último incluindo a camada banco louco nas frações de -25,4 +2,0 mm e -2,0 +0,1mm em estudo neste trabalho.

4. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

4.1 Tabelas comparativas para o beneficiamento

A fim de conhecer as camadas superiores (S2, S3, S4, S5, S6, S8, S9 e BL) e inferiores (I1, I2, I3, I4 e I5), não mineradas da jazida de Candiota com relação ao beneficiamento gravimétrico, foram elaboradas tabelas comparativas nas faixas -25,4 +2,0 mm e -2,0 +0,1 mm. Tais tabelas foram elaboradas a partir das curvas dos flutuados e afundados, assim como das curvas densimétricas e de NGM. Assim, de acordo com os valores obtidos de NGM, fez-se uma análise minuciosa dessas camadas nos três cortes nos teores de cinzas: 35, 42 e 48%. Os valores obtidos de NGM foram comparados com a tabela 8, sugerida por Bird, *apud* Sampaio e Tavares (2005), que mostra um guia de valores de NGM de acordo com o grau de dificuldade na separação dos materiais através de processos gravimétricos de um determinado carvão.

Tabela 8: Escala de valores do NGM. Modificado: [Bird, *apud* Sampaio e Tavares, 2005].

Proporção entre 0,1 g/cm³ da densidade de separação	Grau de dificuldade esperado	Processo gravimétrico recomendado	Tipo
0-7	Simple	Quase qualquer processo a altas taxas de alimentação	Separação em meio-denso, jígues, calhas, cones, mesas, espirais
7-10	Relativamente simples	Processo eficiente a altas taxas de alimentação	
10-15	Moderadamente difícil	Processo eficiente	
15-25	Difícil	Processos de meio-denso	Separação em meio-denso
>25	Extremamente difícil	Processos de meio-denso com estrito controle da densidade do meio	Separação em meio-denso com controle estrito da densidade do meio

A tabela 9 mostra um estudo de beneficiamento gravimétrico na fração -25,4 +2,0 mm, das camadas inferiores considerando um corte de 35% de teor de cinzas e uma alimentação de 100% *de Run- of -mine*.

De acordo com a tabela 9, as camadas inferiores 3, 4 e 5 assim como a camada superior 2 apresentam as maiores massas teóricas. No entanto, com relação ao NGM > 25%, de acordo com Bird, apud Sampaio e Tavares (2005), o beneficiamento dessas camadas seria extremamente difícil nesse teor de cinzas de 35%. Com relação ao teor de enxofre total, apenas a camada inferior 5 apresenta o teor acima de 2,0%. Já as camadas Banco Louco e a camada inferior 1 são as que apresentam os menores valores desse teor.

Tabela 9: Tabela comparativa para beneficiamento. Corte em 35% de cinzas. Fração -25,4+2,0 mm.

Camadas	Alimentação (100%)	Teor de cinzas (%)	Massa dos fluviados (%)	Teor de enxofre total (%)	Massa dos afundados (%)	Teor de enxofre total (%)	NGM (%)	Rec. Total (%)
I1	100	35	6,0	0,8	94	1,3		100
I2	100	35	3,0	1,1	97	1,1	27	100
I3	100	35	44	1,0	56	0,7	35	100
I4	100	35	48	1,4	52	2,9	37	100
I5	100	35	62	2,1	38	3,1	28	100
S2	100	35	42	1,2	58	6,4	41	100
S3	100	35	16	1,0	84	1,8	32	100
S4	100	35	16	1,5	84	1,9	45	100
S5	100	35	25	1,3	75	2,0	32	100
S6	100	35	22	1,1	78	4,1	35	100
S8	100	35	4,0	1,1	96	4,4		100
S9	100	35	3,0	1,0	97	0,5	26	100
BL	100	35	35	0,7	65	1,1	46	100

A tabela 10 mostra o mesmo estudo de beneficiamento gravimétrico, porém na fração -2,0 +0,1 mm.

De acordo com a tabela 10, somente as camadas superiores 4, 8 e 9, são as que apresentam uma menor recuperação de massa teórica. As demais camadas apresentam

uma boa recuperação mássica, chegando até 80% no caso da camada inferior 5. Portanto, levando em consideração os valores obtidos de NGM, apenas a camada superior 2 apresentaria uma facilidade de beneficia-la em relação as demais, uma vez que a camada superior 2 apresenta um menor valor de NGM.

Quanto ao teor de enxofre total, a sua variação é relativamente muito pequena. Todas as camadas apresentam baixos valores < 2,0% desse teor.

Tabela 10: Tabela comparativa para o beneficiamento. Corte de 35% de cinzas.
Fração -2,0+0,1mm.

Camadas	Alimentação (100%)	Teor de cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Teor de enxofre total (%)	Massa dos afundados (%)	Teor de enxofre total (%)	NGM (%)	Rec. Total (%)
I1	100	35	46	0,8	54	0,86	19	100
I2	100	35	52	1,0	48	1,21	26	100
I3	100	35	78	1,1	22	1,39	18	100
I4	100	35	78	1,3	22	3,79	22	100
I5	100	35	80	1,5	20	3,93	32	100
S2	100	35	85	1,4	15	2,44	13	100
S3	100	35	61	1,8	39	1,91	38	100
S4	100	35	28	1,4	72	1,43		100
S5	100	35	66	1,4	34	1,97	29	100
S6	100	35	72	1,5	28	5,26	26	100
S8	100	35	26	1,2	74	1,13	28	100
S9	100	35	18	0,9	82	0,84		100
BL	100	35	60	0,5	40	0,94	28	100

Tabela 11: Tabela comparativa para o beneficiamento. Corte em 42% de cinzas.
Fração -25,4+2,0mm.

Camadas	Alimentação (100%)	Teor de cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Teor de enxofre total (%)	Massa dos afundados (%)	Teor de enxofre total (%)	NGM (%)	Rec. Total (%)
I1	100	42	18	0,7	82	1,3	46	100
I2	100	42	28	1,1	72	1,5	42	100
I3	100	42	75	0,9	25	0,8	14	100
I4	100	42	74	1,3	26	1,7	12	100
I5	100	42	85	1,1	15	1,7	18	100
S2	100	42	77	1,3	23	1,4	30	100
S3	100	42	28	1,0	72	1,9	44	100
S4	100	42	30	1,1	70	1,9	42	100
S5	100	42	44	1,0	56	2,0	36	100
S6	100	42	45	1,0	55	1,7	48	100
S8	100	42	14	0,8	86	0,9	20	100
S9	100	42	14	1,2	86	0,5		100
BL	100	42	70	0,6	30	1,4	32	100

A tabela 11 mostra um estudo de beneficiamento gravimétrico na fração -25,4 +2,0 mm, das camadas inferiores e superiores considerando um corte de 42% de teor de cinzas e uma alimentação de 100% de *Run- of -mine*.

De acordo com a tabela 11, as camadas inferiores 3, 4 e 5 e as camadas superiores S2 e Banco Louco, são as que apresentam uma maior massa teórica. Entretanto, com relação aos valores NGM apenas as camadas inferiores 3 e 4 seriam mais fáceis de serem beneficiadas em relação as demais (valores de NGM entre 10 e 15%).

Com relação ao teor de enxofre total, a porcentagem não varia tanto entre elas sendo a camada Banco Louco com o menor percentual de 0,6%.

Tabela 12: Tabela comparativa para o beneficiamento. Corte em 42% de cinzas.
Fração -2,0 +0,1 mm.

Camadas	Alimentação (100%)	Teor de cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Teor de enxofre total (%)	Massa dos afundados (%)	Teor de enxofre total (%)	NGM (%)	Rec. Total (%)
I1	100	42	78	0,6	22	1,0	41	100
I2	100	42	74	0,9	26	1,6	30	100
I3	100	42	99	0,9	1,0	1,2	20	100
I4	100	42	91	1,3	9,0	4,6	20	100
I5	100	42	99	1,5	1,0	3,6	21	100
S2	100	42						
S3	100	42	88	1,5	12	2,5	19	100
S4	100	42	44	1,3	56	1,4	34	100
S5	100	42	84	1,4	16	2,3	21	100
S6	100	42	94	1,4	6,0	6,9		100
S8	100	42	46	1,2	54	0,8	38	100
S9	100	42	34	0,6	66	0,9	31	100
BL	100	42	84	0,7	16	1,3		100

A tabela 12 mostra um estudo de beneficiamento gravimétrico na fração -2,0 + 0,1 mm, correspondente as camadas inferiores e superiores no corte de teor de cinzas fixado em 42%.

Com relação aos resultados mostrados na tabela 12, a maioria das camadas apresentam uma boa recuperação mássica teórica podendo atingir uma massa teórica de 99% nas camadas inferiores 3 e 5 as camadas superiores 4, 8 e 9, são as que apresentam a menor recuperação mássica teórica. Quanto ao NGM, a grande maioria das camadas apresentam valores > 25%, o que representaria maior dificuldade em beneficiá-las.

A camada inferior 1 e a camada superior 9, apresentam o menor percentual de enxofre tota (0,6%). Mas ainda assim para todas as demais camadas tal teor é considerado baixo para os padrões brasileiros < 2,0%.

Tabela 13: Tabela comparativa para o beneficiamento. Corte em 42% de cinzas.
Fração -25,4 +2,0 mm.

Camadas	Alimentação (100%)	Teor de cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Teor de enxofre total (%)	Massa dos afundados (%)	Teor de enxofre total (%)	NGM (%)	Rec. Total (%)
I1	100	48	38	0,5	62	1,4	59	100
I2	100	48	50	0,9	50	1,7	43	100
I3	100	48	88	0,8	12	1,2	20	100
I4	100	48	94	1,8	6,0	7,4	16	100
I5	100	48						
S2	100	48	99	1,4	1,0	41,4		100
S3	100	48	50	1,2	50	9,4	55	100
S4	100	48	42	1,0	58	2,3	46	100
S5	100	48	68	1,0	32	2,0	21	100
S6	100	48	78	1,2	22	4,4	12	100
S8	100	48	30	0,6	70	1,0	56	100
S9	100	48	28	0,5	72	0,5	41	100
BL	100	48	92	0,5	8,0	1,1	13	100

A tabela 13 ilustra um estudo de beneficiamento gravimétrico na fração de -25,4 +2,0 mm, correspondente as camadas inferiores e superiores, no corte de teor de cinzas em 48% e considerada uma alimentação de 100% de carvão não beneficiado.

De acordo com a tabela 13 apenas a camadas inferior 1 e as superiores 8 e 9 são as que apresentam uma recuperação mássica teórica baixa (abaixo de 40%), enquanto que a camada superior 2 apresenta a maior recuperação de todas com 99%. No entanto, no que se refere ao NGM os valores estão acima de 25%, com exceção das camadas superior 6 e Banco Louco com 12 e 13 % respectivamente. Com relação ao teor de enxofre total, todas as camadas apresentam baixos valores < 2,0%.

Tabela 14: Tabela comparativa para o beneficiamento. Corte em 42% de cinzas. Fração -2,0 +0,1 mm.

Camadas	Alimentação (100%)	Teor de cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Teor de enxofre total (%)	Massa dos afundados (%)	Teor de enxofre total (%)	NGM (%)	Rec. Total (%)
I1	100	48	86	0,7	14	0,9	34	100
I2	100	48	92	1,0	8,0	1,1	28	100
I3	100	48	99	1,9	1,0	1,3	16	100
I4	100	48	99	1,2	1,0	2,0	38	100
I5	100	48	99	1,8	1,0	2,3	10	100
S2	100	48						
S3	100	48						
S4	100	48	64	1,2	36	6,4	39	100
S5	100	48	99	1,8	1,0	6,7	6,0	100
S6	100	48						
S8	100	48	62	1,5	38	1,1	48	100
S9	100	48	52	0,7	48	0,9	49	100
BL	100	48	99	0,8	1,0	1,7	28	100

A tabela 14 mostra o mesmo estudo de beneficiamento gravimétrico, porém na fração de -2,0 +0,1 mm e um corte em 48% de cinzas.

A tabela 14 mostra que a recuperação da massa teórica é alta, estando acima de 50% para todas as camadas. Com relação aos valores de NGM, apenas as camadas inferior 5 e superior 5, apresentam valores baixos (valores iguais e menores que 10%) o que representaria a menor dificuldade na hora de beneficiá-las. Com relação ao teor de enxofre total, as camadas de forma geral apresentam um teor total abaixo de 2,0%.

4.2 Cálculo da massa teórica das camadas dos furos de carvão de Candiota

Num total de 8 perfis de furos de sondagem realizados na região de Candiota (364, 365, 366, 368, 369, 370, 391 e 372), tais perfis podem ser vistos nos anexos 1 a 8 correspondentes as figuras 30 a 37. Todos eles foram fornecidos igualmente pela

doutoranda Karime Ferreira de Souza, neles foram calculadas as percentagens mássicas teóricas em todas as camadas de carvão na área de estudo.

Tabela 15: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão - Furo 364.

Camadas	Profundidade (m)		Espessura (m)	Massa (%)
	Inicial	Final		
S3	16,88	17,27	0,39	5,56
S4	18,05	18,47	0,42	5,99
S5	18,99	20,28	1,29	18,40
S6	22,8	23,18	0,38	5,42
S8	27,6	27,76	0,16	2,28
S9	28,97	29,06	0,09	1,28
BL	29,91	30,69	0,78	11,13
I1	40,25	40,40	0,15	2,14
I2	43,14	44,67	1,53	21,83
I3	45,78	46,00	0,22	3,14
I4	46,36	47,53	1,17	16,69
I5	48,7	49,13	0,43	6,13
Total			7,01	100

Na tabela 15, referente ao furo 364, o somatório das espessuras é de 7,01 m. Isso corresponde a soma das médias das espessuras das camadas (total de 12 camadas) em relação aos 8 furos de sondagem. A camada superior 5 é a que apresenta maior percentagem mássica de 18,40%.

Tabela 16: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão - Furo 365.

Camadas	Profundidade (m)		Espessura (m)	Massa (%)
	Inicial	Final		
S3	13,40	13,82	0,42	7,81
S4	14,49	14,83	0,34	6,32
S5	15,61	16,74	1,13	21,00
S6	20,00	20,08	0,08	1,49
S8	21,57	22,09	0,52	9,67
S9	22,55	22,71	0,16	2,97
BL	23,71	24,41	0,70	13,01
I1	36,61	37,74	1,13	21,00
I2	38,57	39,47	0,90	16,73
Total			5,38	100

A tabela 16 corresponde ao furo 365, o somatório das espessuras é de 5,38 m, correspondentes a 9 camadas em relação aos 8 furos de sondagem, entre elas as que apresentaram uma maior mássica teórica foram as camadas superior 5 e inferior 1 com 21 % cada uma.

A tabela 17 corresponde ao furo 366 o somatório das espessuras é de 3,47 m, isso corresponde a soma das médias das espessuras de 6 camadas, das quais a camada superior 6 é que apresenta maior massa teórica de 40,92%.

Tabela 17: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão - Furo 366.

Camadas	Profundidad (m)		Espessura (m)	Massa (%)
	Inicial	Final		
S4	25,85	26,10	0,25	7,20
S5	26,82	27,30	0,48	13,83
S6	27,86	29,28	1,42	40,92
S8	33,98	34,11	0,13	3,75
S9	34,38	34,91	0,53	15,27
BL	36,74	37,40	0,66	19,02
Total			3,47	100

A tabela 18, corresponde ao furo 368 o somatório das espessuras é de 7,28 m, em relação aos 8 furos de sondagem correspondente a 9 camadas estudadas, das quais a camada superior 6 é a que apresenta uma maior massa teórica de 19,92%.

Tabela 18: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão- Furo 368.

Camadas	Profundidade (m)		Espessura (m)	Massa (%)
	Inicial	Final		
S4	11,71	12,51	0,80	10,99
S5	13,21	13,6	0,39	5,36
S6	14,15	15,60	1,45	19,92
S8	19,86	20,96	1,10	15,11
S9	21,38	21,61	0,23	3,16
BL	22,35	23,13	0,78	10,71
I1	35,60	36,86	1,26	17,31
I2	38,31	39,37	1,06	14,56
I3	41,67	41,88	0,21	2,88
Total			7,28	100

Tabela 19: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão- Furo 369.

Camadas	Profundidade (m)		Espessura (m)	Massa (%)
	Inicial	Final		
S5	23,92	24,17	0,25	4,27
S6	24,59	25,99	1,4	23,89
S7	28,92	29,19	0,27	4,61
S8	32,37	33,32	0,95	16,21
S9	33,69	33,94	0,25	4,27
BL	34,71	35,35	0,64	10,92
I1	47,33	48,26	0,93	15,87
I2	50,05	51,06	1,01	17,24
I3	52	52,16	0,16	2,73
Total			5,86	100

O perfil 369, corresponde a tabela 19 onde o somatório das espessuras é de 5,86 m, em relação aos 8 furos de sondagem, num total de 5 camadas. De todas as camadas deste perfil, a que apresenta maior massa teórica é a camada superior 6 com 23,89%.

A tabela 20 corresponde ao furo 370, onde o somatório das espessuras médias em relação aos 8 furos de sondagem é de 3,67 m correspondentes a 5 camadas. Dentre elas a camada inferior 1 é que apresenta maior percentagem de massa teórica de 31,61%.

Tabela 20: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão- Furo 370.

Camadas	Profundidade (m)		Espessura (m)	Massa (%)
	Inicial	Final		
S8	4,49	4,7	0,21	5,72
S9	4,83	5,43	0,60	16,35
BL	6,29	6,89	0,60	16,35
I1	19,92	21,08	1,16	31,61
I2	22,43	23,53	1,10	29,97
Total			3,67	100

Na tabela 21, referente ao furo 371, o somatório das espessuras é de 10,92 m. Isso corresponde a soma das médias das espessuras das camadas (total de 13 camadas) em relação aos 8 furos de sondagem. A camada que apresentou maior percentagem mássica é a camada superior 2, com 13,74%.

Tabela 21: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão - Furo 371.

Camadas	Profundidade (m)		Espessura (m)	Massa (%)
	Inicial	Final		
S2	32,97	34,47	1,50	13,74
S3	35,91	36,96	1,05	9,62
S4	37,50	38,18	0,68	6,23
S5	38,77	40,25	1,48	13,55
S6	42,10	42,26	0,16	1,47
S8	46,08	47,20	1,12	10,26
S9	47,45	47,69	0,24	2,20
BL	48,33	49,18	0,85	7,78
I1	59,53	59,74	0,21	1,92
I2	62,67	64,10	1,43	13,10
I3	65,92	66,41	0,49	4,49
I4	66,82	67,86	1,04	9,52
I5	68,39	69,06	0,67	6,14
Total			10,92	100

Na tabela 22 referente ao furo 372, o somatório das espessuras é de 9,79 m. Isso corresponde a soma das médias das espessuras das camadas (total de 11 camadas) em relação aos 8 furos de sondagem.

De todas as camadas presentes no furo, a que apresenta maior percentagem mássica teórica é a camada inferior 3 com 19,61%.

Tabela 22: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão - Furo 372.

Camadas	Profundidade (m)		Espessura (m)	Massa (%)
	Inicial	Final		
S3	15,41	15,68	0,27	2,76
S4	16,50	17,85	1,35	13,79
S5	18,61	19,20	0,59	6,03
S6	19,84	21,19	1,35	13,79
S8	25,06	25,25	0,19	1,94
S9	26,66	27,61	0,95	9,70
BL	28,3	29,25	0,95	9,70
I1	39,69	39,83	0,14	1,43
I2	43,13	44,37	1,24	12,67
I3	45,69	47,61	1,92	19,61
I4	49,03	49,87	0,84	8,58
Total			9,79	100

4.3 Cálculo da massa teórica das camadas dos furos. Cortes de 35, 42 e 48% de teores de cinzas.

Foram definidos três cortes 35, 42 e 48% de cinzas, nas frações -25,4 +2,0 mm e 2,0 +0,1 mm. A escolha destes teores se deve as exigências mínimas exigidas pelo mercado consumidor de carvão mineral. Os resultados podem ser vistos nas tabelas 23 a 28 correspondentes ao furo 364.

A massa teórica das camadas, foi calculada pela massa dos flutuados, multiplicadas pela sua espessura correspondente, dividido pela espessura total do furo. Este procedimento foi usado para todos os furos. No trabalho é discutido os resultados do furo 364.

Os demais resultados dos furos com resultados satisfatórios, 368, 371 e 372 podem ser vistos nos anexos 49 a 57, correspondentes as tabelas 45 a 62.

Tabela 23: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão furo 364, corte 35% de cinzas. Fração -25,4 +2,0 mm.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos Flutuados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S3	35	4,00	0,39	0,22
S4	35	4,00	0,42	0,24
S5	35	52,00	1,29	9,57
S6	35	12,00	0,38	0,65
S8	35	4,00	0,16	0,09
S9	35	3,00	0,09	0,04
BL	35	35,00	0,78	3,89
I1	35	6,00	0,15	0,13
I2	35	10,00	1,53	2,18
I3	35	49,00	0,22	1,54
I4	35	46,00	1,17	7,68
I5	35	62,00	0,43	3,80
Soma			7,01	30,04

Como se pode observar na tabela 23, no corte de teores de cinzas de 35%, na fração -25,4 +2,0mm, se observa uma recuperação mássica do furo 364 é de 30,04%, sendo a camada superior 5 com uma maior recuperação de 9,57%.

Tabela 24: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão furo 364, corte 35% de cinzas. Fração -2,0 +0,1 mm.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S3	35	61,00	0,39	3,39
S4	35	28,00	0,42	1,68
S5	35	65,00	1,29	11,96
S6	35	72,00	0,38	3,90
S8	35	27,00	0,16	0,62
S9	35	19,00	0,09	0,24
BL	35	60,00	0,78	6,68
I1	35	28,00	0,15	0,60
I2	35	52,00	1,53	11,35
I3	35	78,00	0,22	2,45
I4	35	76,00	1,17	12,68
I5	35	78,00	0,43	4,78
Soma			7,01	60,34

Para a fração de -2,0 +0,1mm, no mesmo corte de 35% de teor de cinzas a recuperação total é de 60,34%. Assim, a maior percentagem corresponde a camada inferior 4 com 12,68%, enquanto que para a menor recuperação corresponde para a camada superior 9 com 0,24%.

Com relação ao corte de 42% de teor de cinzas na fração -25,4 +2,0 mm, os resultados podem ser vistos na tabela 25.

Tabela 25: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão furo 364, corte 42% de Cz . Fração -25,4 +2,0 mm.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S3	42	28,00	0,39	1,56
S4	42	32,00	0,42	1,92
S5	42	48,00	1,29	8,83
S6	42	48,00	0,38	2,60
S8	42	12,00	0,16	0,27
S9	42	14,00	0,09	0,18
BL	42	72,00	0,78	8,01
I1	42	16,00	0,15	0,34
I2	42	32,00	1,53	6,98
I3	42	76,00	0,22	2,39
I4	42	79,00	1,17	13,19
I5	42	88,00	0,43	5,40
Soma			7,01	51,67

No corte de 42% de teor de cinzas na fração -25,4 +2,0 mm, para o furo 364, segundo a tabela 25, se observa uma recuperação mássica total de 51,67% de massa, sendo na camada inferior 4 a que registrou uma maior recuperação de 13,19%, e a menor correspondeu para a camada superior 9 com 0,18%.

Tabela 26: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão furo 364, corte 42% de cinzas.
Fração -2,0 +0,1 mm.

Camadas	Teor de Cinzas (%)	Massa dos Flutuados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S3	42	88,00	0,39	4,90
S4	42	43,00	0,42	2,58
S5	42	84,00	1,29	15,46
S6	42	94,00	0,38	5,10
S8	42	46,00	0,16	1,05
S9	42	36,00	0,09	0,46
BL	42	86,00	0,78	9,57
I1	42	76,00	0,15	1,63
I2	42	78,00	1,53	17,02
I3	42	71,00	0,22	2,23
I4	42	91,00	1,17	15,19
I5	42	84,00	0,43	5,15
Soma			7,01	80,33

Na fração -2, 0 +0,1 mm, para o corte de 42% de teor de cinzas, os resultados mostram que a recuperação total do furo foi de 80,33%, sendo a maior percentagem correspondido a camada superior 5, com 15,46%; enquanto que para menor percentagem corresponde para a camada superior 9, com 0,46%.

Tabela 27: Cálculo da massa teórica de camadas de carvão furo 364, corte 48% de cinzas.
Fração -25,4 +2,0 mm.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S3	48	49,00	0,39	2,73
S4	48	43,00	0,42	2,58
S5	48	65,00	1,29	11,96
S6	48	78,00	0,38	4,23
S8	48	29,00	0,16	0,66
S9	48	28,00	0,09	0,36
BL	48	92,00	0,78	10,24
I1	48	39,00	0,15	0,83
I2	48	48,00	1,53	10,48
I3	48	88,00	0,22	2,76
I4	48	98,00	1,17	16,36
I5	48		0,43	
Soma			7,01	63,18

Para o corte de 48% de teor de cinzas na fração de -25,4 +2,0 mm, corresponde à tabela 27; segundo os resultados nela contidos, observa-se que a recuperação mássica total do furo foi de 63,18% de massa, sendo a maior percentagem para a camada inferior 4 com 0,36%.

Tabela 28: Cálculo da massa teórica de carvão furo 364, corte 48% de cinzas.

Fração -2,0 +0,1 mm.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos fluviados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S3	48		0,39	
S4	48	62,00	0,42	3,71
S5	48	99,00	1,29	18,22
S6	48		0,38	
S8	48	63,00	0,16	1,44
S9	48	50,00	0,09	0,64
BL	48	99,00	0,78	11,02
I1	48	86,00	0,15	1,84
I2	48	92,00	1,53	20,08
I3	48	99,00	0,22	3,11
I4	48	62,00	1,17	10,35
I5	48	99,00	0,43	6,07
Soma			7,01	76,48

De acordo com a tabela 28, correspondente a fração -2,0 +0,1 mm, a recuperação mássica total do furo é de 76,48%, tendo sido a camada inferior 2, a que apresentou maior percentagem de recuperação na ordem de 20,08%. Por outro lado pode-se notar que a menor recuperação mássica teórica é observada na camada superior 9, com 0,64%.

3.4 Fluxogramas de beneficiamento

Com o objetivo de descrever o processo de recuperação mássica teórica nas camadas de carvão de Candiota, foram elaborados fluxogramas, para todas as camadas nos três cortes de teor de cinzas (35, 42 e 48%) frações -25,4 +2,0 mm e -2,0 +0,1 mm. Depois de uma análise detalhada dos resultados de todos os furos, foram selecionados os melhores resultados. No texto do presente trabalho é discutido o furo 364.

A partir dos dados das massas retidas, da alimentação, massa dos flutuados e afundados, foram calculados os seus respectivos concentrados e rejeitos, nas duas frações. A fração fina de (-0,1 mm), foi considerada para o descarte.

A seguir são mostradas as figuras 11 a 25 contendo os fluxogramas de recuperação mássica teórica do furo 364, nos três cortes 35, 42 e 48% de teor de cinzas respectivamente e nas duas frações -25,4 +2,0 mm e -2,0 +0,1 mm. Os demais fluxogramas dos furos 368 das camadas (S6, S8, BL, I1 e I2); furo 371 das camadas (S8, BL, I2, I3, I4, e I5); e o furo 372 das camadas (S4, S5, S6, BL, I2, I3, e I4) podem ser vistos nos anexos 9 a 38 correspondentes as figuras 38 a 64.

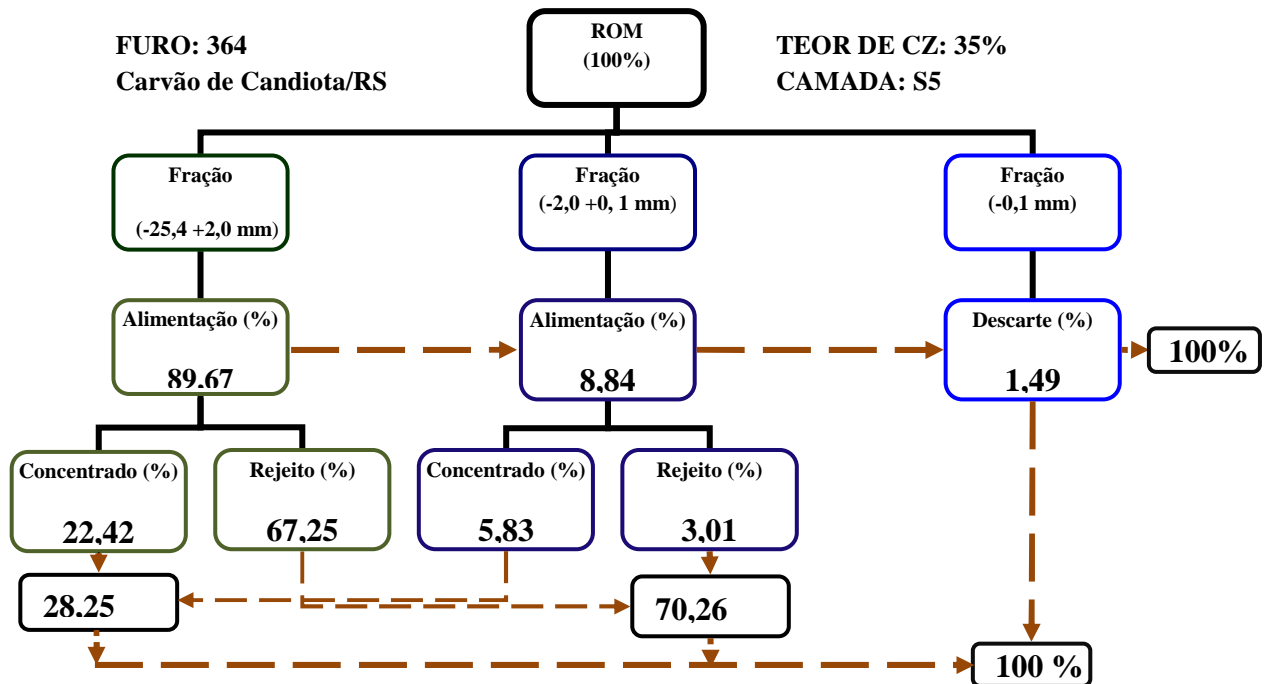


Figura 11: Fluxograma da camada superior 5 para corte de 35% de cinzas.

Como se mostra na figura 11 o fluxograma corresponde a camada superior 5, corte de 35% de teor de cinzas, para uma alimentação de 100% de *run-of-mine* (ROM), mineral bruto não beneficiado na fração 25,4 +2,0 mm com uma alimentação de 89,67%, se obteve um concentrado de 22,42% e um rejeito de 67,25%; enquanto que

para a fração -2,0 +0,1 mm com uma alimentação de 8,84% o concentrado correspondeu a 5,83% com 3,01% de rejeito. De modo geral, para esta camada nas duas frações se registrou um concentrado de 28,25% contra 70,26% de rejeito, sendo a fração fina de 1,49%, foi descartada. A soma das percentagens dos concentrados, rejeitos e a fração fina devem ser igual a 100%.

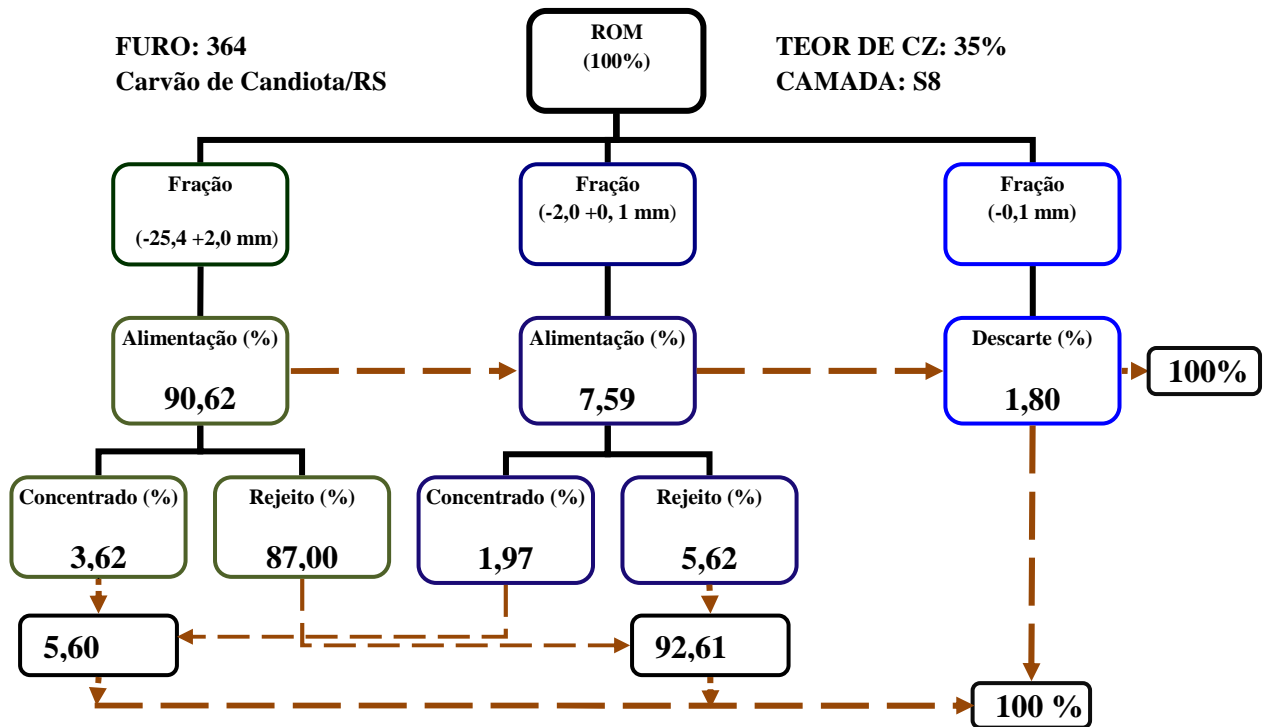


Figura 12: Fluxograma da camada superior 8, corte de 35% de cinzas.

A figura 12 representando a camada superior 8, com uma alimentação de 90,62%, na fração -25,4 +2,0 mm, se obteve um concentrado de 3,62% com 87% de rejeito; enquanto que para a fração de -2,0 +0,1 mm com uma alimentação de 7,59%, o concentrado corresponde a 1,97% com um rejeito de 5,62%, a fração fina descartada de 1,80 % correspondente a -0,1 mm.

De forma geral, para esta camada nas duas frações se registrou-se um concentrado de 5,60% e 92% de rejeito, sendo a fração fina de 1,80% considerada para descarte.

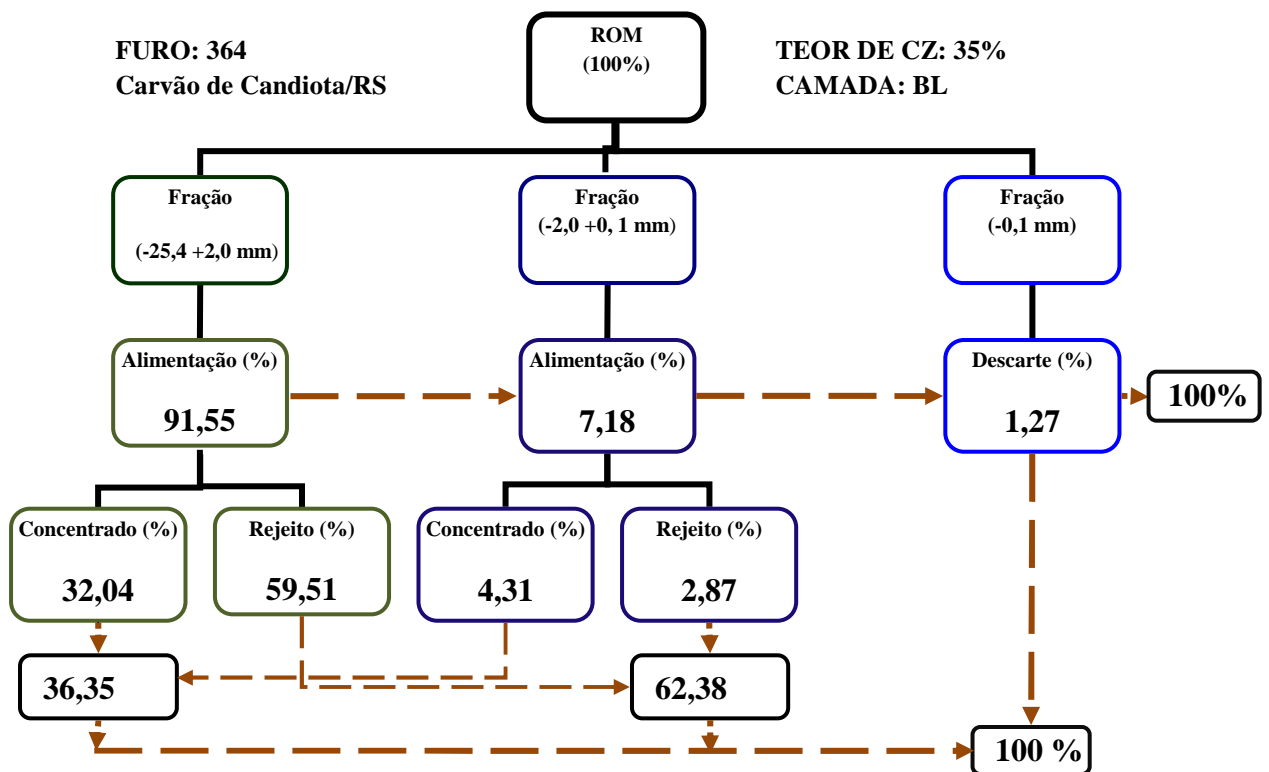


Figura 13: Fluxograma da camada Banco Louco (BL), no corte de 35% de cinzas.

De acordo com a figura 13, que mostra o fluxograma da camada banco louco na fração -25,4 +2,0 mm com uma alimentação de 91,55%, se obteve um concentrado de 32,04% com 59,51% de rejeito; enquanto que para a fração de -2,0 +0,1mm com uma alimentação de 7,18%, o concentrado corresponde a 4,31% com 2,87%. De forma geral, nesta camada o concentrado corresponde a 36,35% e um rejeito de 62,38%, com uma fração fina descartada de 1,27%.

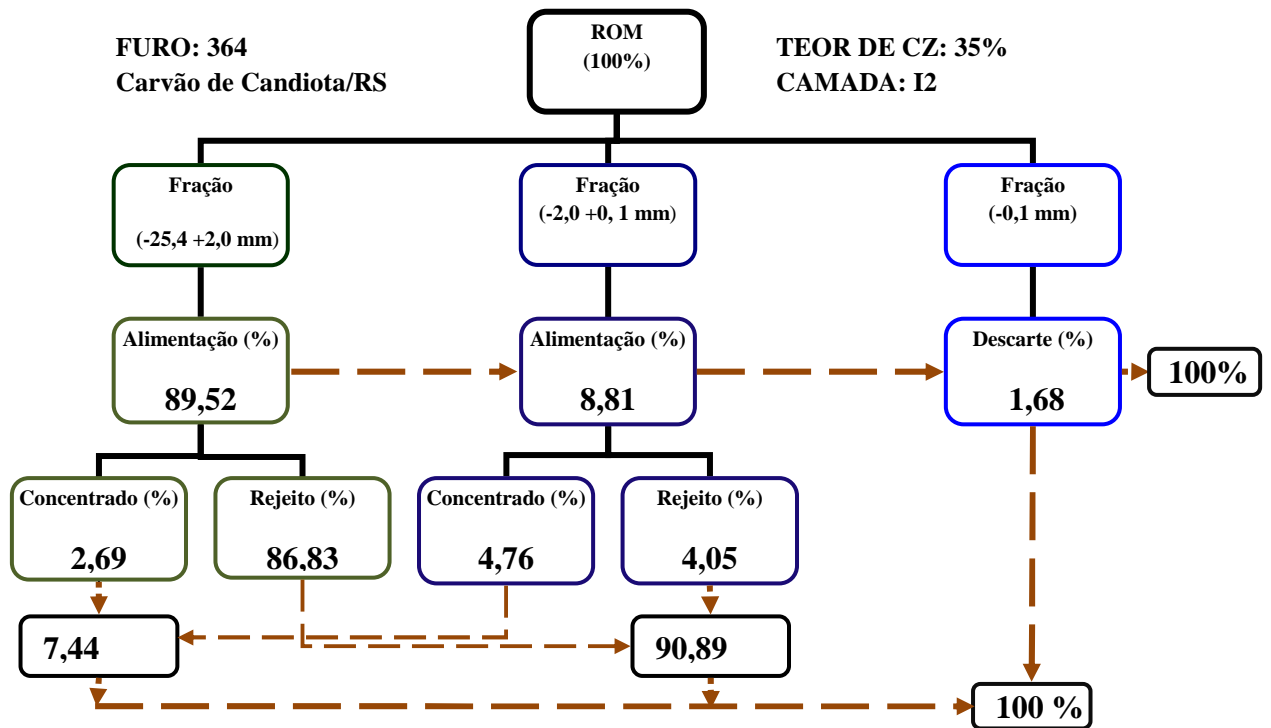


Figura 14: Fluxograma da camada inferior 2 corte de 35% de cinzas.

A camada inferior 2, na fração de -25,4 +2,0 mm com uma alimentação de 89,52% , se obteve um concentrado de 2,69% com 86,83% de rejeito; em relação a fração -2,0 +0,1 mm com uma alimentação de 8,81%, se registrou um concentrado de 4,76% com 4,05% de rejeito. Como mostra o fluxograma, se obteve 7,44% de concentrado com 90,89% de rejeito, sendo a fração fina de 1,68% descartada.

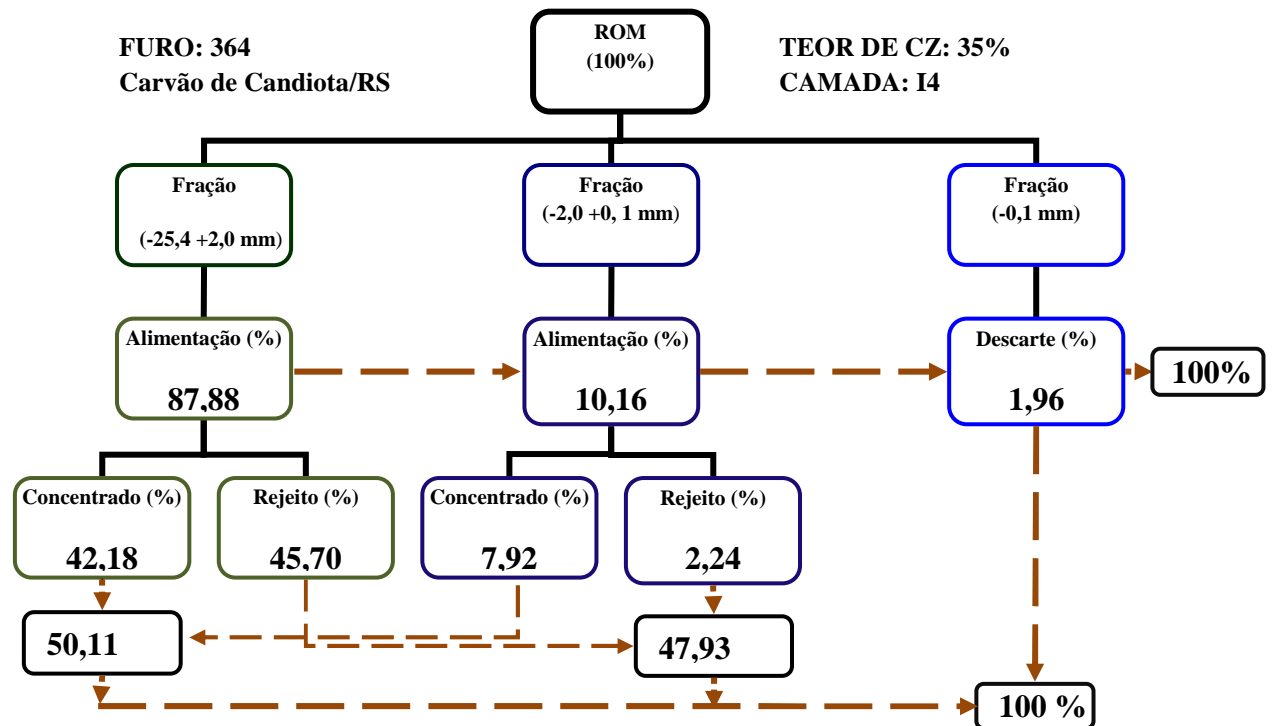


Figura 15: Fluxograma da camada inferior 4, corte de 35% de cinzas.

Como se pode observar na figura 15, correspondente ao fluxograma da camada inferior 4, na fração -25,4 +2,0 mm com uma alimentação de 87,88%, se obteve 42,18% de concentrado com 45,70% de rejeito; enquanto que para a fração -2,0 +0,1 mm com uma alimentação de 10,16%, o concentrado correspondeu para o concentrado 7,92% com 2,24% de rejeito sendo 1,96% a fração fina descartada para este estudo.

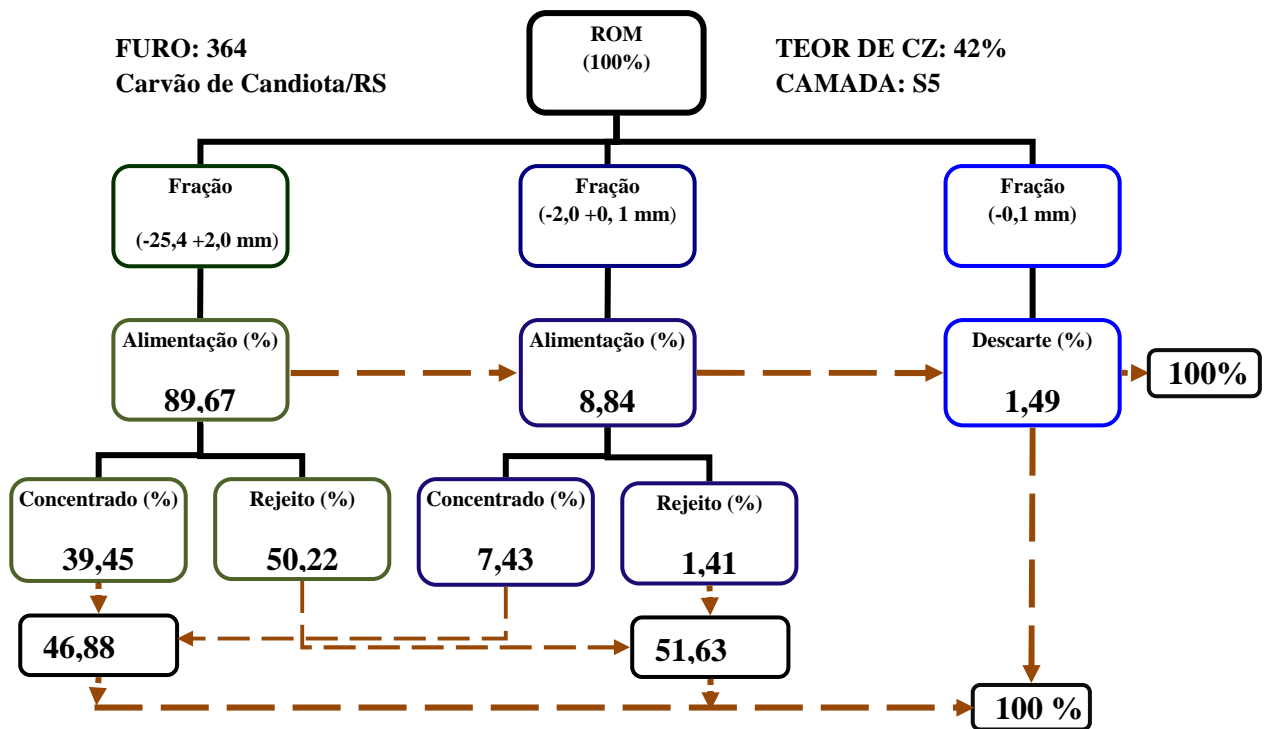


Figura 16: Fluxograma da camada superior 5, corte de 42% de cinzas.

A seguir são discutidos os resultados do corte de teor de cinzas de 42% de cinzas, seus fluxogramas se descrevem a continuação: na fração -25,4 +2,0 mm com uma alimentação de 89,67%, se obteve um concentrado de 39,45% e 50,22% de rejeito. Enquanto que para a fração -2,0 +0,1 mm com uma alimentação de 8,84, se obteve um concentrado de 7,43% e 1,41% de rejeito. a fração fina considerada para o descarte corresponde a 1,49%.

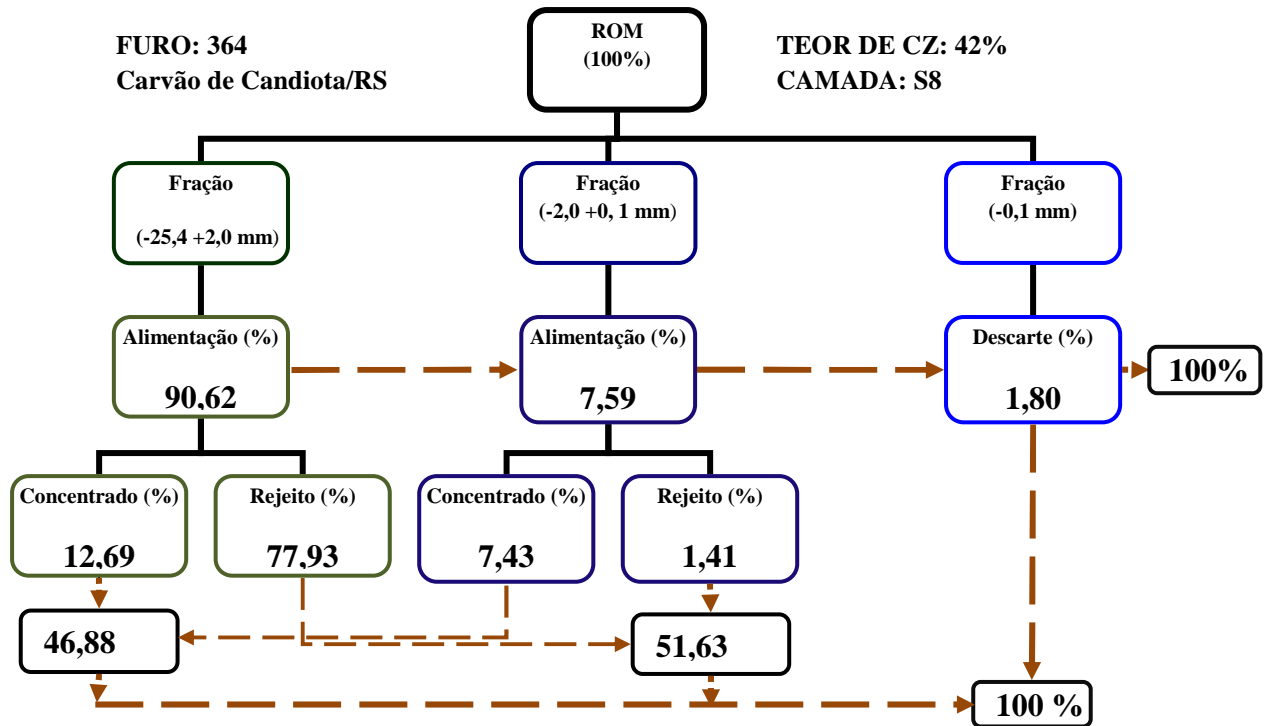


Figura 17: Fluxograma da camada superior 8 (S8), corte de 42% de cinzas.

A figura 17, faz referência do fluxograma para a camada superior 8, onde se pode observar que, na fração de -25,4 +2,0 mm com uma alimentação de 90,62%, se obteve um concentrado de 12,69%, sendo 77,93% de rejeito. Por outro lado, na fração -2,0 +0,1 mm com alimentação de 7,59%, se registou um concentrado de 7,43 % com 1,41% de rejeito. A fração - 0,1 mm foi considerada para descarte correspondendo a 1,80%.

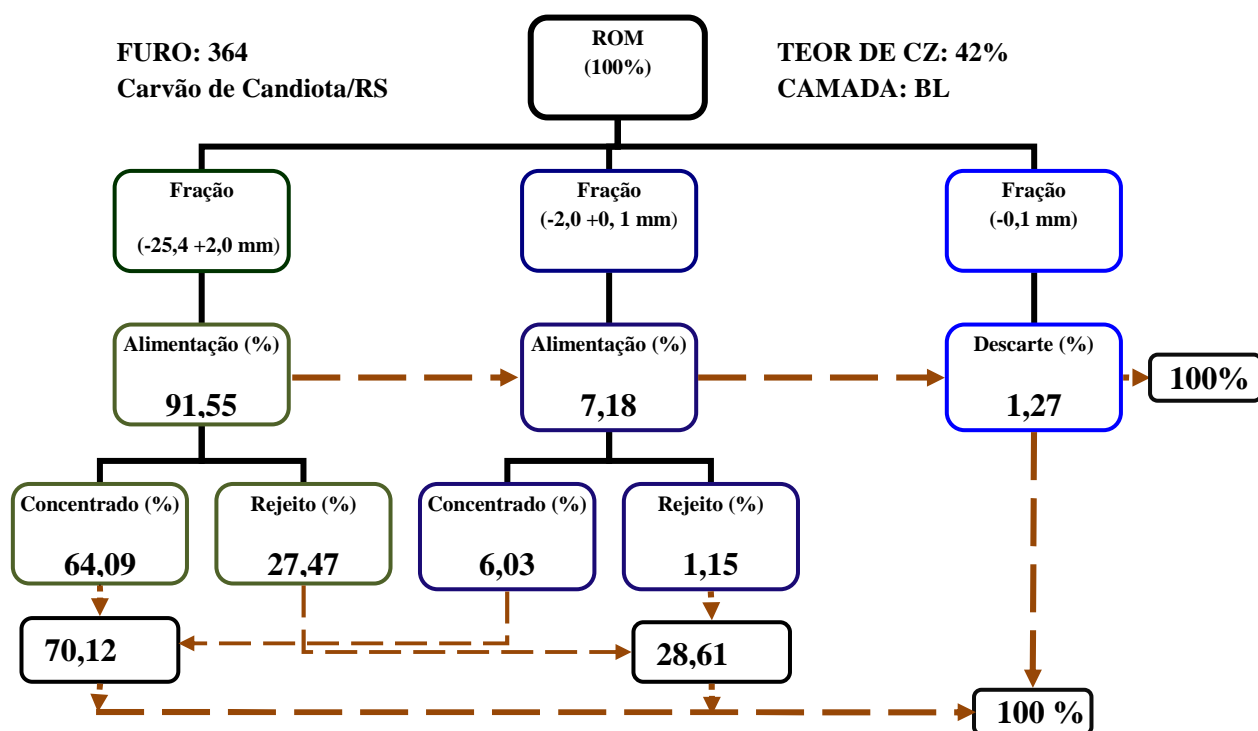


Figura 18: Fluxograma da camada superior 8, corte de 42% de cinzas.

Na figura 18, representa o fluxograma da camada banco louco, de acordo com os dados apresentados, mostram que na fração -25,4 +2,0 mm com 91,55% de alimentação, se obteve um concentrado de 64,09% com 27,47% de rejeito.

Enquanto que para a fração -2,0 +0,1 mm, com uma alimentação de 7,18%, se obteve um concentrado de 6,03% com 1,15% de rejeito. No processo, se obteve um concentrado final de 70,12% contra 28,61% de rejeito, sendo a fração fina de 1,27% considerada para descarte.

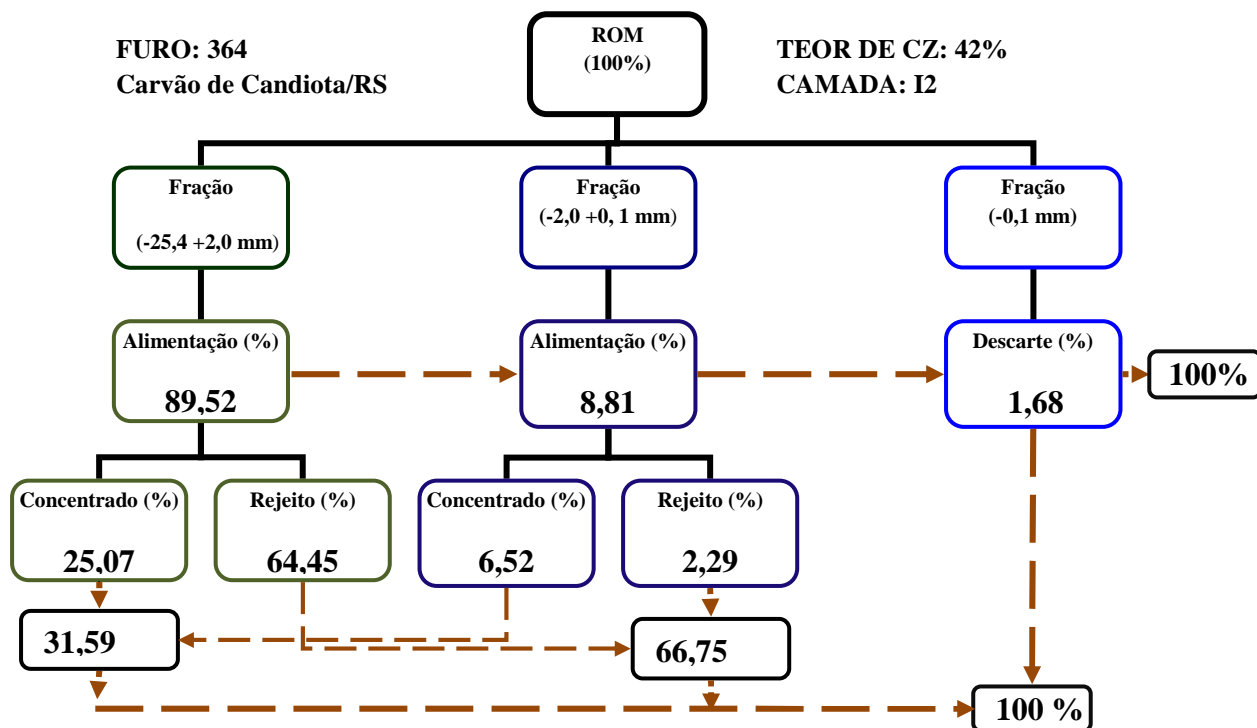


Figura 19: Fluxograma da camada inferior 2, corte de 42% de cinzas.

Segundo a figura 19, referente a camada superior 2, na fração -25,4 +2,0 mm, sendo 89,52% de alimentação se obteve um concentrado de 25,07% com 64,45% de rejeito; enquanto que na fração -2,0 +0,1 mm, com alimentação de 8,81%, se obteve 6,52% de concentrado contra 2,29% de rejeito. No processo se obteve um concentrado de 31,59% de concentrado contra 66,75% de rejeito, sendo a fração fina para descarte de 1,68%.

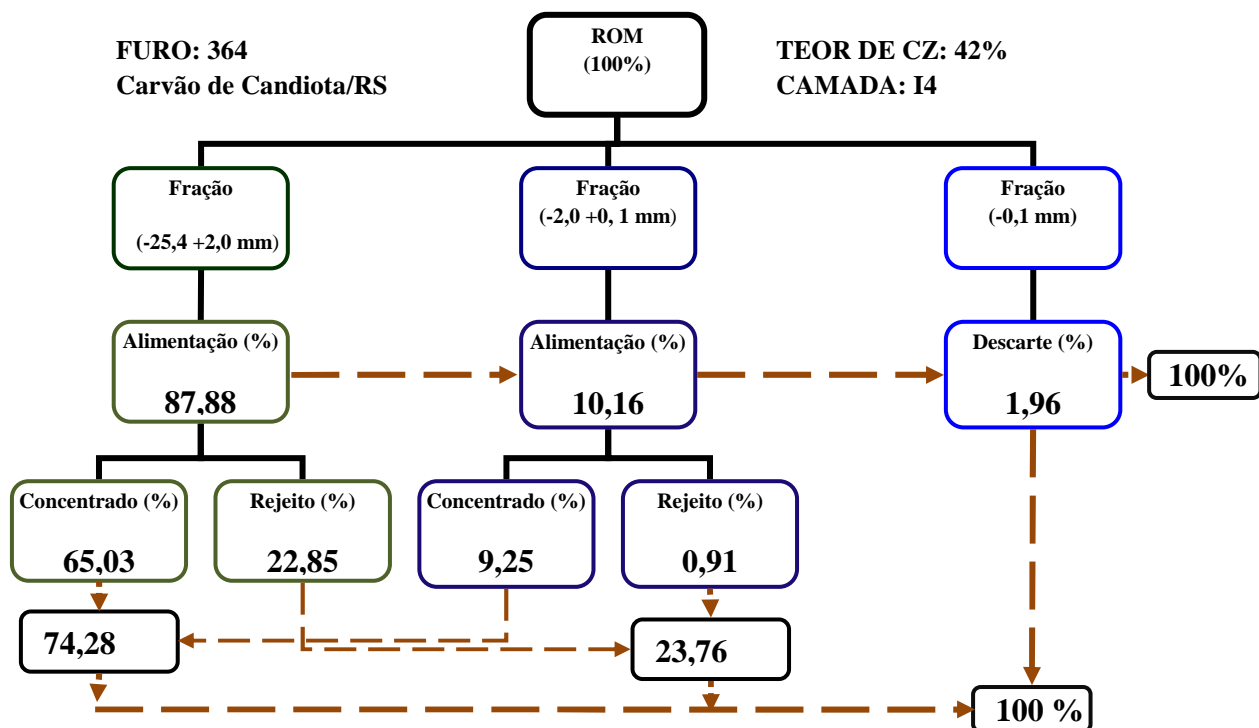


Figura 20: Fluxograma da camada inferior 4, corte de 42% de cinzas.

Referente a figura 20, corresponde ao fluxograma da camada inferior 4, na alimentação na fração -25,4 +2,0 mm, com alimentação de 87,88% se obteve um concentrado de 65,03% com 22,85% de rejeito. Na fração -2,0 +0,1 mm, com uma alimentação de 10,16%, se obteve 9,25% de concentrado contra 0,91 % de rejeito. No processo final, se obteve de concentrado 74,28% contra os 23,76% de rejeito com uma fração fina para descarte de 1,96%.

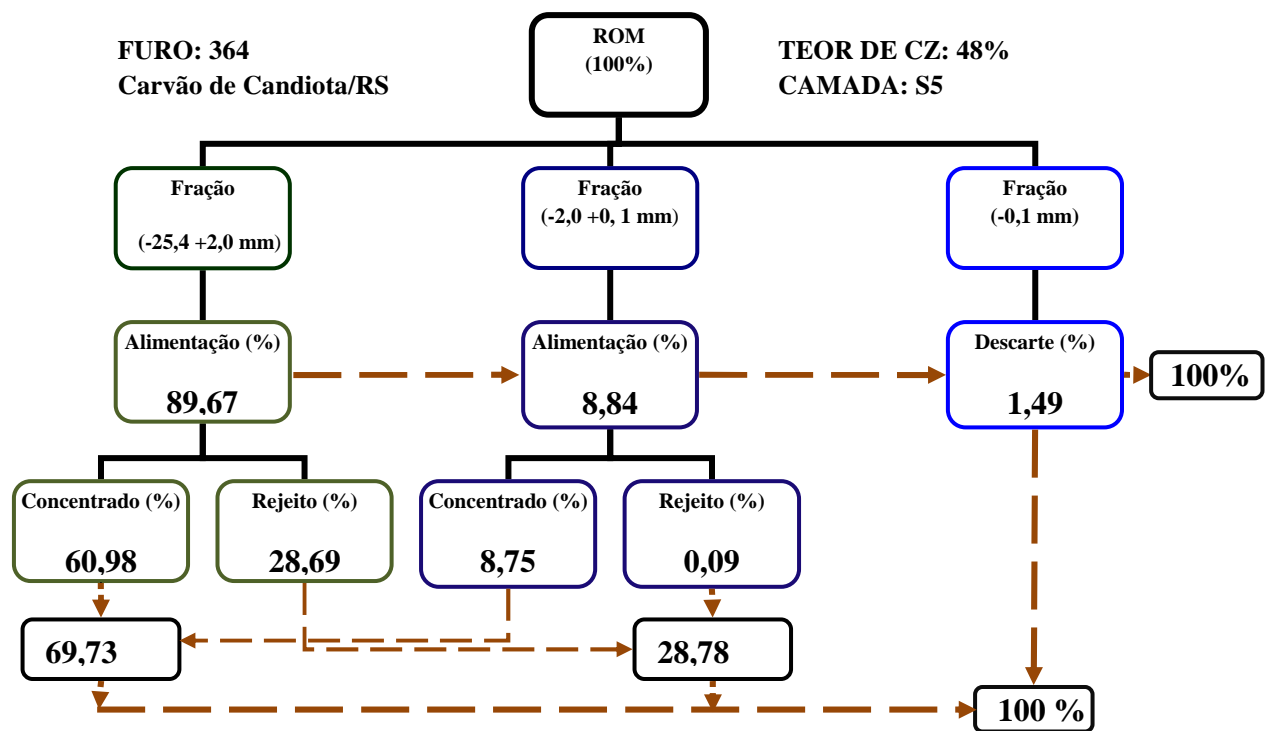


Figura 21: Fluxograma da camada superior 5, corte de 48% de cinzas.

A figura 21 mostra o fluxograma da camada superior 5 do furo no corte de 48% de cinzas. Na fração -25,4 +0,2 mm com alimentação de 89,67 % de massa, se obteve um concentrado de 60,98% contra 28,69% de rejeito. Na fração -2,0 +0,1 mm com uma alimentação de 8,75% de massa, se obteve um concentrado de 8,75% contra 0,09 % de rejeito. Neste processo a concentração máscica foi de 69,73% e um rejeiro de 28,78%, com a fração fina considerada para o descarte de 1,49%.

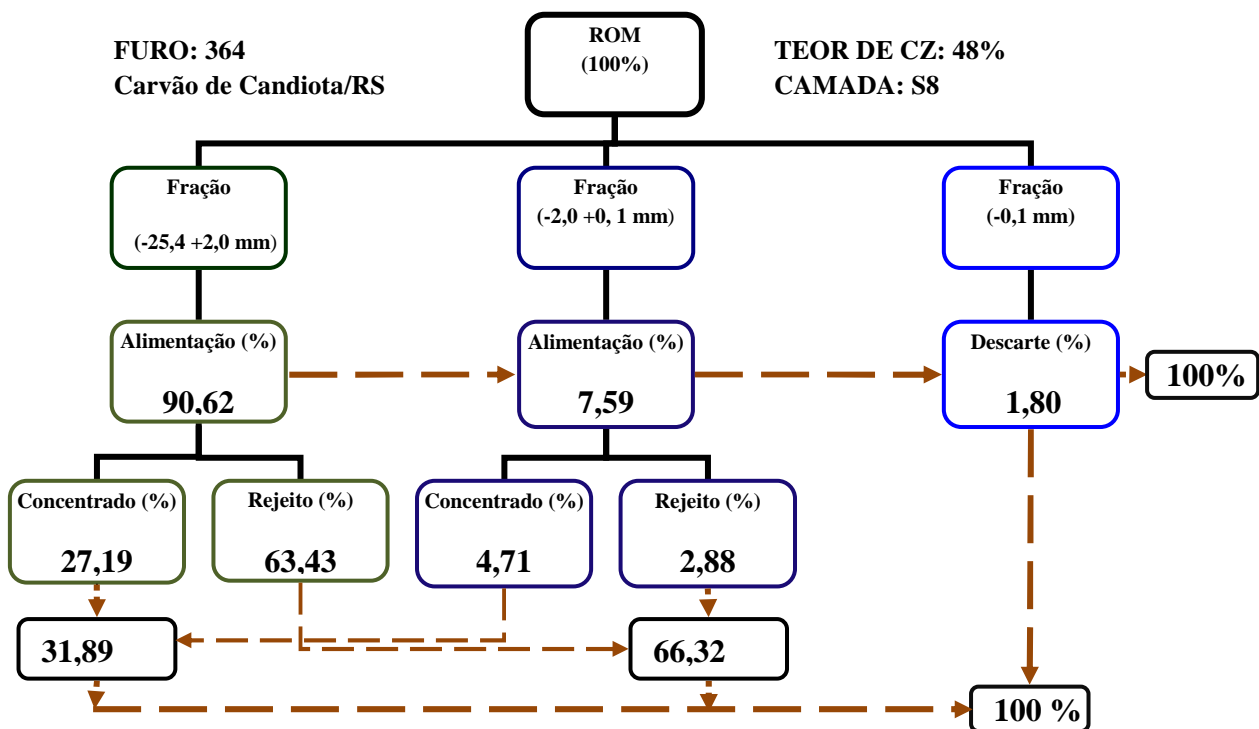


Figura 22: Fluxograma da camada superior 8, corte de 48% de cinzas.

De acordo com a figura 22, corresponde a camada superior 8, na fração de -25,4 +2,0 mm com uma alimentação de 90,62% de massa, se obteve um concentrado de 27,19% com 63,43%. Na fração -2,0 +0,1 mm, com uma alimentação de 7,59% de massa, se obteve um concentrado de 4,71% com 2,88% de rejeito. No processo se recuperou o correspondente a 31,89%, contra os 66,32% de rejeito, sendo a fração descartada de 1,80%.

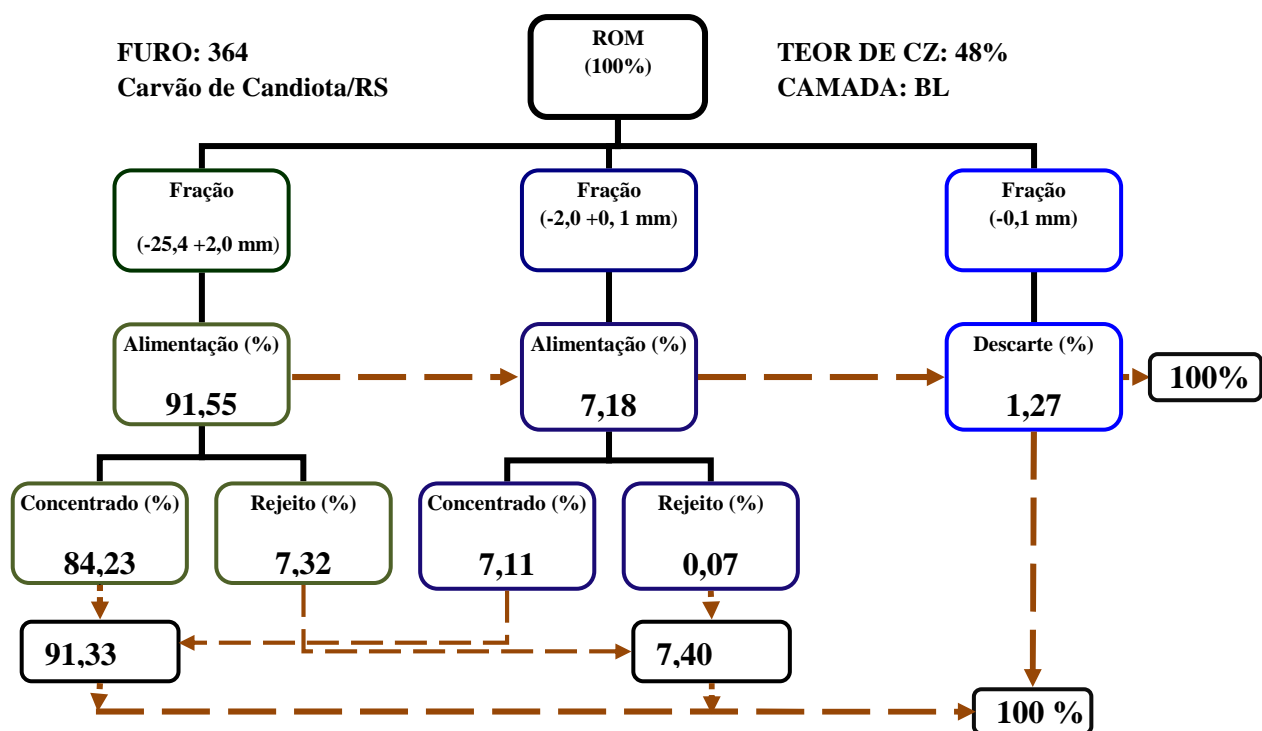


Figura 23: Fluxograma da camada Banco Louco (BL), corte de 48% de cinzas.

Com relação a camada, na fração -25,4 +2,0 mm, com uma alimentação de 91,55%, se obteve um concentrado de 84,23% com 7,32 % de rejeito. Em relação a fração -2,0 +0,1 mm, com alimentação de 7,18%, se recuperou um concentrado de 7,11% contra 0,07% de rejeito. Neste processo, se obteve uma recuperação de 91,33% e um rejeito de 7,40% , sendo a fração fina descartada de 1,27%.

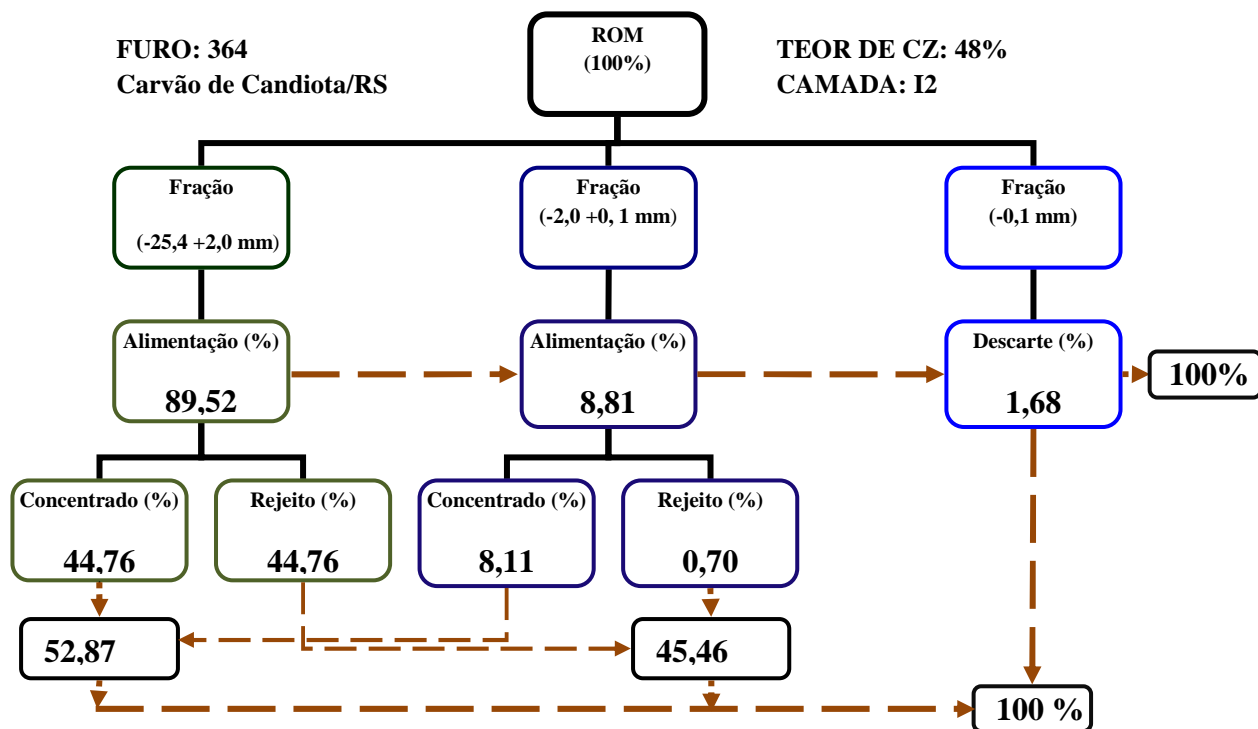


Figura 24: Fluxograma da camada superior 2, corte de 48% de cinzas.

A figura 24, mostra o fluxograma da camada superior 2, na fração de -25,4 +2,0 mm, com uma alimentação de 89,52% de massa, se obteve uma recuperação mássica de 44,76%, sendo a mesma porcentagem para om rejeito 44,76% respectivamente. Na fração -2,0 +0,1 mm, com uma alimentação de 8,81%, se obteve uma recuperação mássica de 8,11%, com um rejeito de 0,70%. Neste processo, se obteve um concentrado de 52,87% e um rejeito de 45,46%, com uma fração fina de 0,1 mm de 1,68% considerada para o descarte.

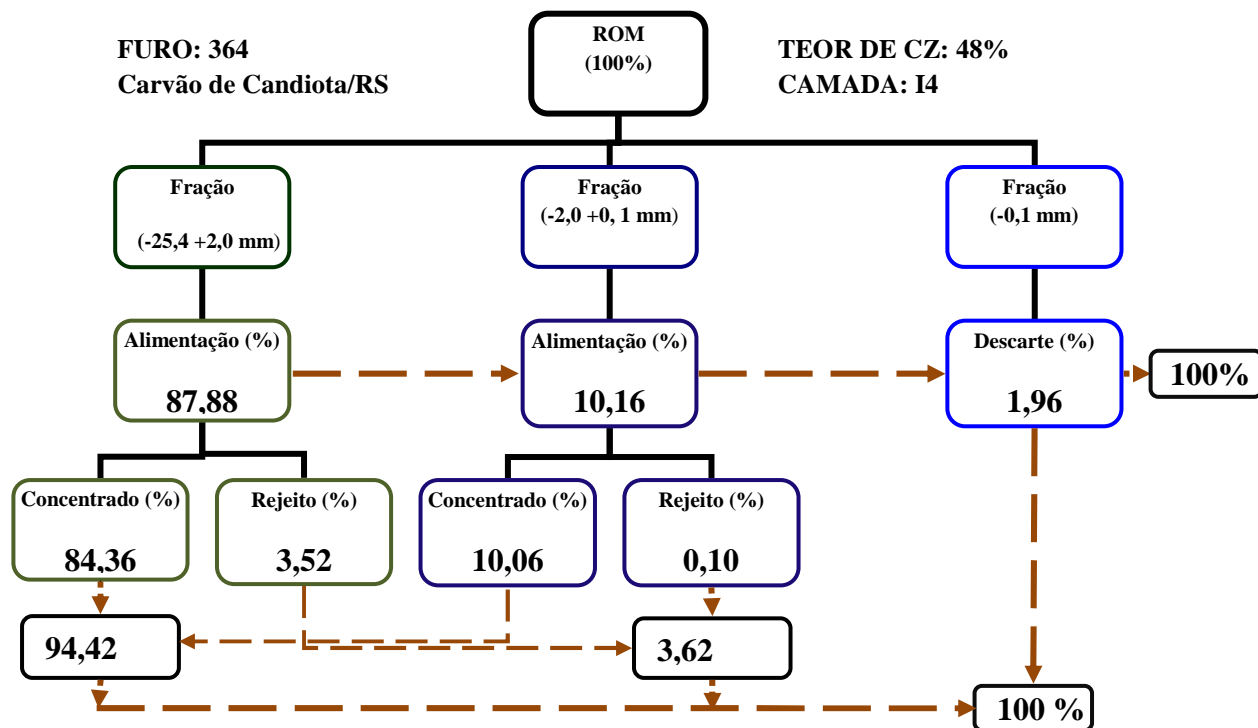


Figura 25: Fluxograma da camada inferior 4, corte de 48% de cinzas.

A figura 25, corresponde ao fluxograma da camada inferior 4, com um teor de corte de 48%, na fração -25,4 +2,0 mm, com a massa de 87,88%, se obteve uma recuperação de 84,36%, com um rejeito de 3,52%. Na fração -2,0 +0,1 mm, com uma alimentação de 10,16%, se obteve uma recuperação mássica de 10,06% com 0,10% de rejeito com uma fração fina descartada de 1,96%.

3.4 Cálculo da média ponderada

Para o seu cálculo, foram definidas as espessuras de cada camada, posteriormente determinada a camada média correspondente. Ainda foi determinada a espessura total de cada grupo, somando as espessuras de cada camada superiores e

inferiores. Com as massas calculadas se multiplicaram pelas espessuras média de cada camada em cada densimétrica.

O resultado da média da massa em percentagem, resultou da soma da multiplicação da massa pela sua espessura média de todas as camadas do grupo em cada uma das frações densimétricas.

Enquanto a média do teor de cinzas em percentagem, primeiro foi calculada a massa total de cada camada em cada faixa densimétrica. Com a massa calculada de cada camada foi multiplicada pelo seu teor de cinzas correspondente, finalmente o resultado foi dividido pela massa total de cada camada em cada faixa densimétrica. Os resultados podem ser vistos nas tabelas 29 a 32.

A tabela 29, corresponde aos dados calculados para a média ponderada das camadas inferiores na fração -25,4 +2,0 mm. Segundo os resultados da tabela, nota-se claramente que a densidade de $1,8 \text{ g/cm}^3$, se obteve uma maior percentagem de recuperação da massa teórica total de 103%, por outro lado com relação ao teor de cinzas também se obteve uma maior percentagem de 54%.

Tabela 29 Tabela: Dados usados para o cálculo da média ponderada de camadas inferiores.

Carvão de Candiota/RS
Fração (-25,4 +2,0 mm)

CAMADAS	CAMADA I1			CAMADA I2			CAMADA I3			CAMADA I4			CAMADA I5			Massa Total (%)	Esp. Total (m)	MÉDIA PONDERADA (%)	
	Densidade (g/cm ³)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)			Massa (%)	Cinzas (%)
1,5	0,62	30,92	2,87	1,03	25,80	4,00	0,37	25,12	21,52	0,38	24,36	20,90	0,14	25,13	24,85	74,14	2,55	10	25
1,6	0,62	39,94	4,47	1,03	40,97	5,78	0,37	37,61	9,75	0,38	40,57	13,32	0,14	34,76	15,96	49,28	2,55	8	38
1,7	0,62	47,68	10,80	1,03	46,44	19,03	0,37	45,87	19,80	0,38	49,04	20,50	0,14	44,94	16,90	87,03	2,55	17	47
1,8	0,62	54,98	36,93	1,03	55,35	21,94	0,37	52,59	14,97	0,38	53,52	16,59	0,14	54,59	13,13	103,56	2,55	23	54
1,9	0,62	62,84	23,83	1,03	60,28	20,48	0,37	62,16	10,08	0,38	56,58	7,89	0,14	63,10	10,87	73,15	2,55	17	61
2,0	0,62	64,20	14,09	1,03	65,80	10,65	0,37	66,20	2,56	0,38	60,16	4,75	0,14	67,88	9,27	41,33	2,55	9	65
2,2	0,62	69,71	4,46	1,03	71,87	8,51	0,37	82,22	7,26	0,38	74,82	8,11	0,14	73,18	6,18	34,52	2,55	7	75
+2,2	0,62	62,97	2,56	1,03	80,57	7,36	0,37	85,93	14,04	0,38	74,04	7,94	0,14	62,98	2,83	34,74	2,55	7	79
2,4	0,62			1,03	89,6	2,2	0,37			0,38			0,14			2,25	2,55	1	90
+2,4	0,62			1,03			0,37			0,38			0,14				2,55		
SOMA			100		100		100		100		100		100		100			100	54,60

* *Espessura média da camada em relação aos 8 furos em estudo.*

A tabela 29 corresponde aos resultados do cálculo da média ponderada das camadas inferiores na fração -25,4 +2,0 mm. A maior percentagem da da massa corresponde a densidade de 1,8 g/cm³, com 23%, seguida pelas densidades de 1,7 e 1,9 g/cm³ com 17%. Enquanto a percentagem de teor de cinzas pose-se verificar que a maiores densidades, maiores maiores são os seus valores dos teores de cinzas. A média ponderada das camadas inferiores na fração de -25,4 +2,0 mm, corresponde a 54,60%.

Tabela 30: Dados usados para o cálculo da média ponderada de camadas inferiores.

Carvão de Candiota/RS

Fração (-2,0 + 0,1 mm)

CAMADAS	CAMADA I1			CAMADA I2			CAMADA I3			CAMADA I4			CAMADA I5			Massa Total (%)	Esp. Total (m)	MÉDIA PONDERADA (%)	
	Densidade (g/cm ³)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)			Massa (%)	Massa (%)
1,5	0,62	14,29	13,40	1,03	16,35	20,17	0,37	20,49	31,68	0,38	17,72	29,33	0,14	19,02	29,27	123,85	2,55	22	18
1,6	0,62	26,63	5,68	1,03	32,94	4,55	0,37	32,80	12,47	0,38	32,33	11,55	0,14	31,79	12,62	46,87	2,55	7	32
1,7	0,62	38,46	7,76	1,03	39,61	7,40	0,37	41,86	10,91	0,38	44,85	12,29	0,14	39,83	14,35	52,71	2,55	9	41
1,8	0,62	47,58	10,68	1,03	49,30	10,06	0,37	49,21	11,99	0,38	48,22	9,93	0,14	46,44	6,20	48,86	2,55	10	48
1,9	0,62	54,67	14,47	1,03	54,12	14,19	0,37	55,59	10,52	0,38	56,18	9,51	0,14	52,51	5,41	54,11	2,55	13	55
2,0	0,62	61,41	19,50	1,03	59,92	13,16	0,37	60,92	6,97	0,38	64,56	13,87	0,14	57,90	7,64	61,14	2,55	14	61
2,2	0,62	68,79	22,93	1,03	68,88	17,11	0,37	67,46	8,20	0,38	112,34	4,91	0,14	70,53	24,51	77,66	2,55	16	72
+2,2	0,62	73,31	5,58	1,03	79,61	13,36	0,37	80,69	7,26	0,38	79,95	8,62	0,14			34,82	2,55	9	79
2,4	0,62			1,03			0,37			0,38			0,14				2,55		
+2,4	0,62			1,03			0,37			0,38			0,14				2,55		
SOMA			100			100			100			100			100			100	48,87

A tabela 30, mostra os resultados do cálculo da média ponderada das camadas inferiores, na fração -2,0 +0,1 mm. De acordo com os resultados na densidade de 1,5 g/cm³, apresenta maior massa total em 123,85% ; com relação a percentagem da massa, correspondente a essa

faixa densimétrica é de 22% contra os 18% de teores de cinzas. A média ponderada geral das camadas inferiores na fração -2,0 +0,1 mm, corresponde a 48,87%.

Tabela 31: Dados usados para o cálculo da média ponderada de camadas superiores.

Carvão de Candiota/RS
Fração (-25,4 +2,0 mm)

CAMADAS	CAMADA S2			CAMADA S3			CAMADA S4			CAMADA S5			CAMADA S6			CAMADA S8			
	Densidade (g/cm3)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)
1,5	0,19	23,40	19,68	0,27	23,14	5,15	0,48	22,97	4,68	0,70	23,36	6,69	0,78	25,62	9,35	0,62			
1,6	0,19	42,45	10,86	0,27	36,70	2,26	0,48	34,87	1,69	0,70	36,42	9,59	0,78	40,23	7,53	0,62	36,16	4,71	
1,7	0,19	46,18	18,79	0,27	47,05	16,64	0,48	42,38	13,28	0,70	47,06	20,26	0,78	47,23	22,70	0,62	45,43	7,31	
1,8	0,19	53,13	24,87	0,27	53,85	25,69	0,48	56,23	24,21	0,70	55,88	19,42	0,78	54,01	24,81	0,62	49,99	10,24	
1,9	0,19	57,66	7,13	0,27	59,64	29,57	0,48	59,69	22,30	0,70	57,51	11,81	0,78	58,00	9,77	0,62	56,57	27,79	
2,0	0,19	63,73	5,36	0,27	63,32	6,37	0,48	65,68	15,96	0,70	65,75	8,80	0,78	66,29	4,97	0,62	63,77	26,97	
2,2	0,19	71,68	2,06	0,27	74,23	4,24	0,48	69,60	11,07	0,70	72,12	16,67	0,78	72,72	10,28	0,62	72,07	19,00	
+2,2	0,19	78,92	1,39	0,27	83,00	5,18	0,48	72,37	6,81	0,70	72,63	6,77	0,78	70,87	2,67	0,62	74,71	3,98	
2,4	0,19	62,5	9,9	0,27	77,2	4,9	0,48			0,70			0,78	55,0	7,9	0,62			
+2,4	0,19			0,27			0,48			0,70			0,78			0,62			
SOMA			100			100			100			100			100				100

* *Espessura média da camada em relação aos 8 furos em estudo.*

Cont. Tabela 31 : Dados usados para o cálculo da média ponderada de camadas superiores.

CAMADAS	CAMADA S9			CAMADA BL			Massa Total (%)	Esp. Total (m)	MÉDIA PONDERADA (%)	
	Densidade (g/cm ³)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)			Massa (%)	Massa (%)
1,5	0,38			0,74	26,12	8,40	53,95	4,16	6	24
1,6	0,38			0,74	34,77	12,78	49,43	4,16	7	38
1,7	0,38	41,30	9,06	0,74	42,24	26,63	134,66	4,16	18	45
1,8	0,38	51,44	19,34	0,74	51,78	22,85	171,42	4,16	21	54
1,9	0,38	60,71	22,02	0,74	59,03	9,82	140,22	4,16	17	59
2,0	0,38	68,14	27,63	0,74	69,70	6,92	102,98	4,16	13	66
2,2	0,38	75,14	18,67	0,74	73,99	8,40	90,37	4,16	12	73
+2,2	0,38	81,93	3,29	0,74	71,08	4,21	34,30	4,16	4	75
2,4	0,38			0,74			22,69	4,16	2	63
+2,4	0,38			0,74				4,16		
SOMA			100			100			100	55,16

De acordo com a tabela 31, correspondendo ao resultado do cálculo da percentagem da média ponderada para as camadas superiores, incluindo a BL na fração -25,4 +2,0 mm.

De forma geral de acordo com os dados apresentados na tabela acima referida, mostra que a densidade de 1,8 g/cm³, corresponde a maior percentagem da massa com 21%; enquanto que a do teor de cinzas aumenta na medida em que a faixa densimétrica aumenta. A média ponderada das camadas superiores incluindo a BL, na fração de -25,4 +2,0mm, corresponde a 55,16%.

Tabela 32: Dados usados para o cálculo da média ponderada de camadas superiores.

Carvão de Candiota/ RS
Fração (-2,0 + 0,1 mm)

CAMADAS	CAMADA S2			CAMADA S3			CAMADA S4			CAMADA S5			CAMADA S6			CAMADA S8			
	Densidade (g/cm3)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)
1,5	0,19	13,23	30,89	0,27	14,48	21,59	0,48			0,70	16,91	26,69	0,78	16,27	27,35	0,62			
1,6	0,19	29,78	8,45	0,27	28,89	6,05	0,48			0,70	31,70	9,25	0,78	29,65	6,37	0,62			
1,7	0,19	39,31	9,76	0,27	40,79	5,98	0,48			0,70	40,82	11,53	0,78	37,82	7,43	0,62	28,49	15,58	
1,8	0,19	45,87	11,08	0,27	47,15	11,65	0,48	38,29	32,19	0,70	58,63	5,86	0,78	45,13	10,91	0,62	45,23	10,97	
1,9	0,19	51,58	10,30	0,27	54,12	24,62	0,48	54,29	14,70	0,70	57,48	10,40	0,78	51,95	11,33	0,62	52,73	16,82	
2,0	0,19	58,36	10,49	0,27	61,10	11,09	0,48	60,98	21,13	0,70	59,93	11,79	0,78	59,54	12,00	0,62	60,84	19,57	
2,2	0,19	62,36	6,02	0,27	66,77	8,55	0,48	66,70	17,88	0,70	78,24	14,96	0,78	67,59	14,97	0,62	69,49	29,17	
+2,2	0,19	71,95	2,61	0,27	75,86	10,48	0,48	72,80	14,00	0,70	70,24	9,53	0,78	71,29	9,63	0,62	76,88	7,64	
2,4	0,19	60,8	10,4	0,27			0,48			0,70			0,78			0,62			
+2,4	0,19			0,27			0,48			0,70			0,78			0,62			
SOMA			100			100			100			100			100			100	

* *Espessura média da camada em relação aos 8 furos em estudo.*

Cont. Tabela 32 Dados usados para o cálculo da média ponderada de camadas superiores.

CAMADAS	CAMADA S9			CAMADA BL			Massa Total (%)	Esp. Total (m)	MÉDIA PONDERADA (%)	
	Densidade (g/cm ³)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)	Massa (%)	Esp. da camada (m)*	Cinzas (%)			Massa (%)	Massa (%)
1,5	0,38			0,74	17,24	11,77	118,29	4,16	15	15
1,6	0,38			0,74	26,08	9,99	40,11	4,16	5	29
1,7	0,38			0,74	35,82	14,18	64,46	4,16	9	36
1,8	0,38	35,80	18,88	0,74	44,41	16,44	117,99	4,16	14	43
1,9	0,38	51,29	15,91	0,74	52,31	13,06	117,14	4,16	14	53
2,0	0,38	58,64	14,56	0,74	61,71	12,88	113,51	4,16	14	60
2,2	0,38	67,70	34,28	0,74	67,14	21,67	147,49	4,16	20	69
+2,2	0,38	76,79	16,37	0,74			70,25	4,16	8	74
2,4	0,38			0,74			10,41	4,16	0,5	61
+2,4	0,38			0,74				4,16		
SOMA			100			100			100	49,19

Quanto as camadas superiores na fração -2,0 +0,1 mm, os resultados do cálculo da média ponderada pode ser vista na tabela 33. Assim de acordo com os resultados, pode-se observar que a maior percentagem da massa corresponde a 20% para a densidade de 2, 2 g/cm³.

Com relação a percentagem do teor de cinzas, aumenta a medida que faixa densimétrica vai aumentando portanto a maior corresponde a 74%.

A média ponderada das camadas inferiores na fração -2,0 +0,1 mm, corresponde a 49,19%. Em comparação entre as duas frações granulométricas, a média ponderada tende a diminuir de 55,16% para as fração de -25,4 +2,0 mm para 49,19%, uma diminuição de 5,97%.

3.6. Curvas médias das camadas superiores e inferiores

As curvas de separabilidade, elas são úteis na previsão de resultados teóricos de separação, a montagem delas é realizada a partir dos resultados laboratoriais, as mais comuns são conhecidas por curvas de Henry-Reinhardt.

Para os resultados com relação as curvas médias das camadas de carvão de Candiota, elas foram divididas em dois grupos inferiores e superiores neste último incluindo a camada banco louco, esta camada é considerada como uma camada descontínua que aparece em diferentes formas na região. A partir desses resultados obtiveram-se as curvas médias de blendagem para cada grupo, nas frações -25,4 +2,0 mm e -2,0 +0,1 mm.

Nas figuras 26 a 29, podem ser vistos os resultados das curvas dos flutuados e afundados, densimétricas e de NGM. As tabelas contendo os dados usados para a elaboração das mesmas, podem ser vistas nos anexos 47 e 48, nas figuras 41 a 43.

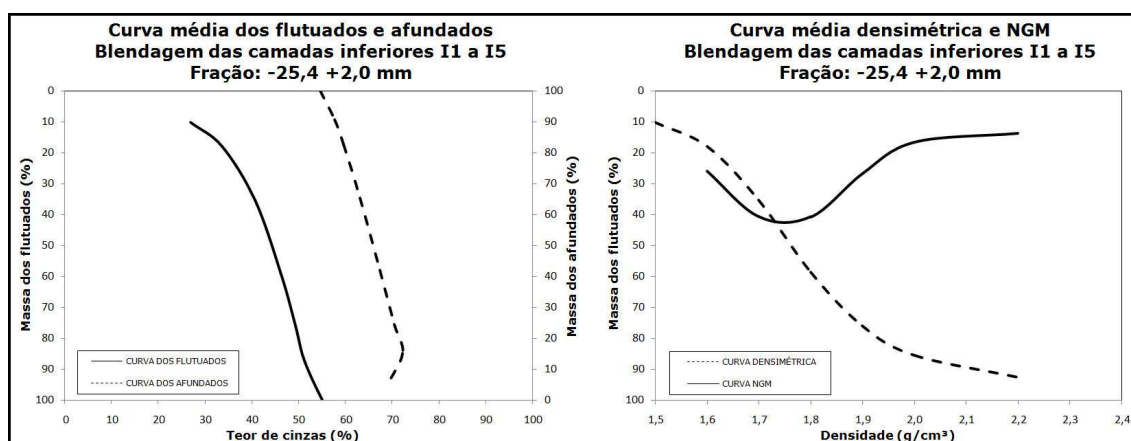


Figura 26: Curva média dos flutuados e afundados e Curva média densimétrica e NGM. Blendagem das camadas inferiores de I1 a I5.

Como se ilustra na figura 26 correspondente as curvas médias dos flutuados e afundados, na blendagem das camadas inferiores I1 a I5 na fração -25,4 +2,0 mm, se nota que no corte de 35 % de teor de cinzas se obtém uma recuperação mássica teórica (massa dos flutuados) de aproximadamente 30%. Enquanto que no corte de 42 % de teor de cinzas a recuperação mássica teórica aumenta para 50%; por sua vez para o corte de 48% de teor de cinzas, a recuperação mássica teórica ainda superior, correspondendo a 60%. Com o anterior exposto, se conclui então que a recuperação mássica teórica

aumenta em 10% em relação aos cortes de teores de cinzas ; ou seja a medida que o corte de teor de cinza aumenta. Estas curvas são usadas , juntamente com as curvas densimétricas, na previsão de percentagem de massa e teores dos produtos da separação a qualquer densidade em particular. Alternativamente, o procedimento inverso pode ser usado para determinar a densidade de separação necessária para atingir um teor desejado no produto afundado ou flutuado. Por outro lado a curva dos flutuados a qualquer densidade representa o teor médio das partículas flutuadas naquela densidade.

Com relação à curva média densimétrica pelo seu comportamento como se pode ver na figura 26, o material está gradualmente bem distribuído, ou seja distribuído homogeneamente, no intervalo de (1,5 a 2,2 g/cm³), e a respeito da curva de NGM de acordo com os valores, mostra que este carvão no processo de beneficiamento apresentará uma maior dificuldade, de acordo com as teorias de Bird, que referem o critério da maior ou menor facilidade de beneficiar um determinado carvão; ou seja quanto menor for o valor de NGM, maior será a facilidade de beneficia-lo. Em geral, uma curva com pontos inflexão visíveis, e uma pequena inclinação na proporção central, indica boas características de liberação, portanto o formato da curva densimétrica oferece uma indicação de grau de dificuldades a ser encontrado na separação.

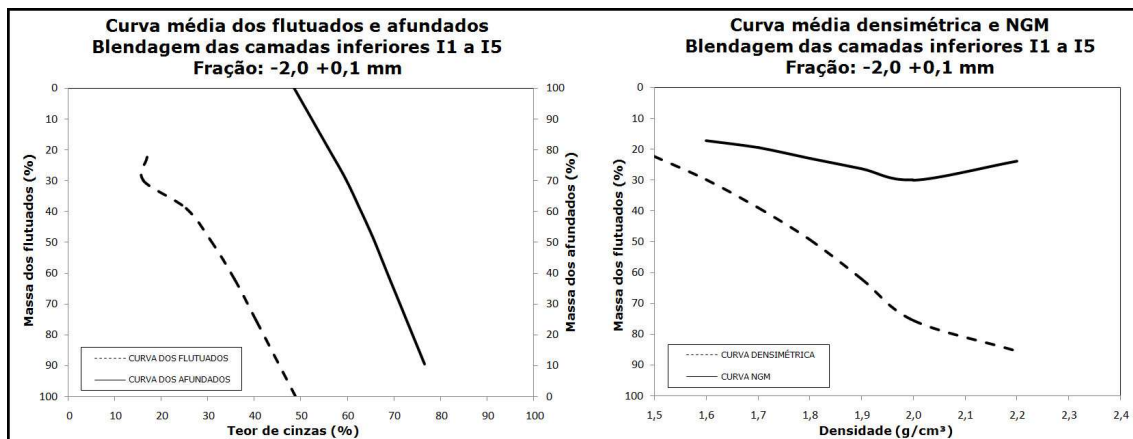


Figura 27: Curva média dos flutuados e afundados e Curva média densimétrica e NGM. Blendagem das camadas inferiores de I1 a I5 .

A figura 27 corresponde a curva média dos flutuados e afundados, na blendagem das camadas inferiores I1 a I5, porém na fração de -2,0 +0,1 mm. De acordo com a

ilustração, verifica-se que ao corte de 35% de teores de cinzas se pode obter uma recuperação mássica teórica de aproximadamente 55% de massa; enquanto que no corte de 42% de teores de cinzas, a recuperação mássica teórica corresponde a 80% de massa teórica; relativamente no corte de 48% de cinzas como se pode ver na figura 24 a recuperação mássica teórica atinge em torno dos 95% de massa teórica.

De acordo com a curva densimétrica quanto maior a densidade, maior é a massa dos afundados, conseqüentemente este material apresenta na teórica maiores dificuldades na hora de beneficia-lo de acordo com o formato da mesma.

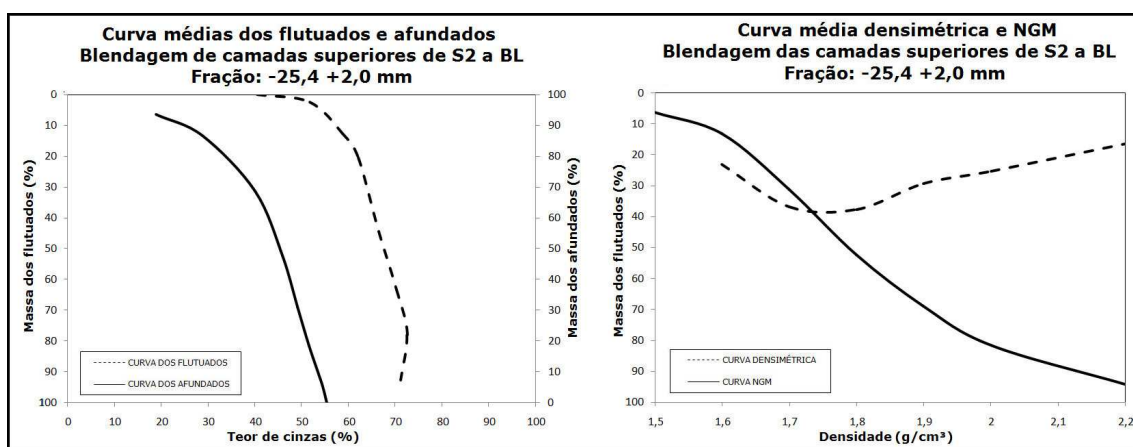


Figura 28: Curva média dos flutuados e afundados e Curva média densimétrica e NGM. Blendagem das camadas superiores de S2 a BL.

Com relação as camadas superiores, também foram elaboradas as curvas médias dos flutuados e afundados, assim como as densimétricas e de NGM, assim a figura 28 corresponde a curva média dos flutuados e afundados, blendagem de camadas superiores de S2 incluindo a BL para a fração -25,4 +2,0 mm. De cordo com a figura em referência, no corte de 35% de teores de cinzas, a recuperação mássica teórica atinge cerca de 25%; enquanto que no corte de 42% de corte de cinzas, esta recuperação sobe para 35%. Por seu lado no corte de 48% de corte de teor de cinzas, a recuperação mássica teórica atinge uma recuperação aproximadamente de 60%.

Com relação à curva densimétrica, mostra que o material está distribuído de forma homogênea no intervalo de 1,5 a 2,2 g/cm³, por outro lado de acordo com a curva de NGM, mostra que este carvão representaria maior dificuldades no processo de beneficiamento, de acordo com os valores e as características das curvas.

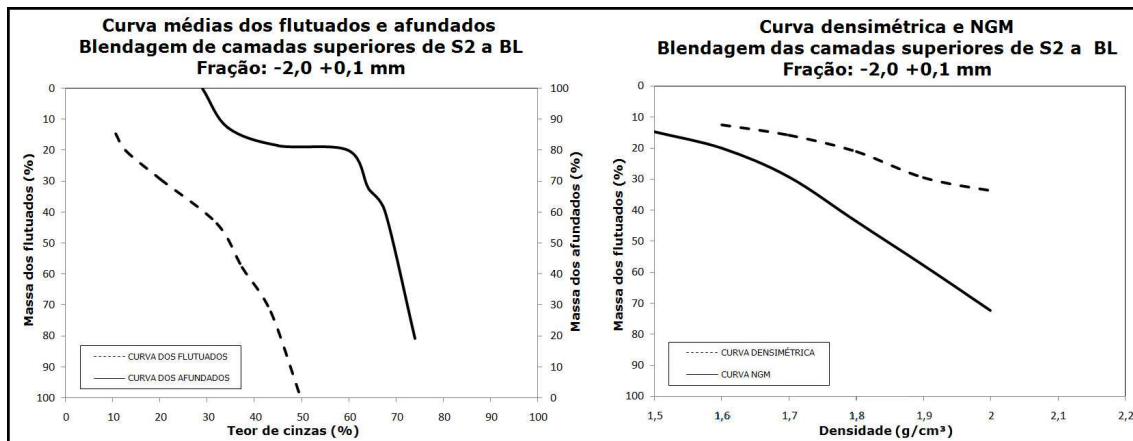


Figura 29: Curva média dos flutuados e afundados e Curva média densimétrica e NGM. Blendaagem das camadas superiores de S2 a BL.

Como se ilustra na figura 29 correspondente às curvas médias dos flutuados e afundados, na blendaagem das camadas superiores S2 incluindo a BL, na fração -2,0 +0,1 mm. No corte de 35 % de teor de cinzas poderia se obter uma recuperação mássica teórica massa dos flutuados de aproximadamente 50%. Enquanto que no corte de 42 % de teor de cinzas a recuperação mássica teórica aumenta para 70%; por sua vez para o corte de 48% de teor de cinzas, a recuperação mássica teórica seria ainda superior, correspondendo a 85%. Com o anterior exposto, conclui-se então que a recuperação mássica teorica aumenta a medida que o corte de teor de cinzas aumenta.

Com relação à curva média densimétrica, pelo seu comportamento, o material está gradualmente, ou seja distribuído homogeneamente no intervalo de 1,5 a 2,0 g/cm³, e a respeito a curva de NGM de acordo com os obtidos, se presupõe que este carvão no processo de beneficiamento apresentaria maior dificuldade para a sua liberação.

5. CONCLUSÕES

A caracterização geral das camadas para o beneficiamento, tendo se fixado em três cortes de teores de cinzas de 35, 42 e 48% respectivamente de acordo com as especificações mínimas exigidas pelo mercado consumidor, nas frações -25,4 +2,0 mm e -2,0 +0,1 mm, a maior recuperação mássica teórica corresponde para o corte de 48% de corte de teor de cinzas nas duas frações anteriormente referidas. Porém a menor recuperação mássica teórica corresponde para o corte de 35% de teor de cinzas. No que diz respeito a percentagem do teor de enxofre de todas as camadas nas frações estudadas, não varia consideravelmente, oscilando entre 0,5 a 1,9 sendo a média estimada em 1,4%.

No cálculo da massa nas camadas registradas nos 8 furos de sondagem de carvão da região de Candiota em estudo neste trabalho, o furo 371 registrou a maior presença das 13 camadas estudadas conseqüentemente apresentou a maior espessura do furo com 10,92 m. De todos os furos em estudo neste trabalho, os furos que apresentaram maior mássica teórica foram 364, 368, 371 e 372. Foram igualmente calculadas as percentagens da massa em função dos cortes de teor de cinzas para todas as camadas registradas nos oito furos, sendo a recuperação média de 40% para os 8 furos nos três cortes de teor de cinzas pré-definidos para este estudo.

Os fluxogramas de beneficiamento dos 4 furos potenciais da região, nas duas frações e nos três cortes, a maior recuperação se registou no corte de 48% de teor de cinzas nas duas frações; enquanto que a menor recuperação se registou no corte de 35% de teor de cinzas nas duas frações.

Com relação a média ponderada das camadas inferiores e superiores incluindo a Banco Louco; e de acordo com os resultados plasmados nas tabelas 30 a 33, conclui-se que as camadas inferiores assim como superiores na fração -25,4 +2,0 mm, a média ponderada tende a diminuir, de 54,60% a 48,87% para as camadas inferiores e superiores respectivamente; representando uma diminuição de 5,73%; para a fração -2,0 + 0,1 mm, se verifica o mesmo comportamento, uma tendência de diminuição como se mostram os resultados de 55,16% a 49,19% para as camadas inferiores e superiores respectivamente, representando uma diminuição de 5,97%.

Com relação a média ponderada de todas as camadas juntas ou seja média ponderada geral na fração $-25,4 +2,0$ mm, ela corresponde a 54,89%; enquanto que na fração de $-2,0 +0,1$ mm, ela é de 49,09%. Portanto conclui-se que de forma geral nas camadas inferiores e superiores nas duas frações estudadas, em relação ao teor de cinzas a de $-2,0 +0,1$ mm é a que apresenta menor percentagem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADE, M.V.B.; 1993; Características dos sistemas deposicionais das Camadas de Carvão no Pacote Sedimentar da Malha IV, Jazida de Candiota-RS; Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Geociências - UFRGS.
- A. J. P. GOMES; 2002; Carvão do Brasil /turfa agrícola-geologia, meio ambiente e participação estratégica na produção de eletricidade no sul do Brasil; p 15- 35.
- ALVES R.G.; 1994; Correlação estratigráfica de alta resolução aplicada ao Permiano Inferior da Bacia do Paraná, na região de Candiota, Rio Grande do Sul; Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Geociências - UFRGS.
- AGÊNCIA DE INFORMAÇÃO SOBRE ENERGIA (AIE).; 2006; Disponibilidade de carvão em termos de reservas mundiais.
- AGÊNCIA DE INFORMAÇÃO SOBRE ENERGIA (AIE).; 2001. Relatório anual.
- BORBA, R. F.; 2001; Carvão Mineral. Balanço mineral brasileiro. DNPM, Disponível em<<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/carvão.pdf>> Acessado em: Novembro, 2011.
- CAZZULO K. M.; MENEGAT. R.; GUERRA. M.; 2005; Palynology and palaeobotany in the reconstruction of landscape units from the Candiota coalfield, Permian of Paraná Basin, Brasil; p 87-95.
- CEBECI, Y.,ASLAN, N.; 2002; Using float-sink data in simple equations to predict surfur contents.Fuel Processing Tecnology, v. 76; p231- 239.
- CORREA DA SILVA, S.C.; 1987a; Jazidas de Carvão no Rio Grande do Sul, Brasil; Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Curitiba-PR; v 2; p 677- 687.
- CORREA DA SILVA, Z.C.; 1988; The Formation of Coal Deposits in South Brazil; Gondwana Symposium; p 233-252.
- CHEN, J. C., LIU, Z. S., HUANG, J.S.; 2006; Emission characteristics of coal combustion in different O₂/N₂, O₂/CO₂ and O₂/RFG atmosphere. Journal of Hazardous Materials.

C. H. SAMPAIO L. M. TAVARES.; 2005; Beneficiamento gravimétrico: uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade. 1ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, RS-Brasil.

C.H. SAMPAIO.;2002; Beneficiamento. Cadernos de planejamento e gestão ambiental, 2da edição. Fundação estadual de proteção ambiental, FEPAM. N^o2, p 29- 42.

DIESEL, C. F.; 1992;Coal –bearing Deposits Systems; Springer-Berlim.

E. T. PACHECO.; 2008; Estudo do beneficiamento a seco do carvão da Mina de Candiota/ RS; Tese de Doutorado- Curso de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais- UFRGS/RS-Brasil.

E. OSÓRIO E A. C.F, VILELA.; 2002; Utilização de carvão na siderurgia. Estudo de caso. Cadernos de planejamento e gestão ambiental, 2da edição. Fundação estadual de proteção ambiental, FEPAM. N^o2, p.149_157.

EKAWAN, R, DUCHÊNE, M., GOETZ, D.; 2005; The evolution of hard coal in the Pacific Market. Energy Policy, 34. 1853- 1866.

GOMES, A.P.; FERREIRA, J.A.F.; ALBUQUERQUE, L.F.de.;1998; SÜFFERT, T. Carvão fóssil. Estudos avançados v.12, n^o33.

T, GUERRA.; 2000; Carvão e Meio Ambiente. Editora da UFRGS. 1^aedição. p18-24.

ICCP SYSTEM.; 1994; Methods for the petrographic analysis of bituminous coal and anthracite- Method of determination maceral group composition, N^o3.

ICCP SYSTEM.; 1994; The new inertinite classification. International Committee for Coal and Organic Petrology, Disponível em <http://www.sciencedirect.com>. Acessado em Outubro, 2011.

LOURENZ, U., GRUDZINSKI, Z.; 2003; Hard coal for energetic purposes: price-quality relationships; international coal market observations and Polish practice. Applied Energy, 74, 271-279.

TEICHMÜLLER, M.; 1975; Stach's textbook of coal petrology, Stuttgart-Berlin.

N. RIGOTTI.; 2002; Recuperação de áreas degradadas: Estudo de caso. Cadernos de planejamento e gestão ambiental, 2da edição. Fundação estadual de proteção ambiental, FEPAM. N^o2, p 100- 102.

N. F. FEIL.; F. J.K. NETO.; 2008; Produção Conjunta no Processo de Beneficiamento de Carvão Mineral: Custos Conjuntos; Produto & Produção, vol. 9, n. 2, p. 136- 152.

PIRES, M., QUEROL,X.; 2004; Characterization of Candiota (South Brazil) coal and combustion by-product. International Journal of Coal Geology, v.60, p57- 72.

SILVA, M.B.; 1999; Petrologia dos Carvões nas Jazidas do Leão e Candiota, Permiano Inferior da Bacia do Paraná-RS-Brasil; Tese de doutorado - Curso de Pós-graduação em Geociências-UFRGS.

TRACTEBEL ENERGIA SUEZ.; Julho de 2008; Geração Termelétrica a carvão. Desenvolvimento de novos projetos.

KALKREUTH, W, HOLZ, M., KERN, M.; MACHADO, G., MEXIAS, A. SIVA, M.B., WILLETT, J., FINKELMAN, R., BURGER, H.; 2006; Petrology and chemistry of Permian Coals from the Paraná Basin: 1. Santa Terezinha, Leão-Butiá and Candiota Coalfields, Rio Grande do Sul, Brazil. International Journal of Coal Geology, v.68, p79- 116.

ANEXOS

ANEXO 1

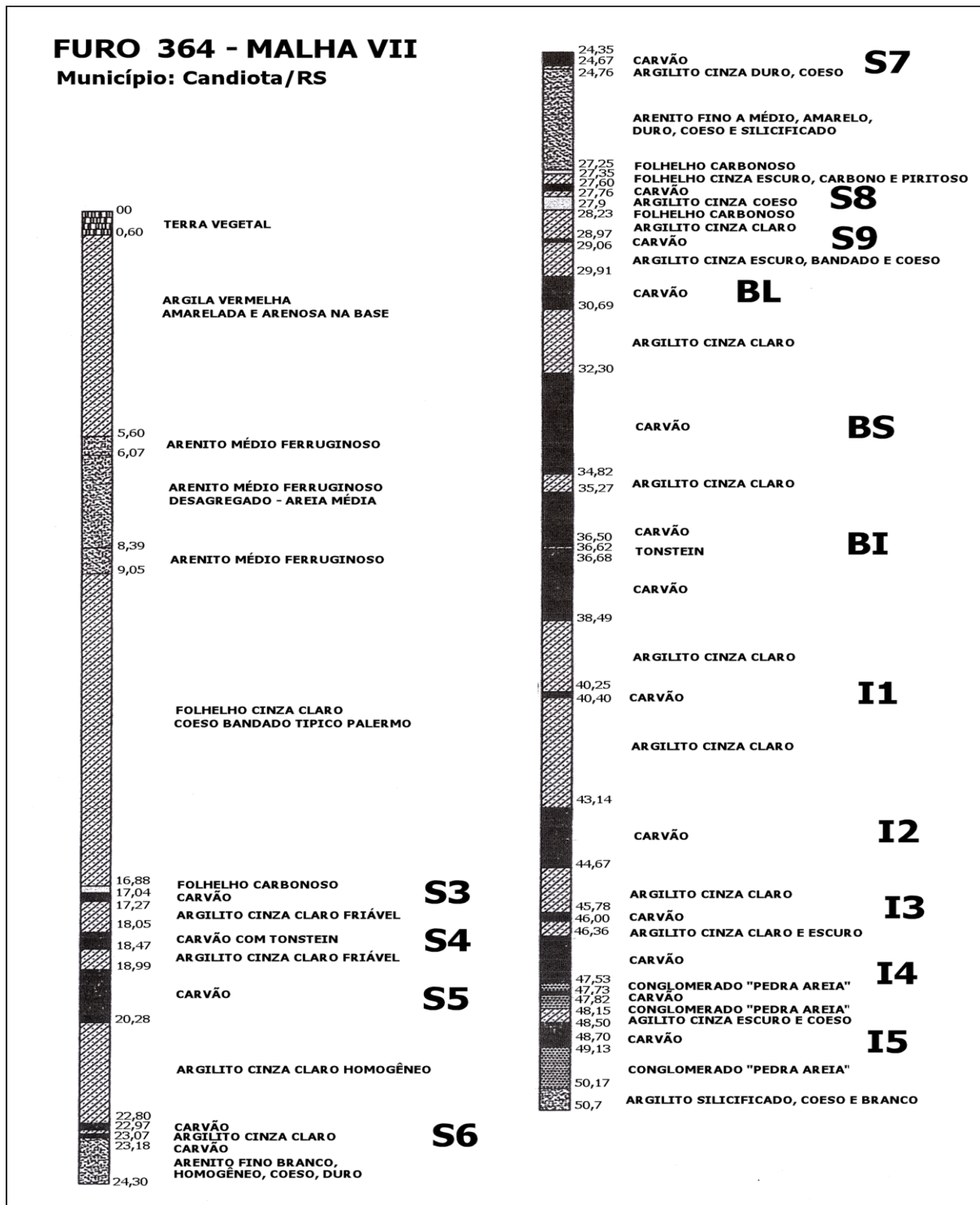


Figura 30: Perfil estratigráfico do furo 364, na Malha VII da Mina de Candiota.

[FONTE: Karime Ferreira de Souza].

ANEXO 2

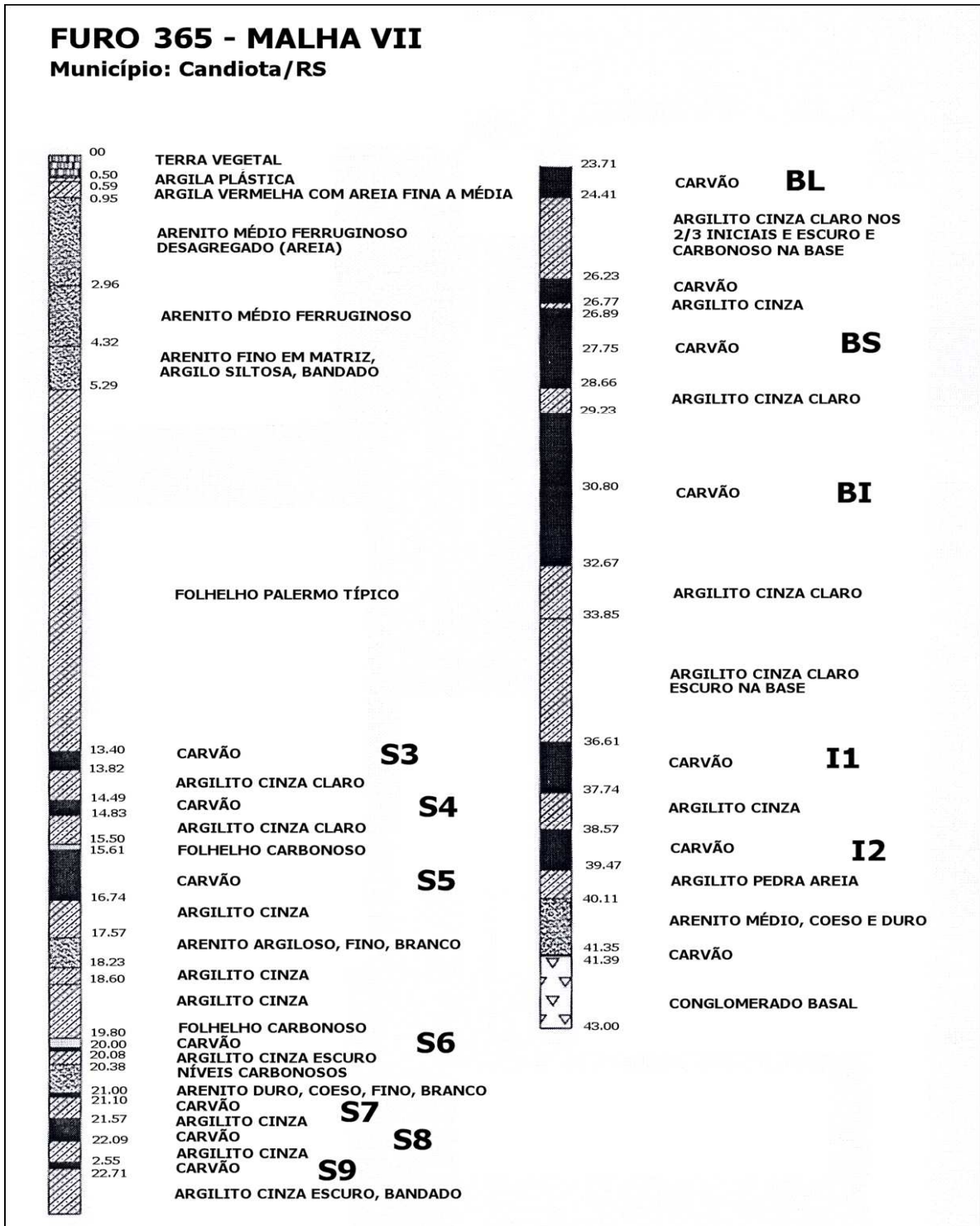


Figura 31: Perfil estratigráfico do furo 365, na Malha VII da Mina de Candiota. [FONTE: Karime Ferreira de Souza].

ANEXO 3

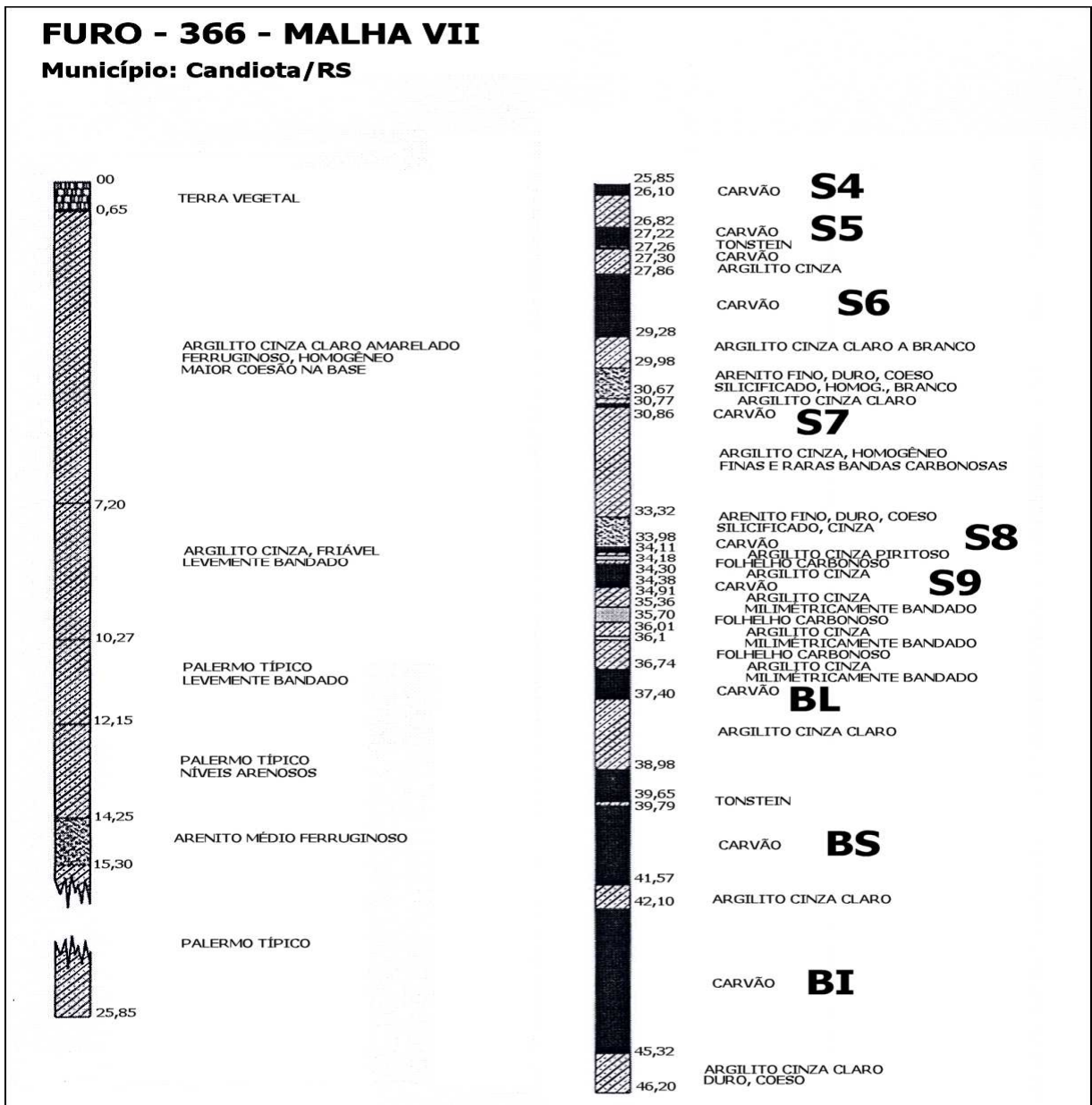


Figura 32: Perfil estratigráfico do furo 366, na Malha VII da Mina de Candiota.
 [FONTE: Karime Ferreira de Souza].

ANEXO 4

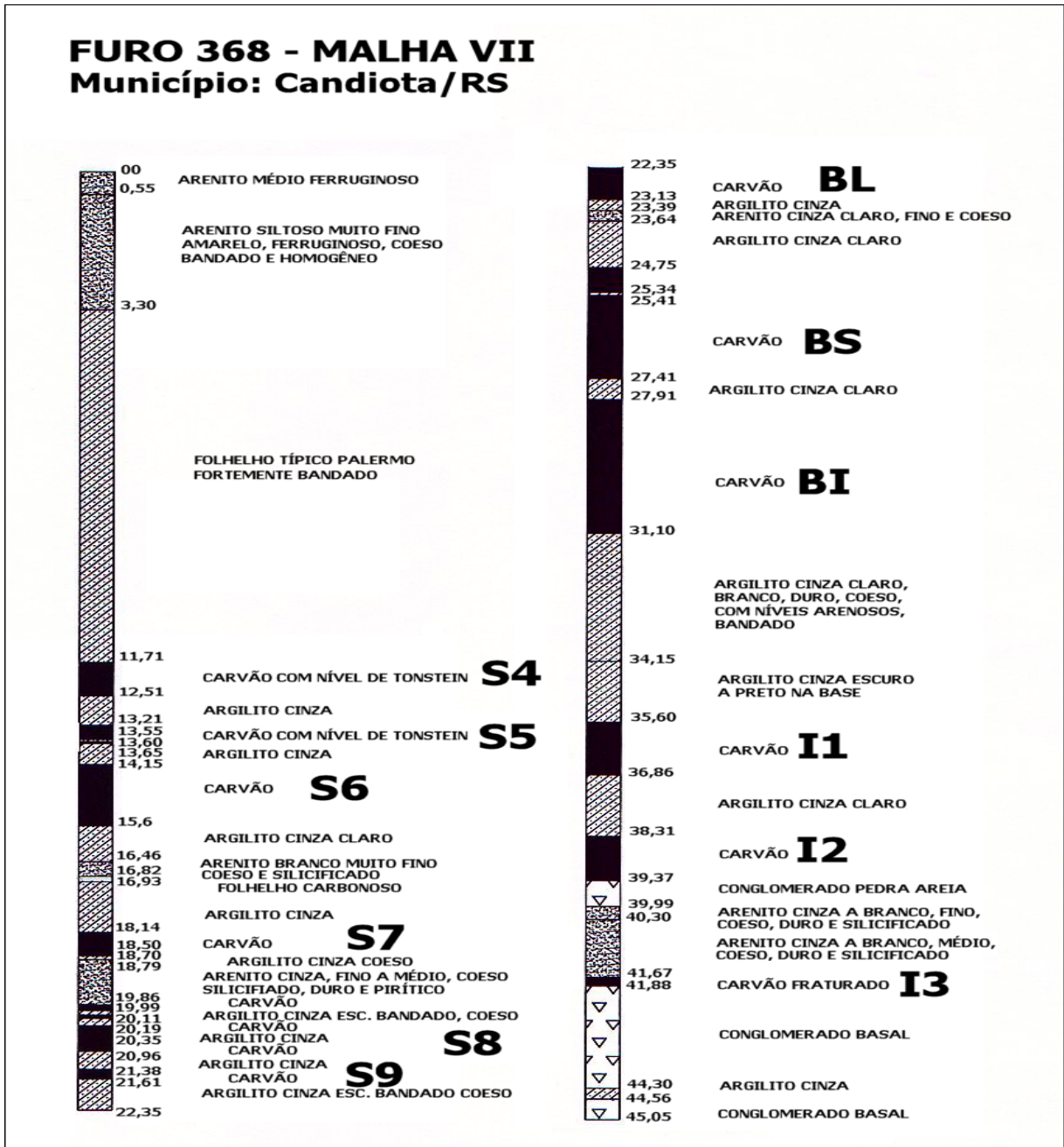


Figura 33: Perfil estratigráfico do furo 368, na Malha VII da Mina de Candiota. [FONTE: Karime Ferreira de Souza].

ANEXO 5

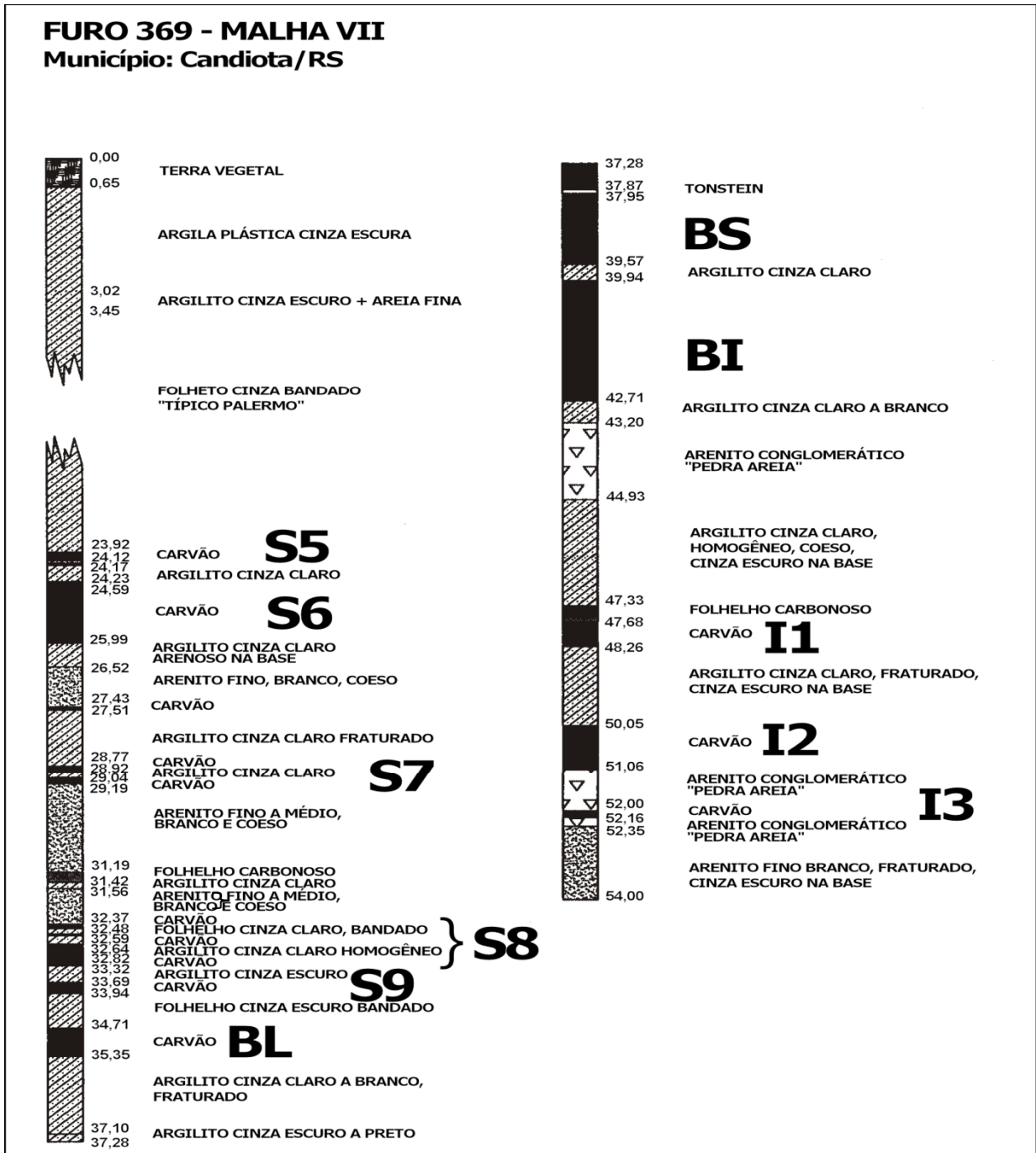


Figura 34: Perfil estratigráfico do furo 369, na Malha VII da Mina de Candiota. [FONTE: Karime Ferreira de Souza].

ANEXO 6

FURO 370 - MALHA VII
Município: Candiota/RS

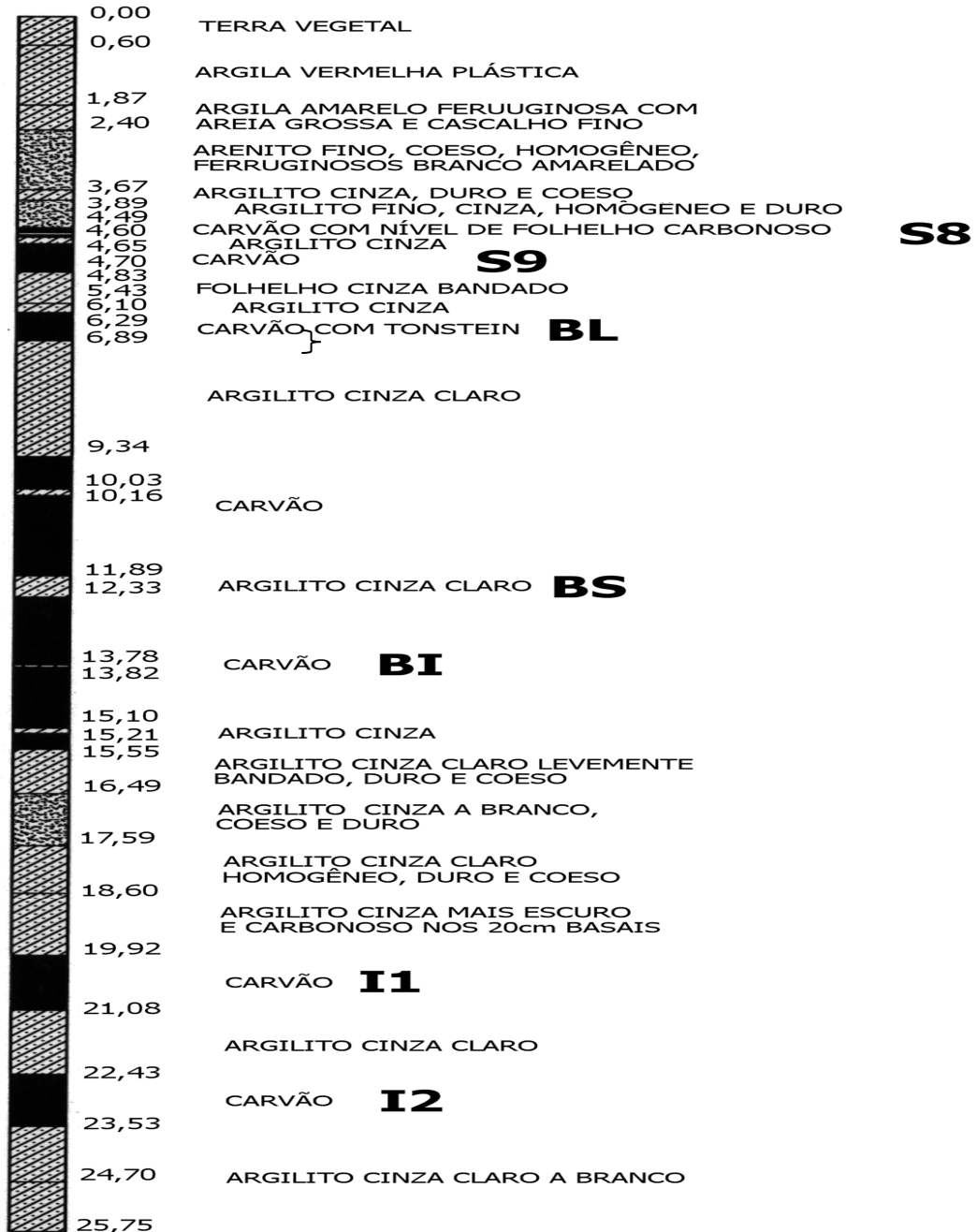


Figura 35: Perfil estratigráfico do furo 370, na Malha VII da Mina de Candiota. [FONTE: Karime Ferreira de Souza].

ANEXO 7

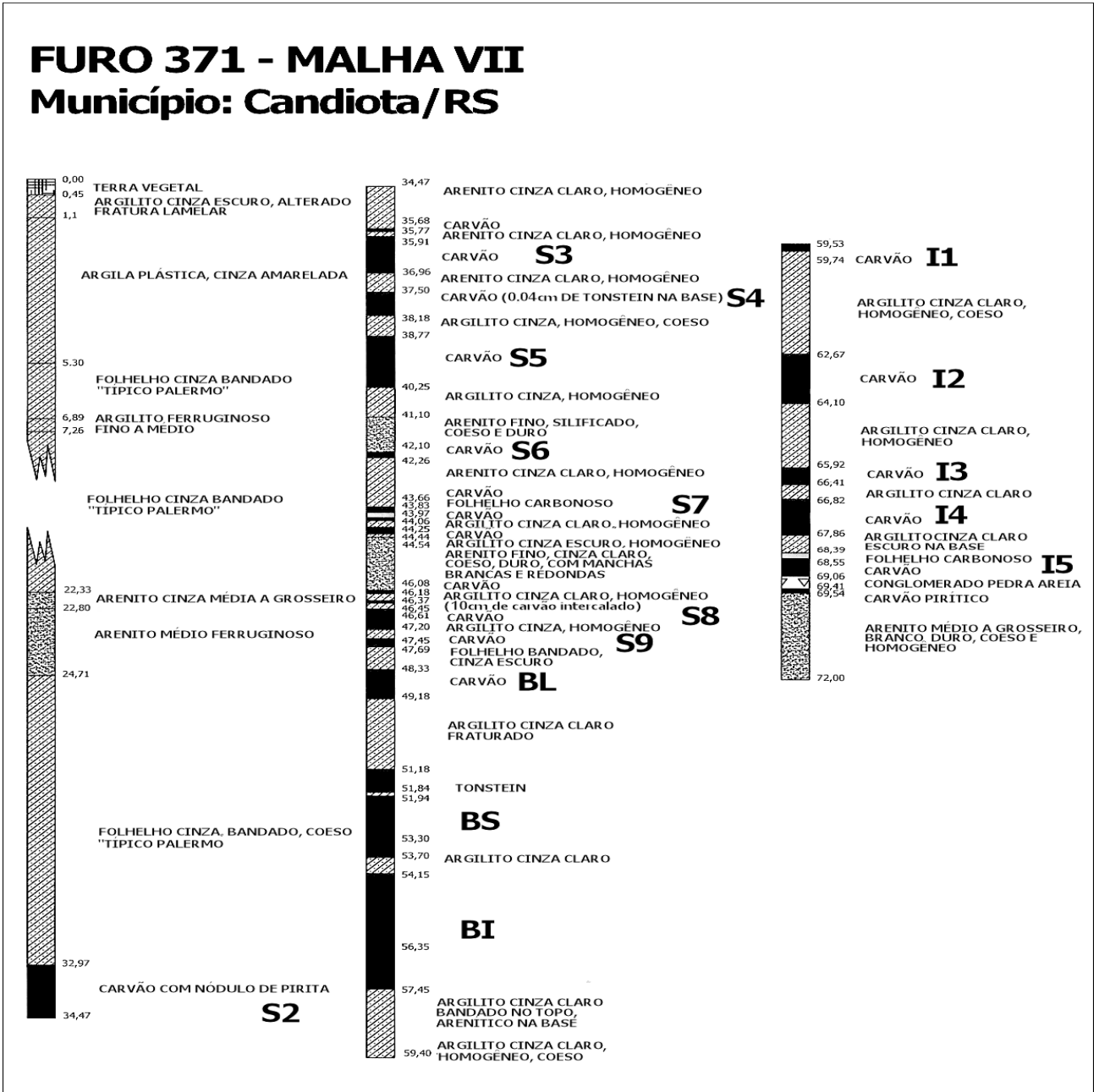


Figura 36: Perfil estratigráfico do furo 371, na Malha VII da Mina de Candiota. [FONTE: Karime Ferreira de Souza].

ANEXO 8

FURO 372 - MALHA VII
Município: Candiota/RS

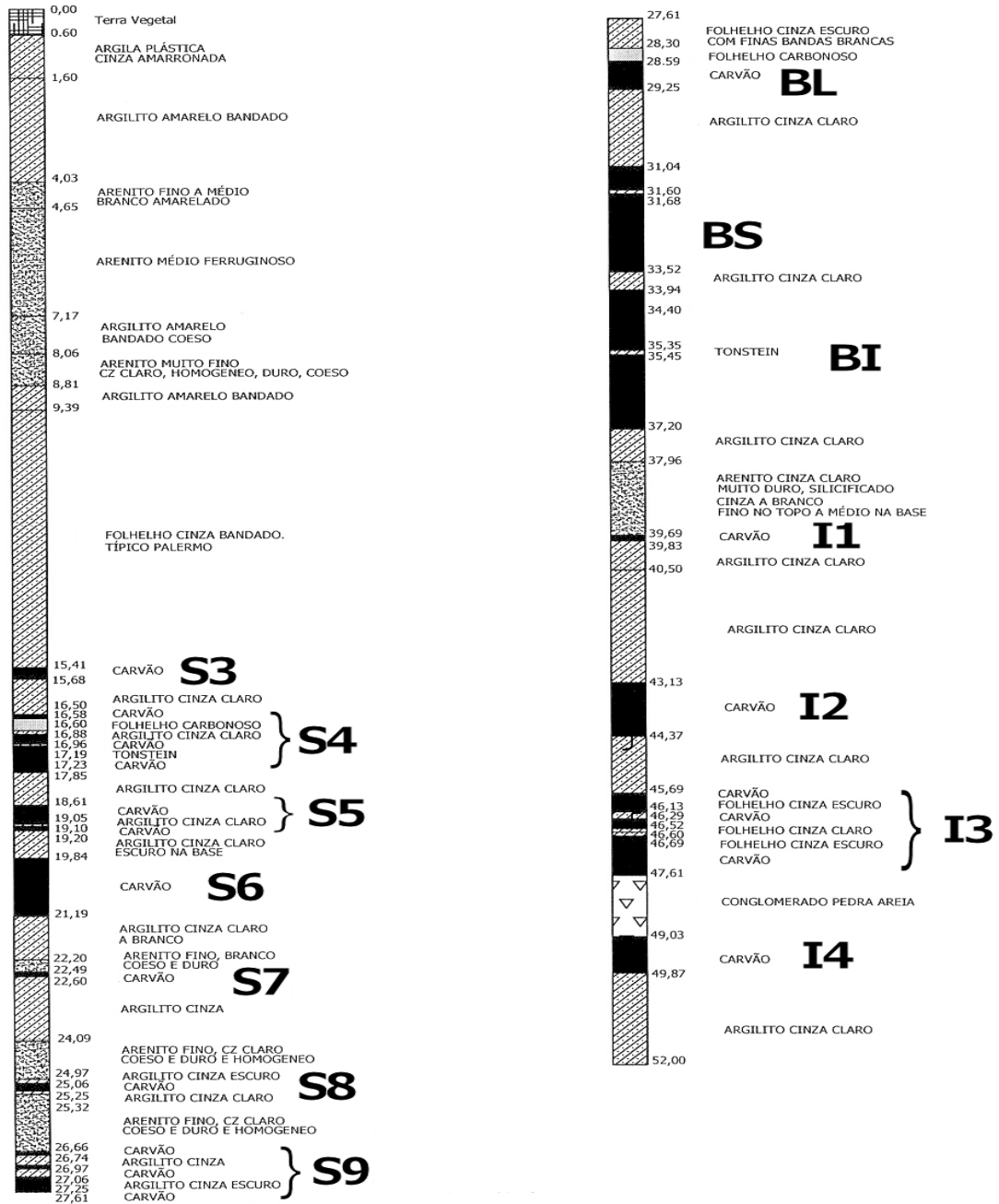


Figura 37: Perfil estratigráfico do furo 372, na Malha VII da Mina de Candiota. [FONTE: Karime Ferreira de Souza].

ANEXO 9

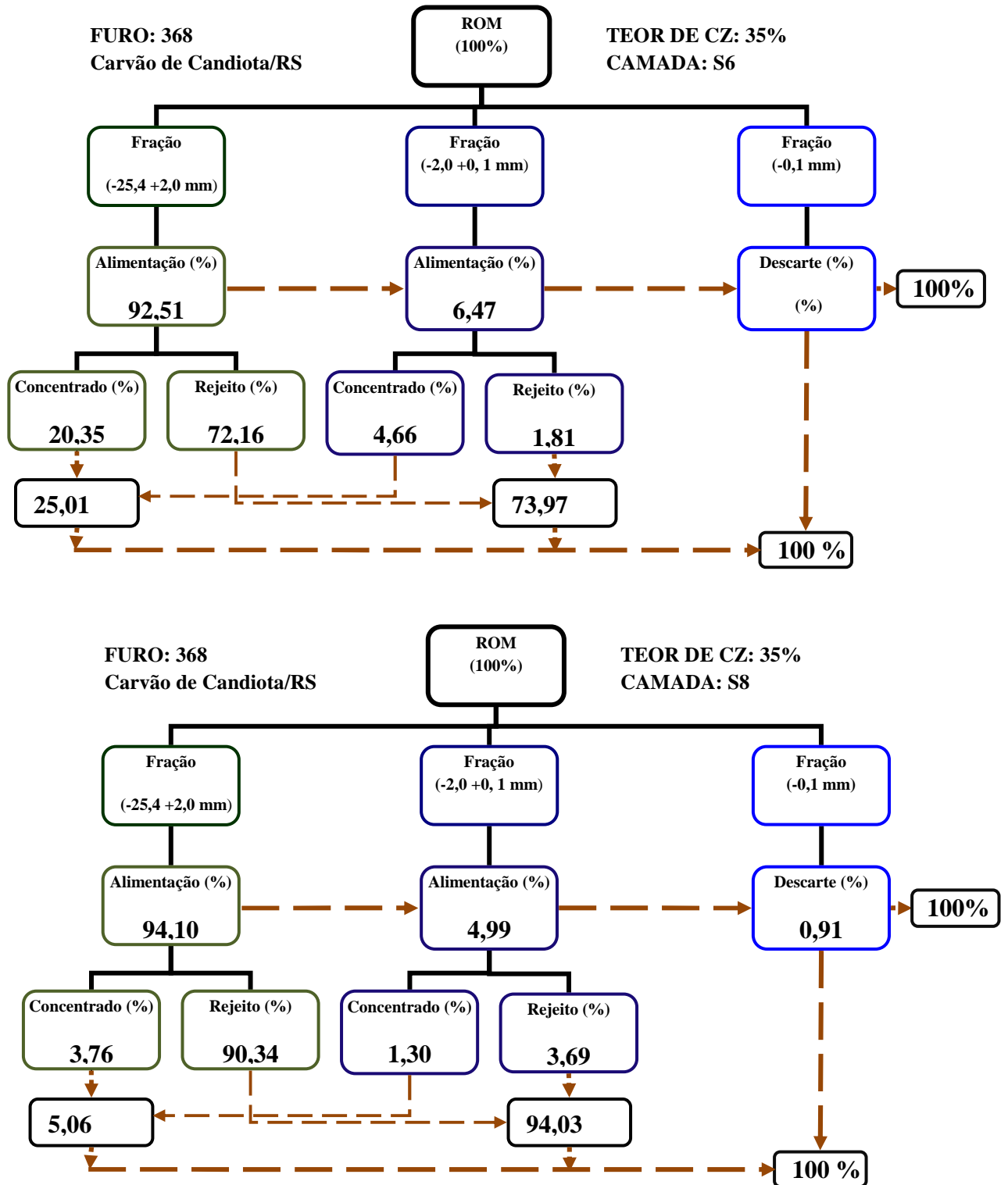


Figura 38: Fluxograma de beneficiamento das camadas S6 e S8, corte de 35% de Cz _Furo 368.

ANEXO 10

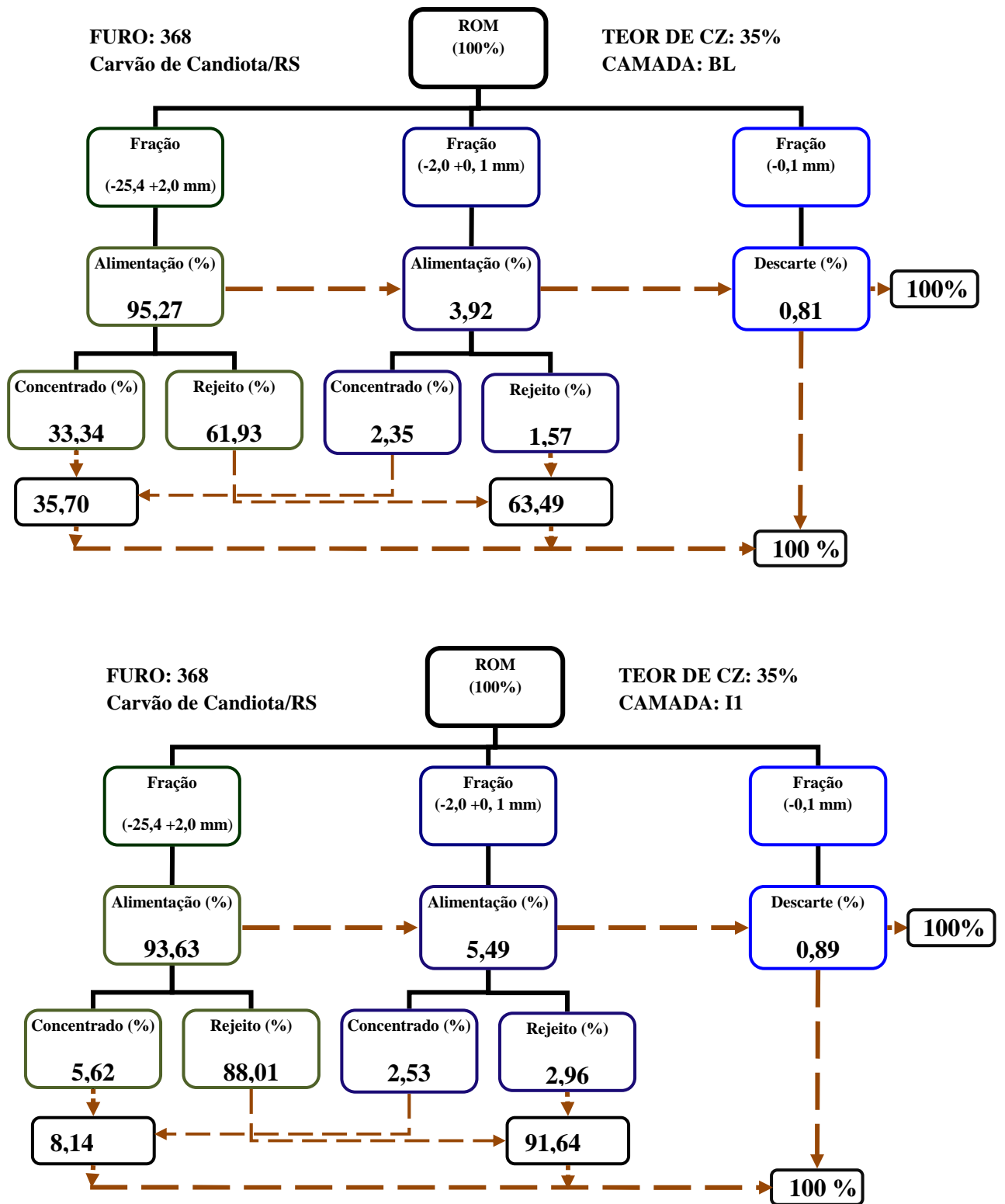


Figura 39: Fluxograma de beneficiamento das camadas BL e I1, corte de 35% de Cz _Furo 368.

ANEXO 11

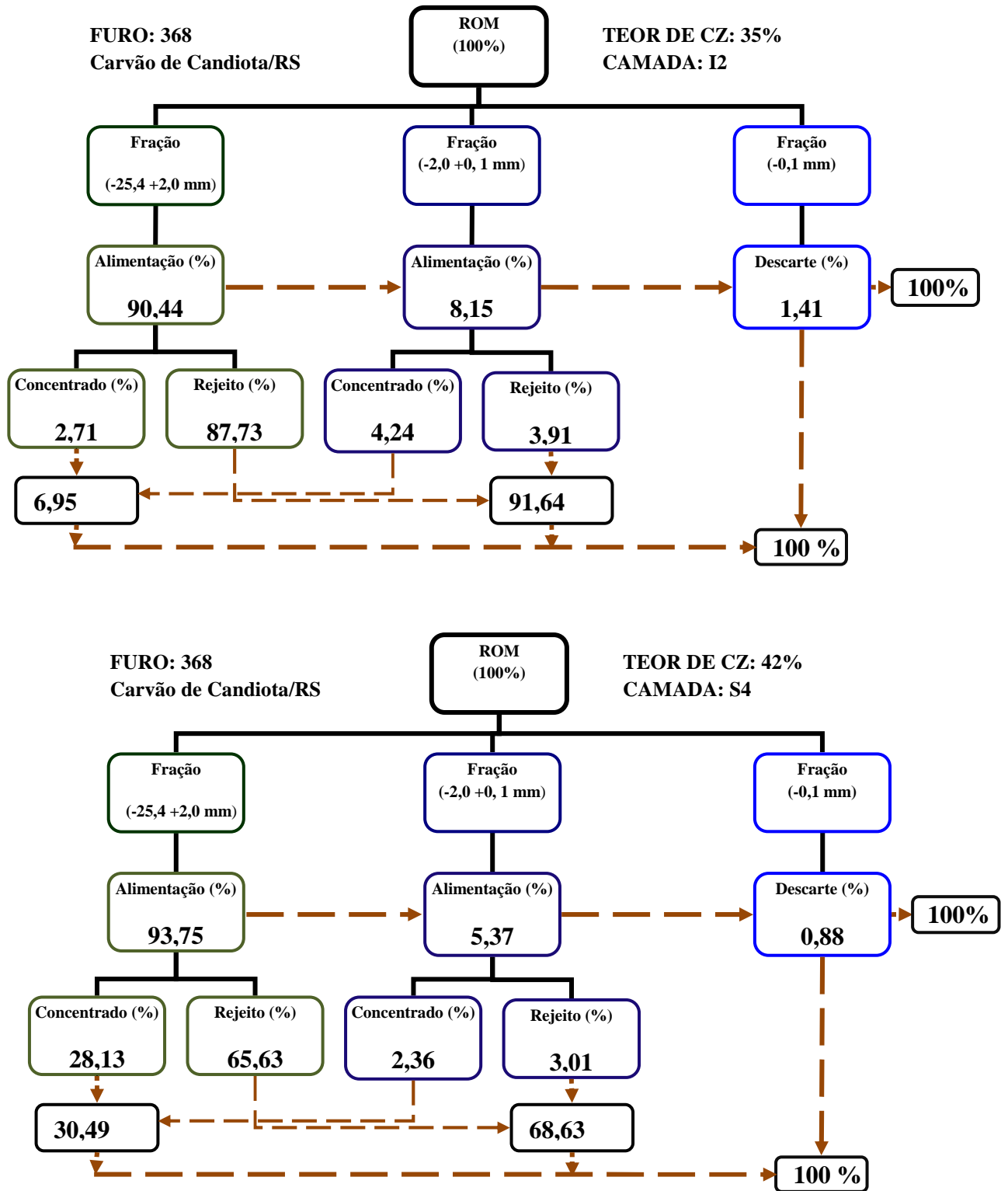


Figura 40: Fluxograma de beneficiamento das camadas I2 e S4, corte de 35% de Cz e 42% de Cz _Furo 368.

ANEXO 12

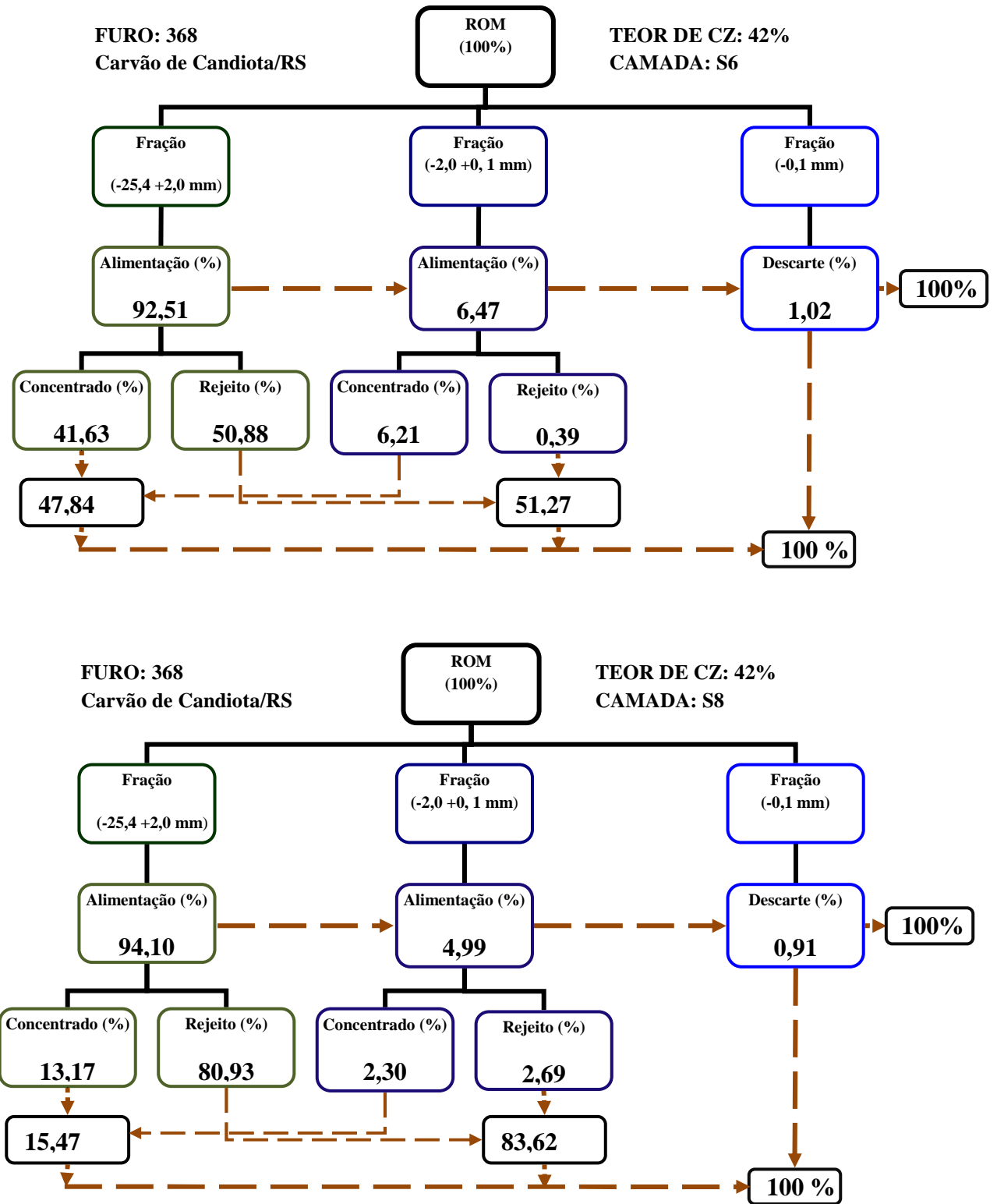


Figura 41: Fluxograma de beneficiamento das camadas S6 e S8, corte de 42% de Cz _Furo 368.

ANEXO 13

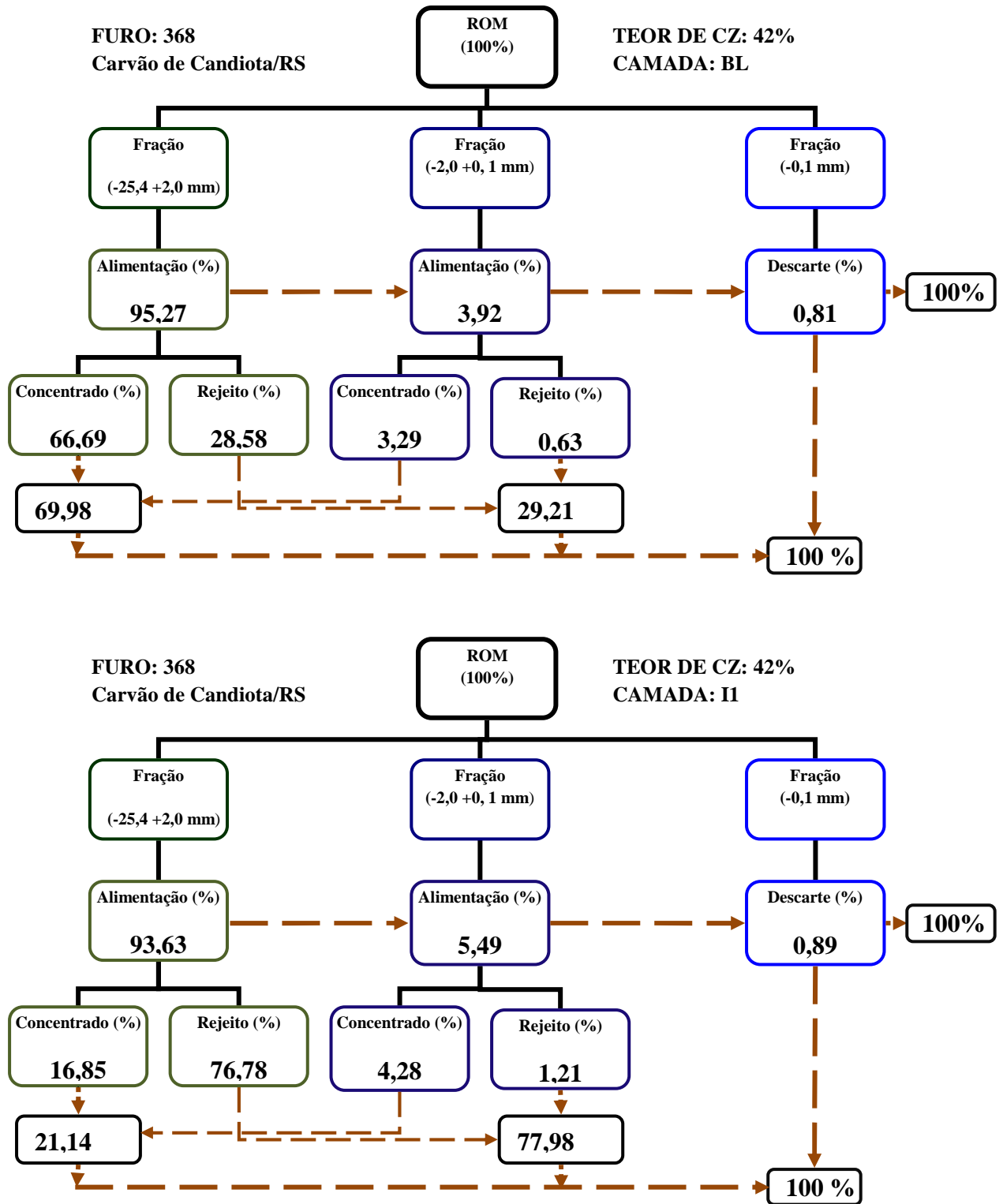


Figura 42: Fluxograma de beneficiamento das camadas BL e II, corte de 42% de Cz _Furo 368.

ANEXO 14

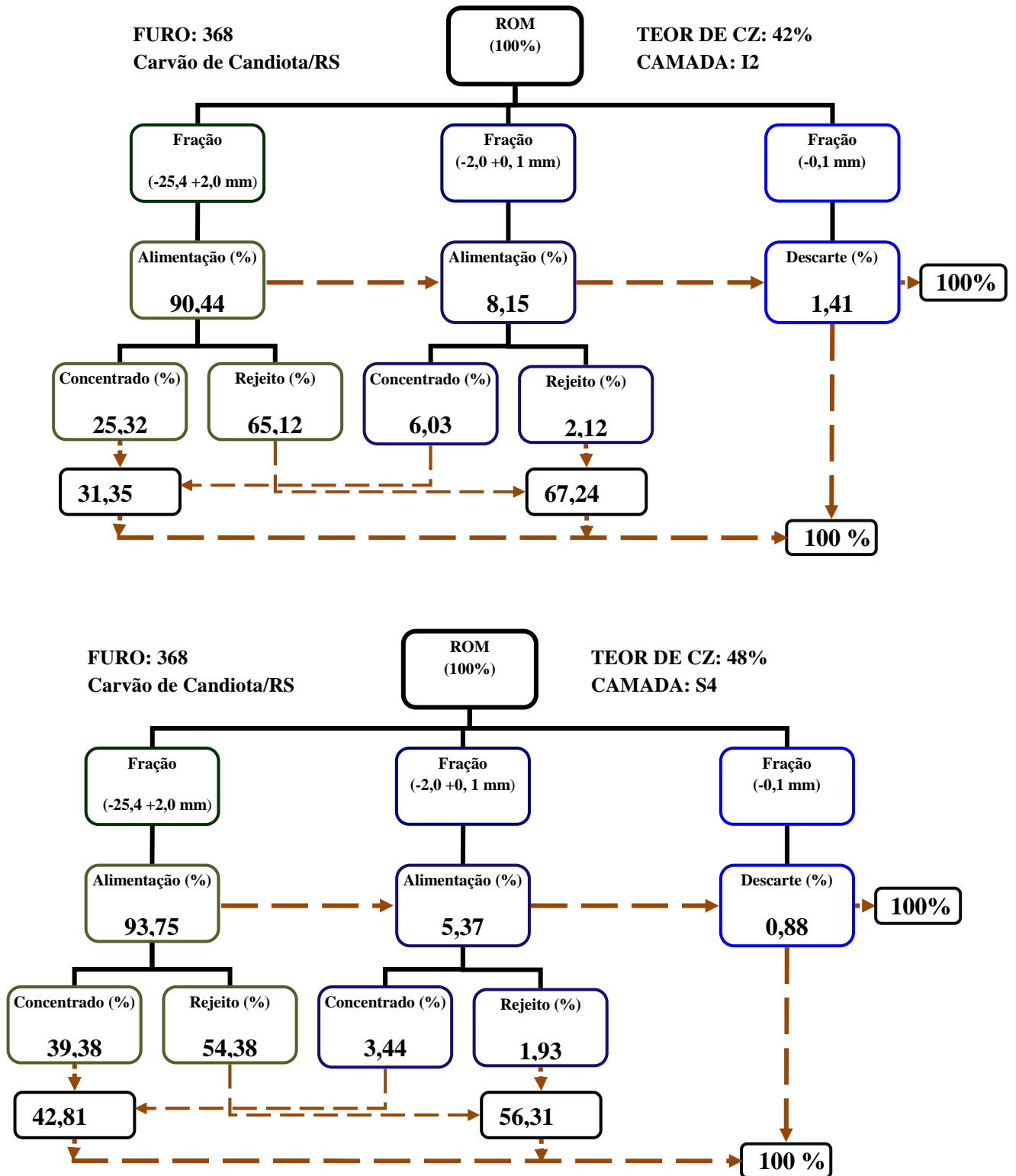


Figura 43: Fluxograma de beneficiamento das camadas I2 e S4, corte de 42% de Cz e 48% de Cz _Furo 368.

ANEXO 15

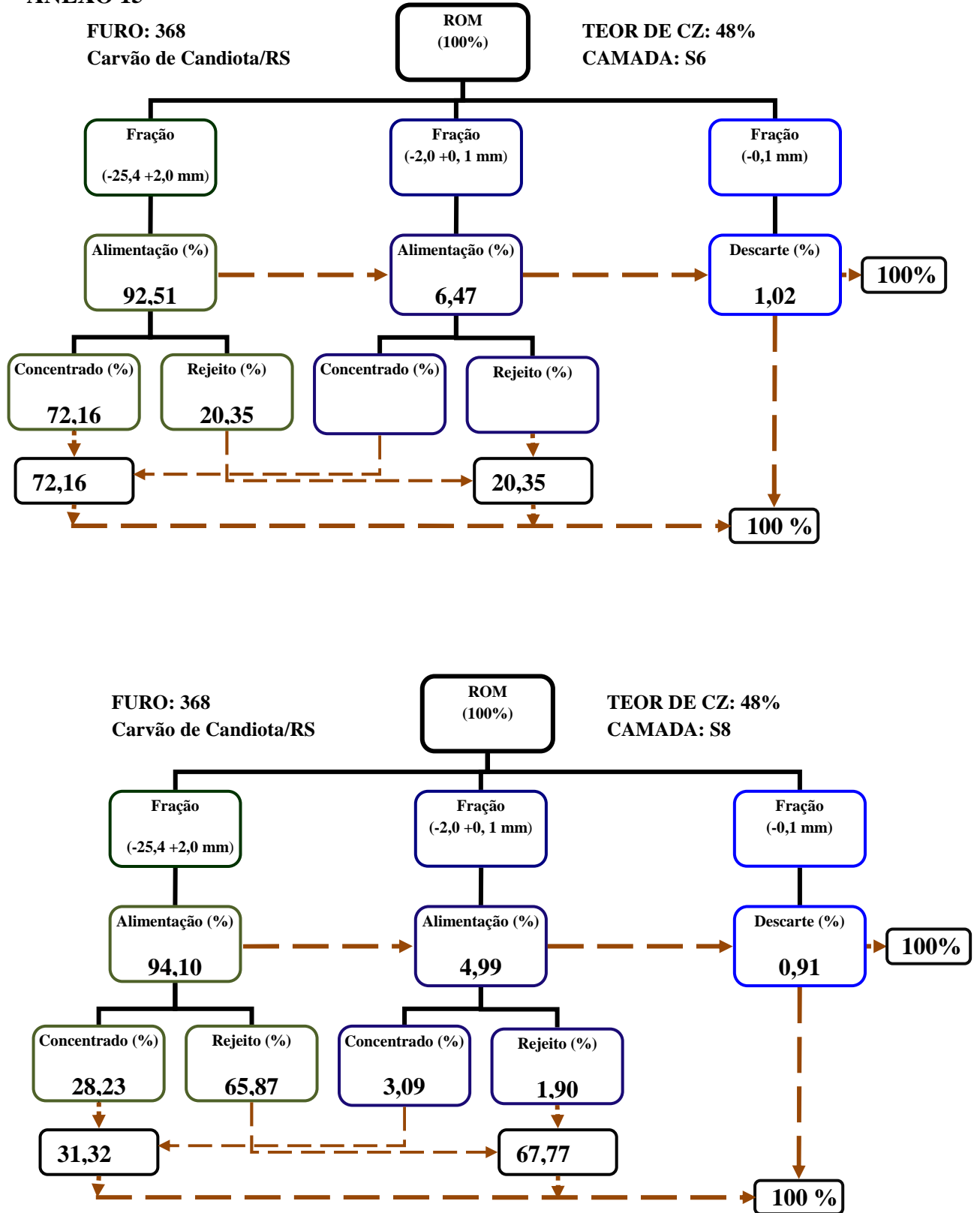


Figura 44 : Fluxograma de beneficiamento das camadas S6 e S8, corte de 42% de Cz e 48% de Cz _Furo 368.

ANEXO 16

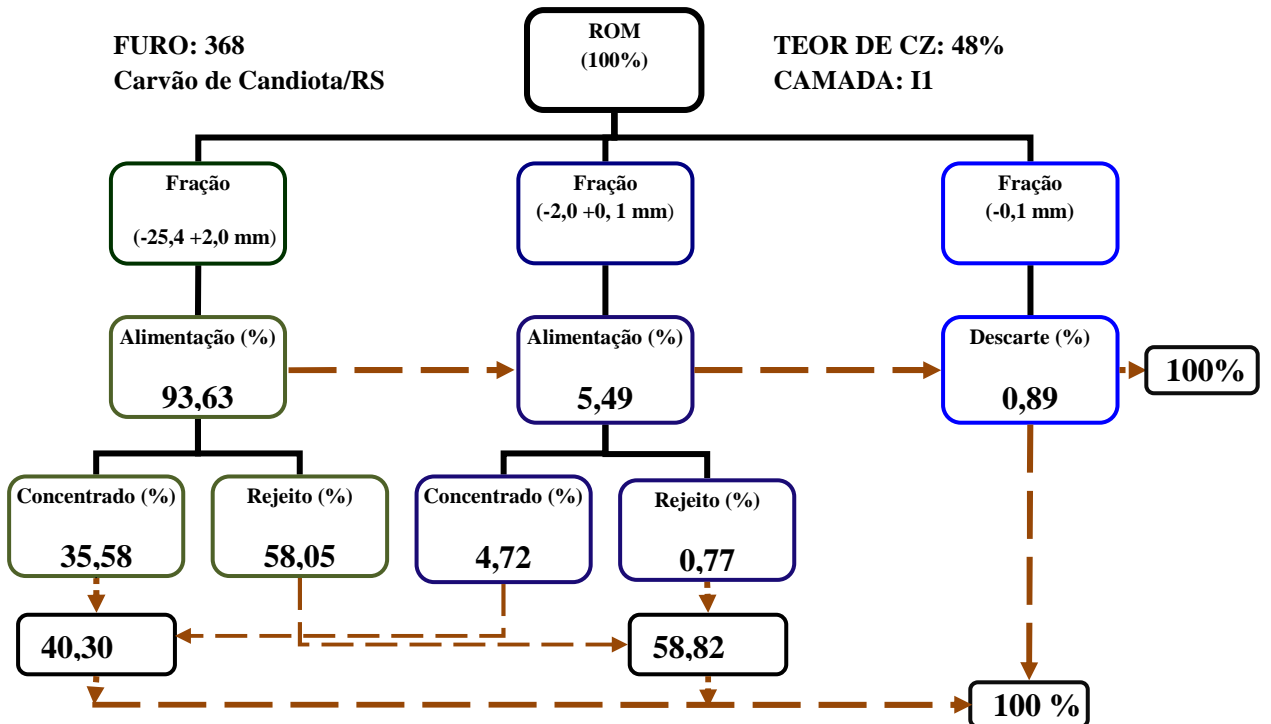
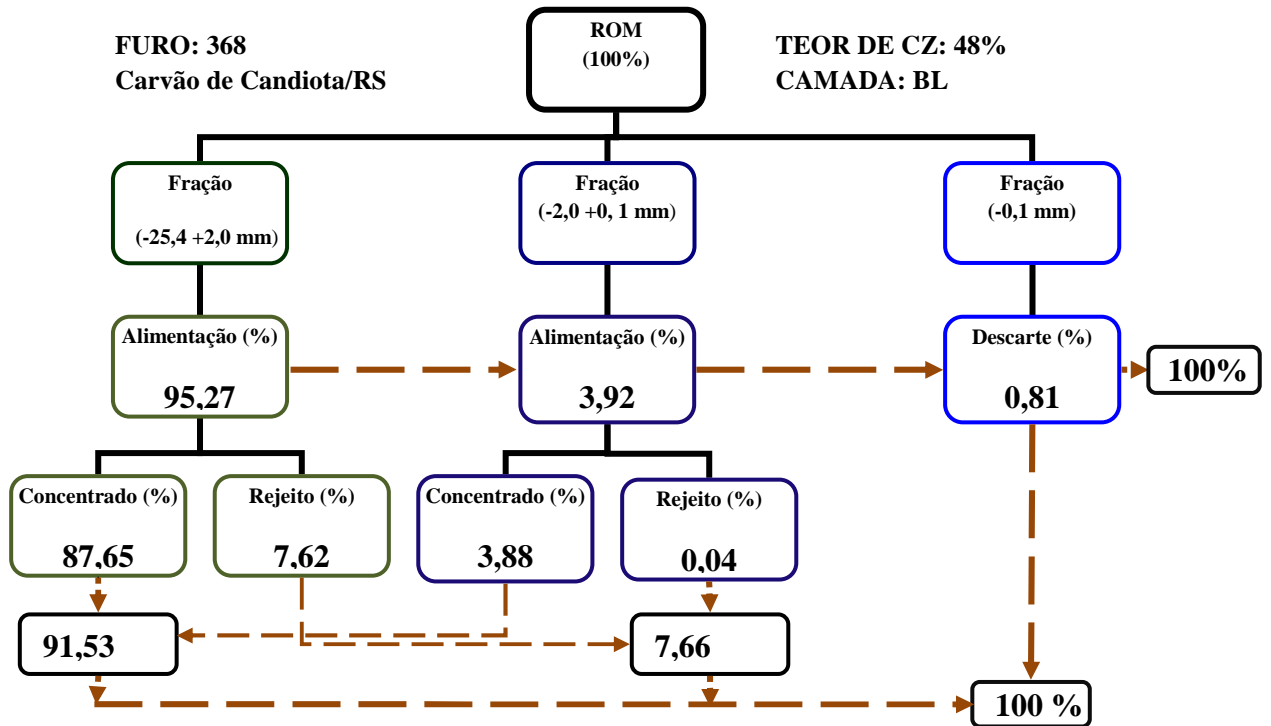


Figura 45: Fluxograma de beneficiamento das camadas BL e I1, corte de 48% de Cz _Furo 368.

ANEXO 17

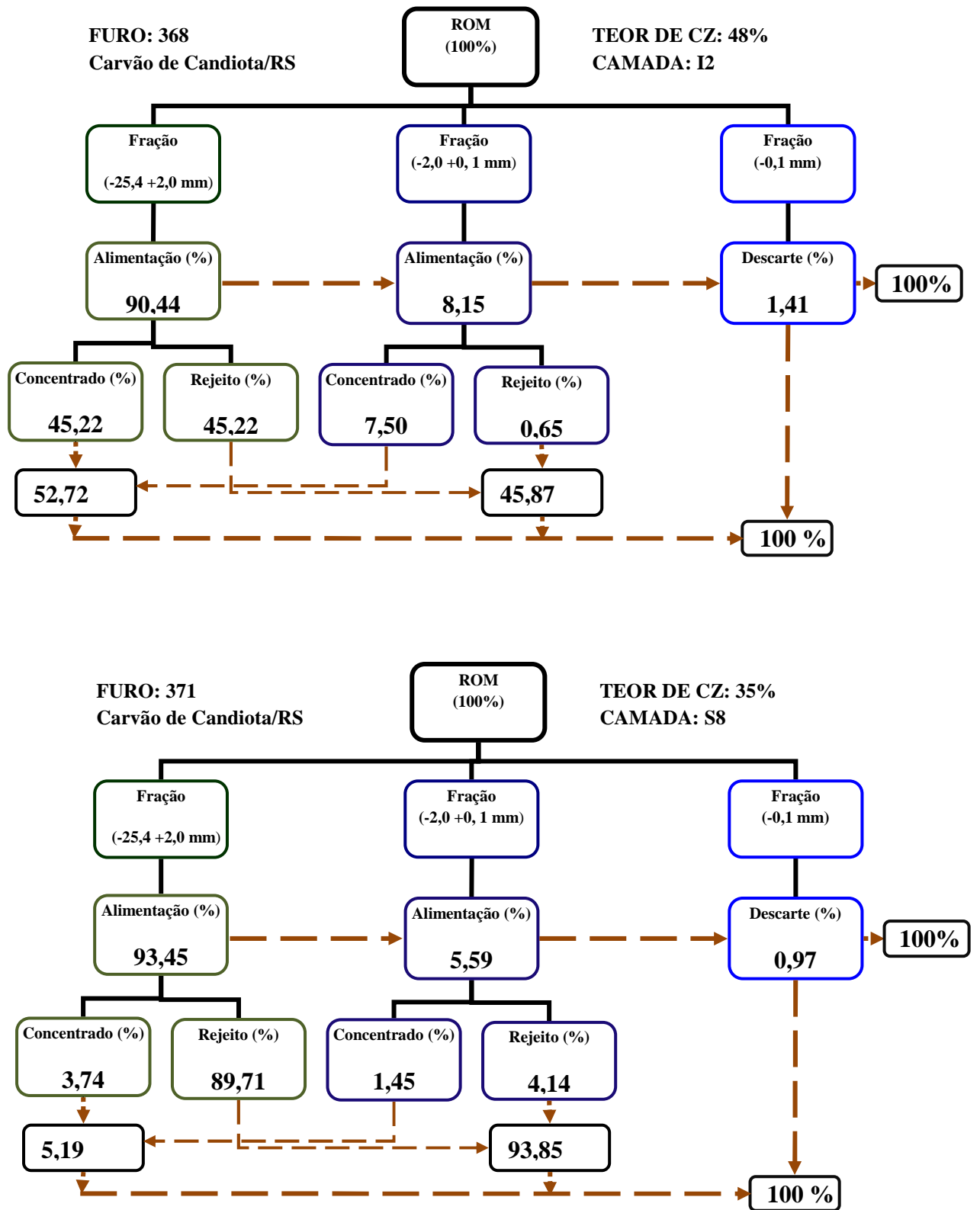


Figura 46: Fluxograma de beneficiamento das camadas I2 e S8, corte de 48% de Cz e 35% de Cz _Furo 368 e 371.

ANEXO 18

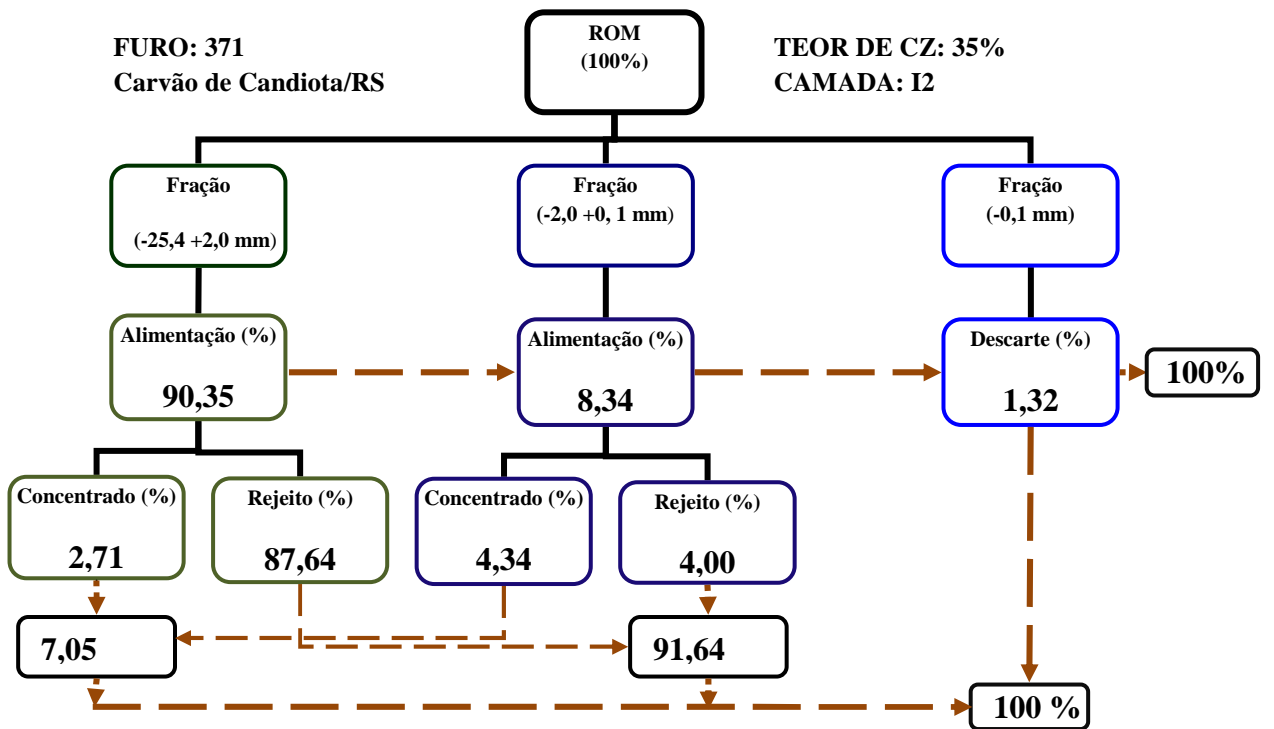
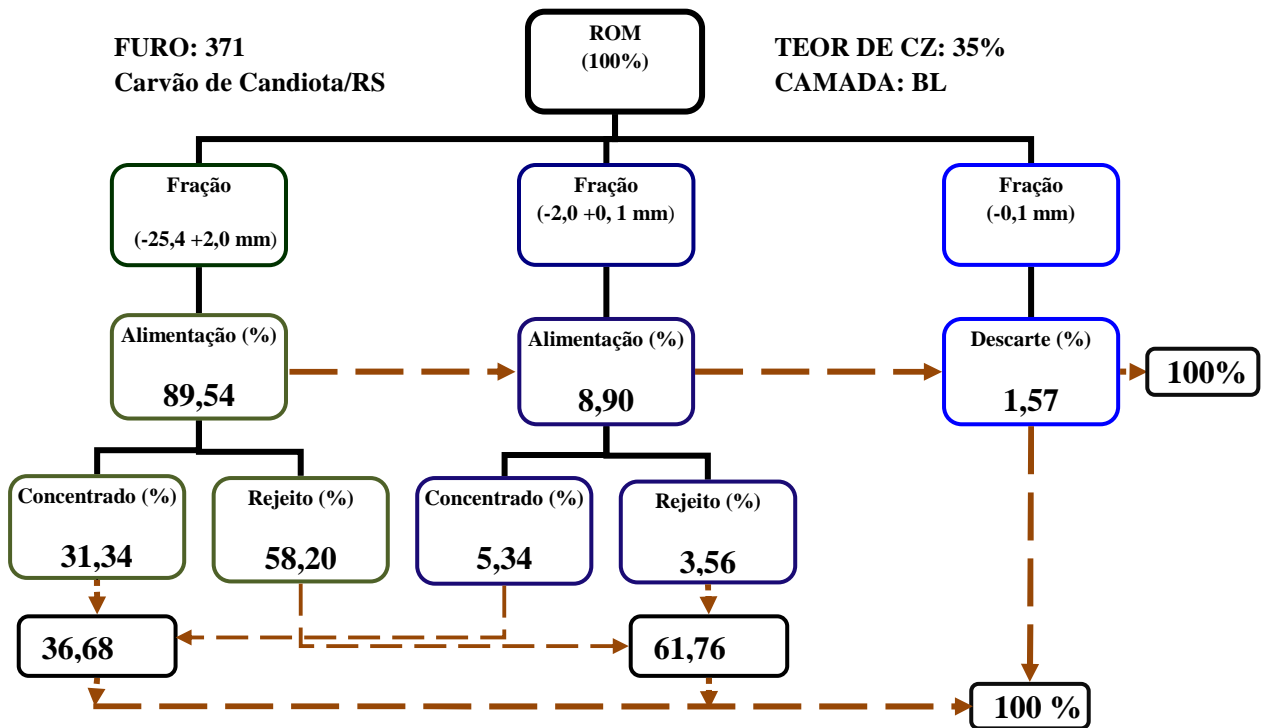


Figura 47: Fluxograma de beneficiamento das camadas BL e I2, corte de 35% de Cz _Furo 371.

ANEXO 19

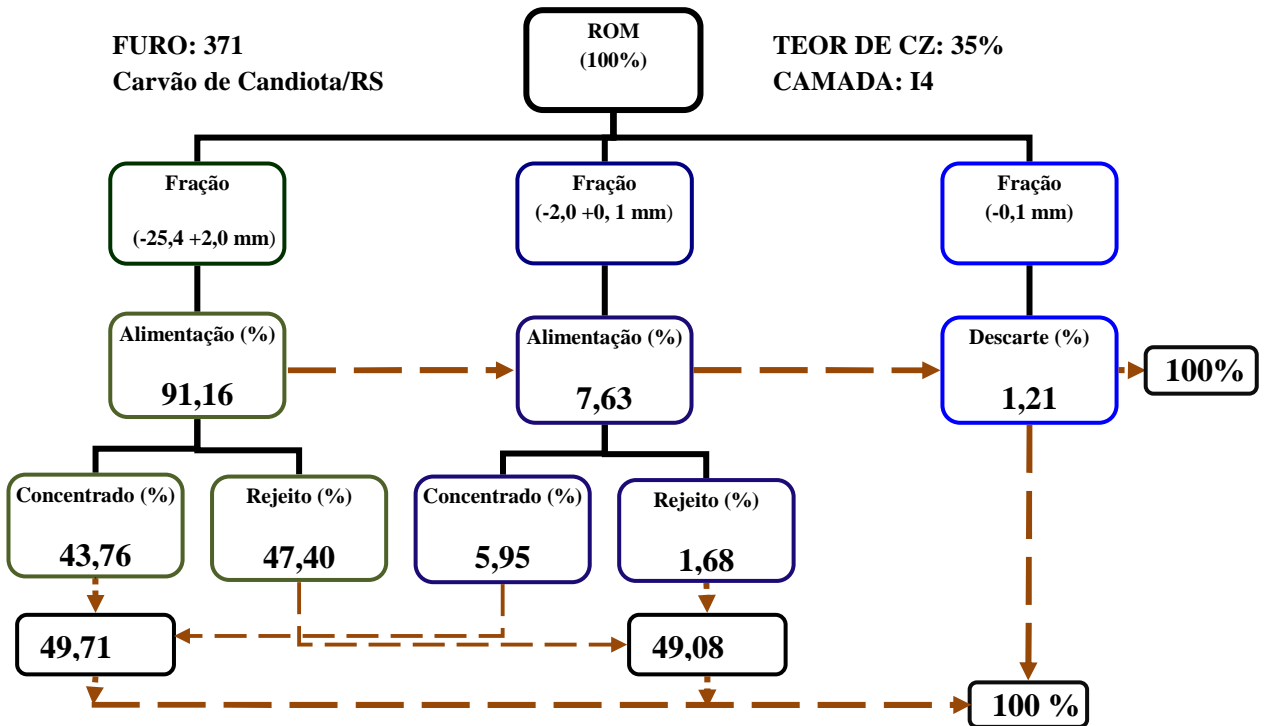
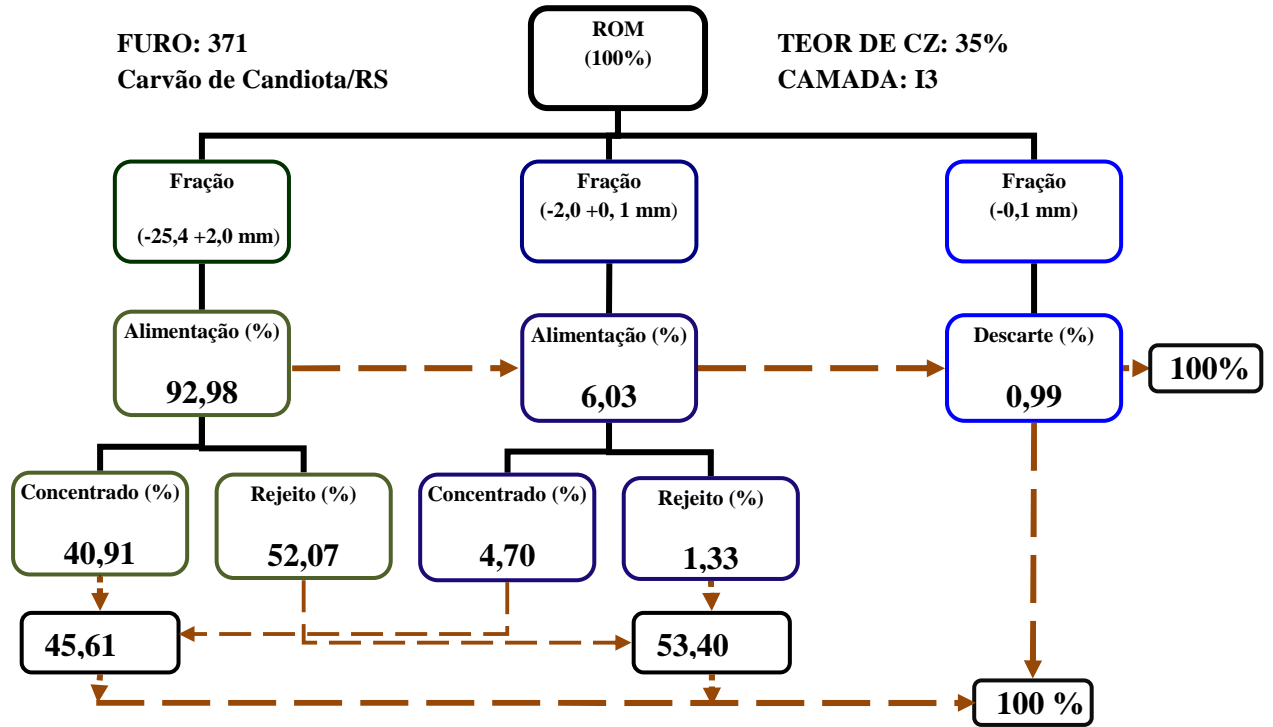


Figura 48: Fluxograma de beneficiamento das camadas I3 e I4, corte de 35% de Cz _Furo 371.

ANEXO 20

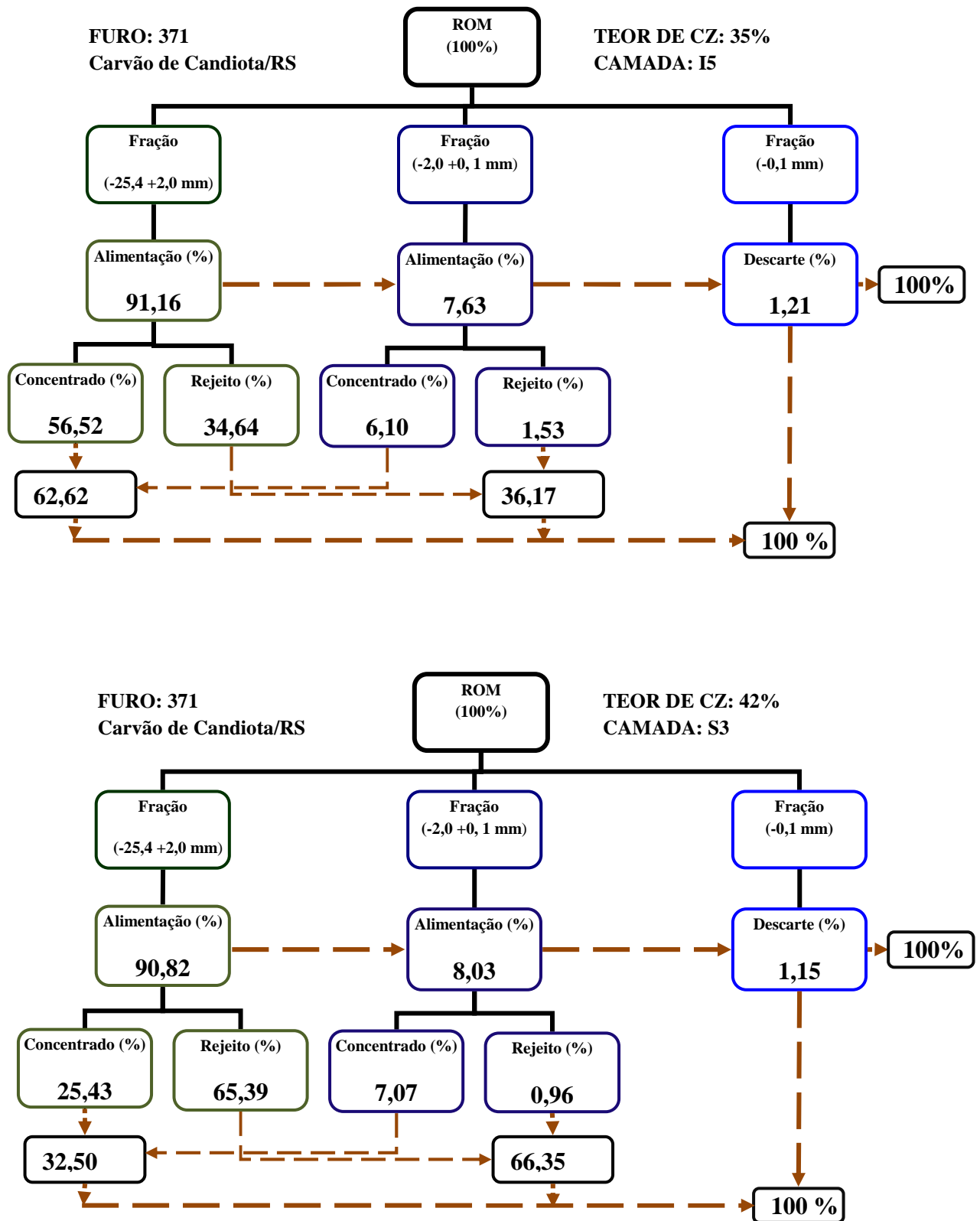


Figura 49: Fluxograma de beneficiamento das camadas I5 e S3, corte de 35% de Cz e 42% _Furo 371.

ANEXO 21

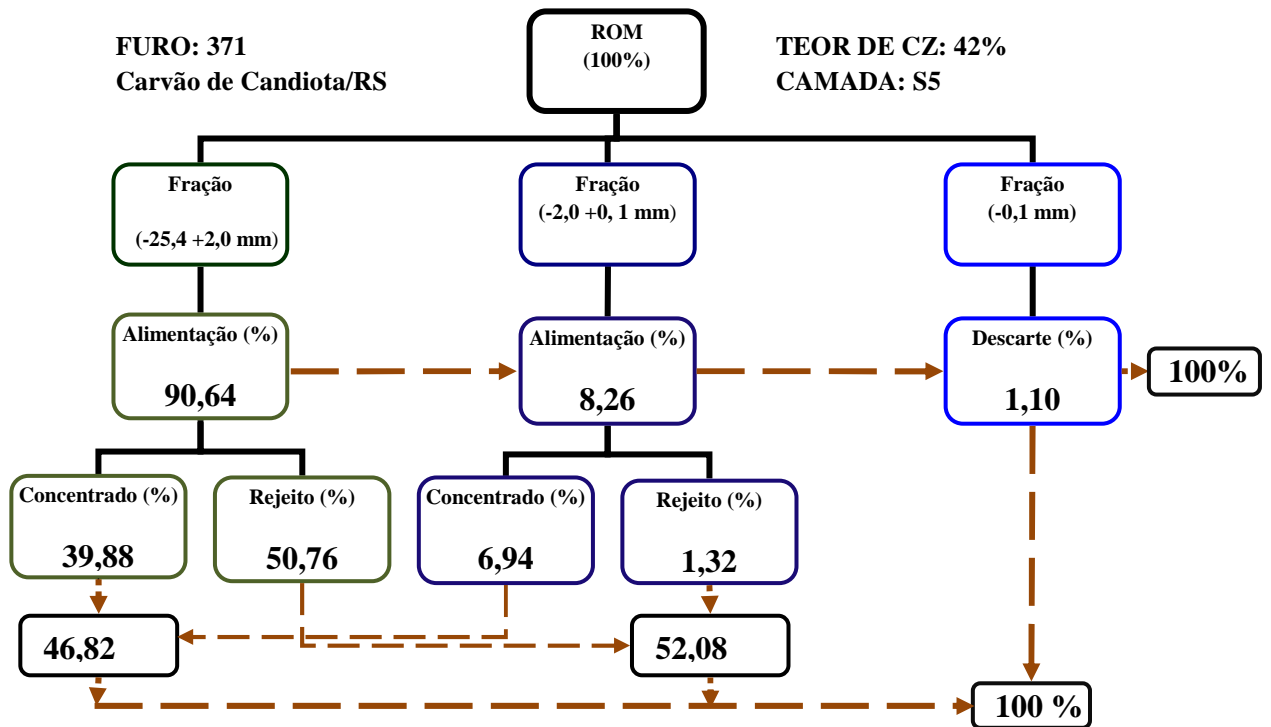
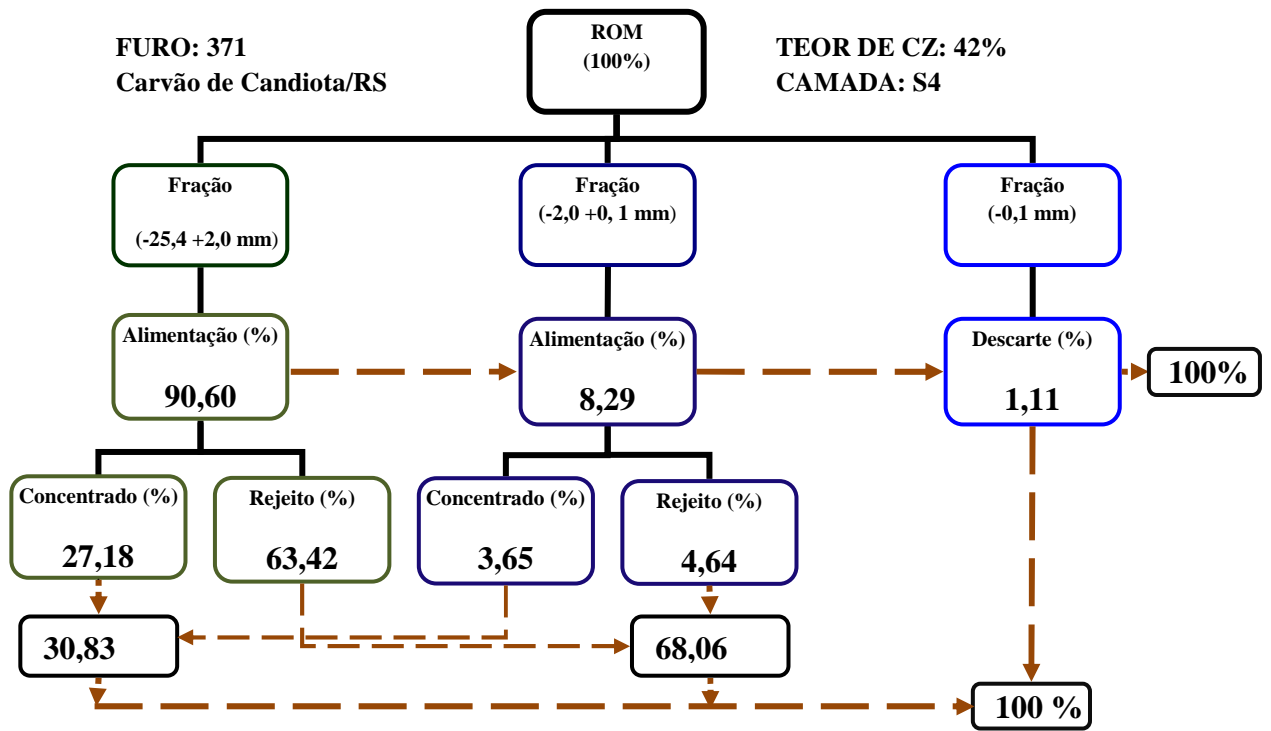


Figura 50: Fluxograma de beneficiamento das camadas S4 e S5, corte de 42% de Cz _Furo 371.

ANEXO 22

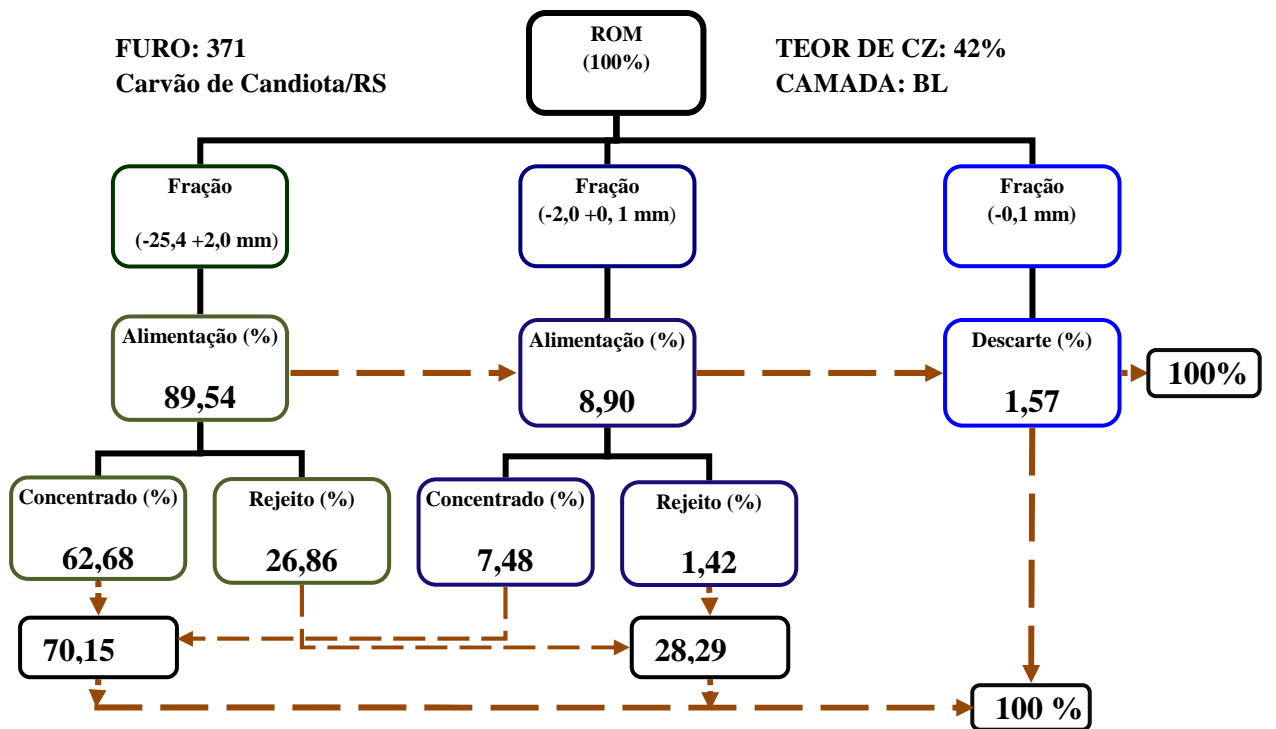
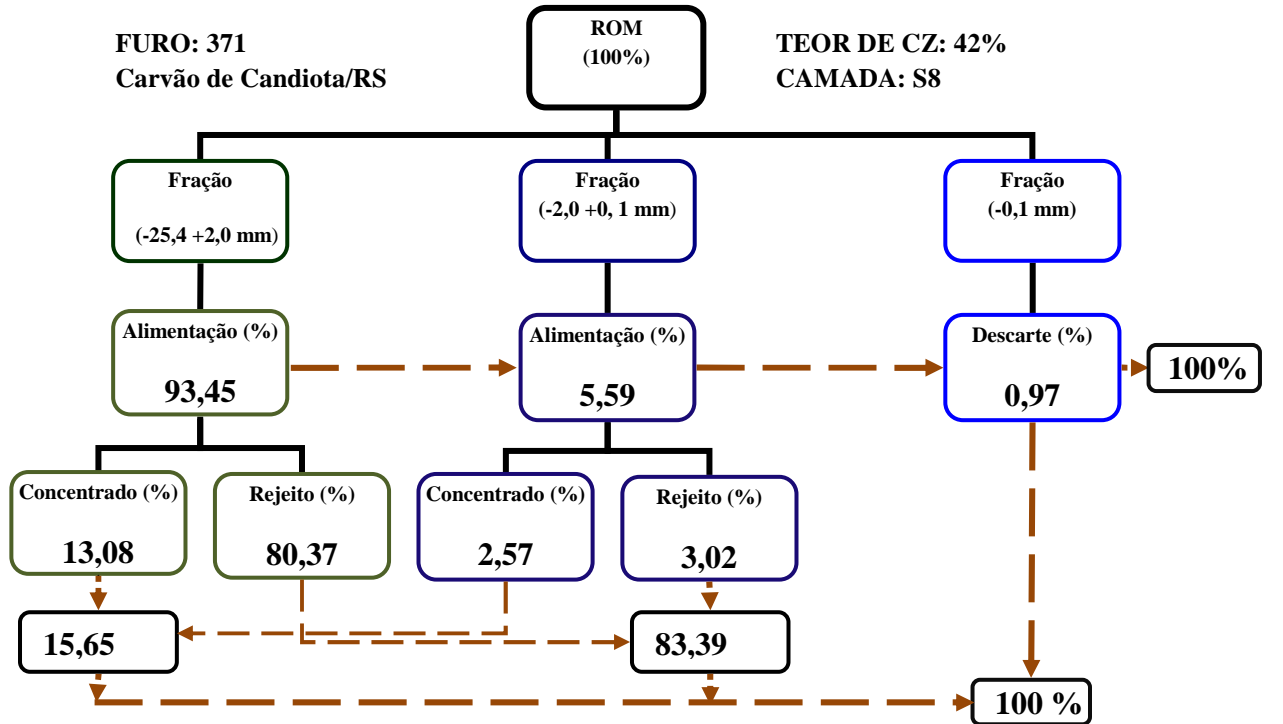


Figura 51: Fluxograma de beneficiamento das camadas S8 e BL, corte de 42% de Cz _Furo 371.

ANEXO 23

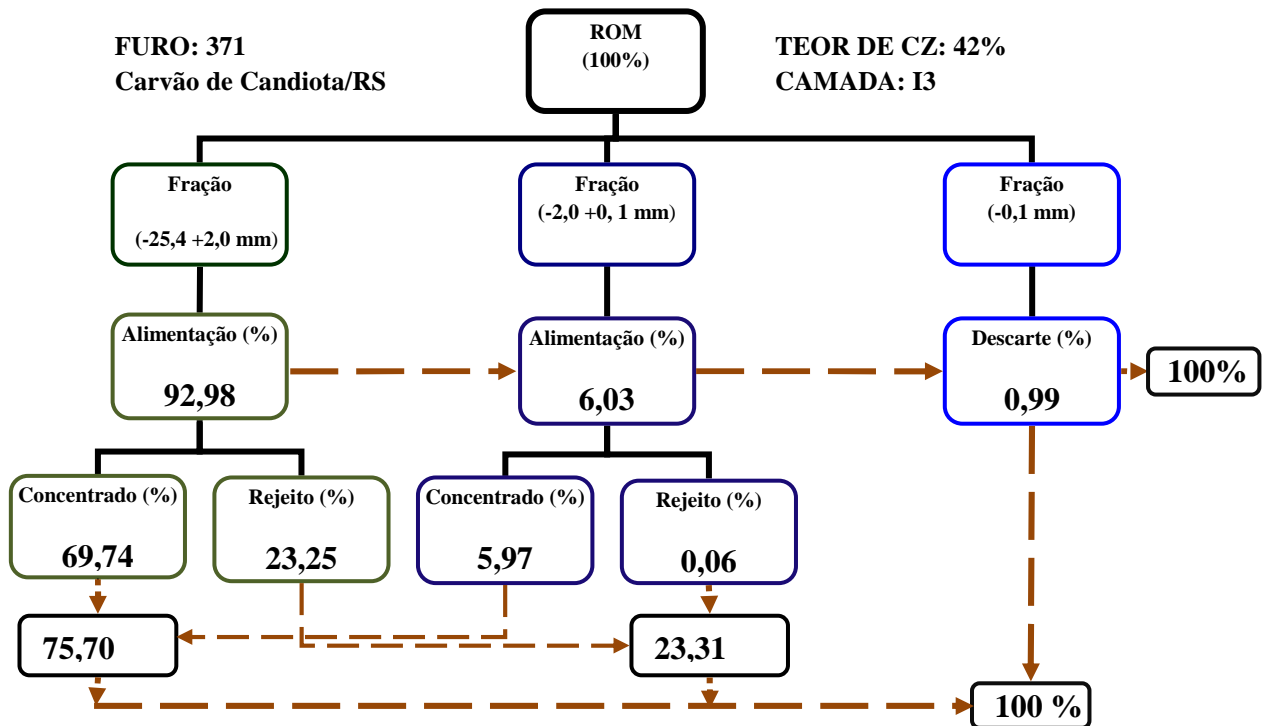
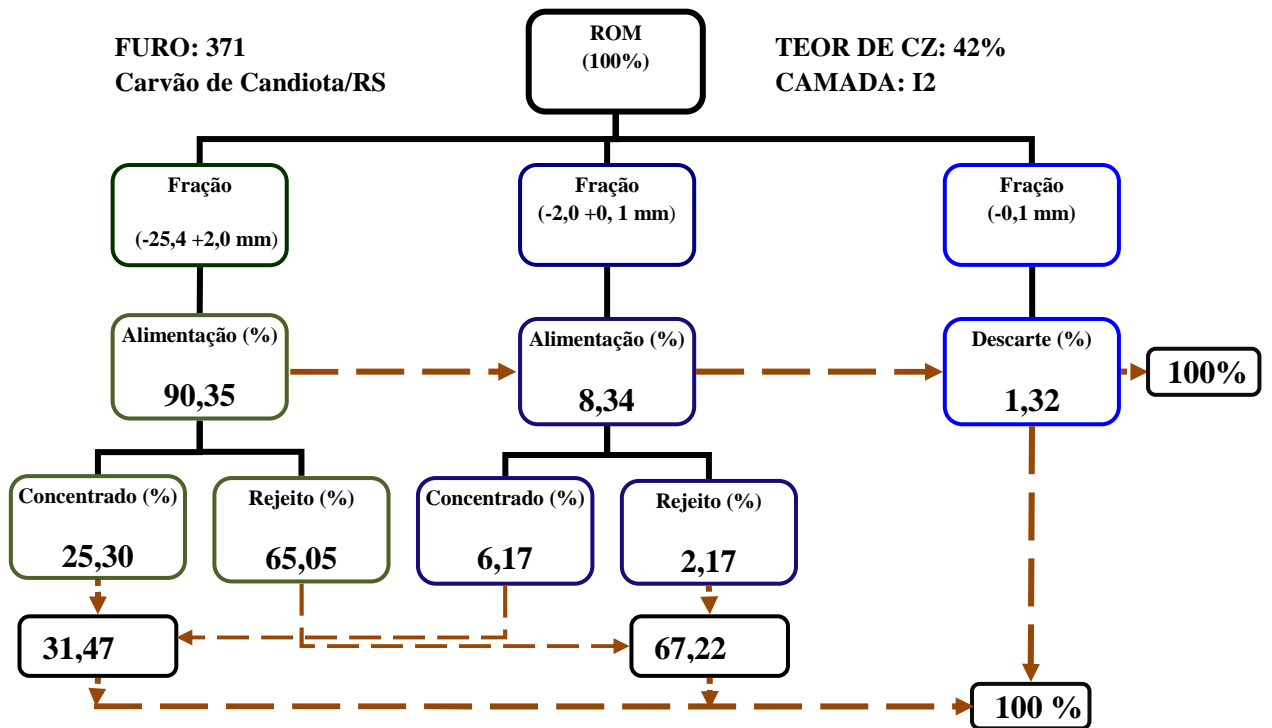


Figura 52: Fluxograma de beneficiamento das camadas I2 e I3, corte de 42% de Cz _Furo 371.

ANEXO 24

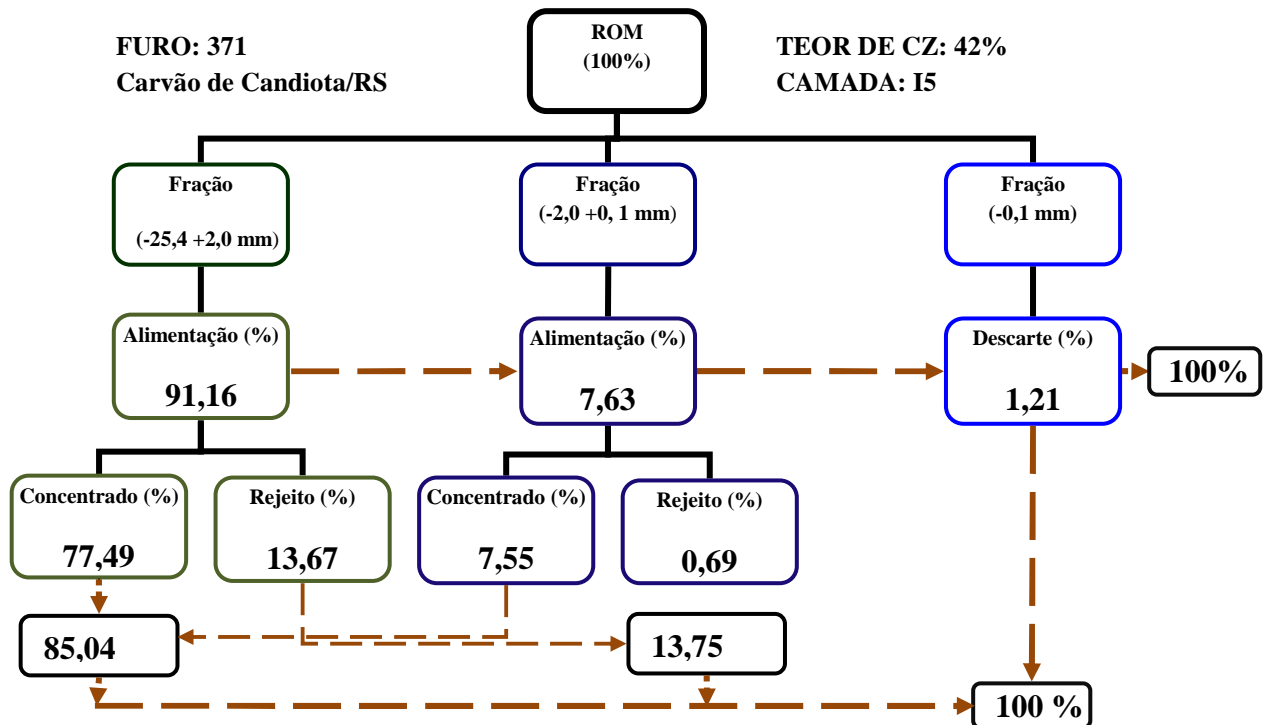
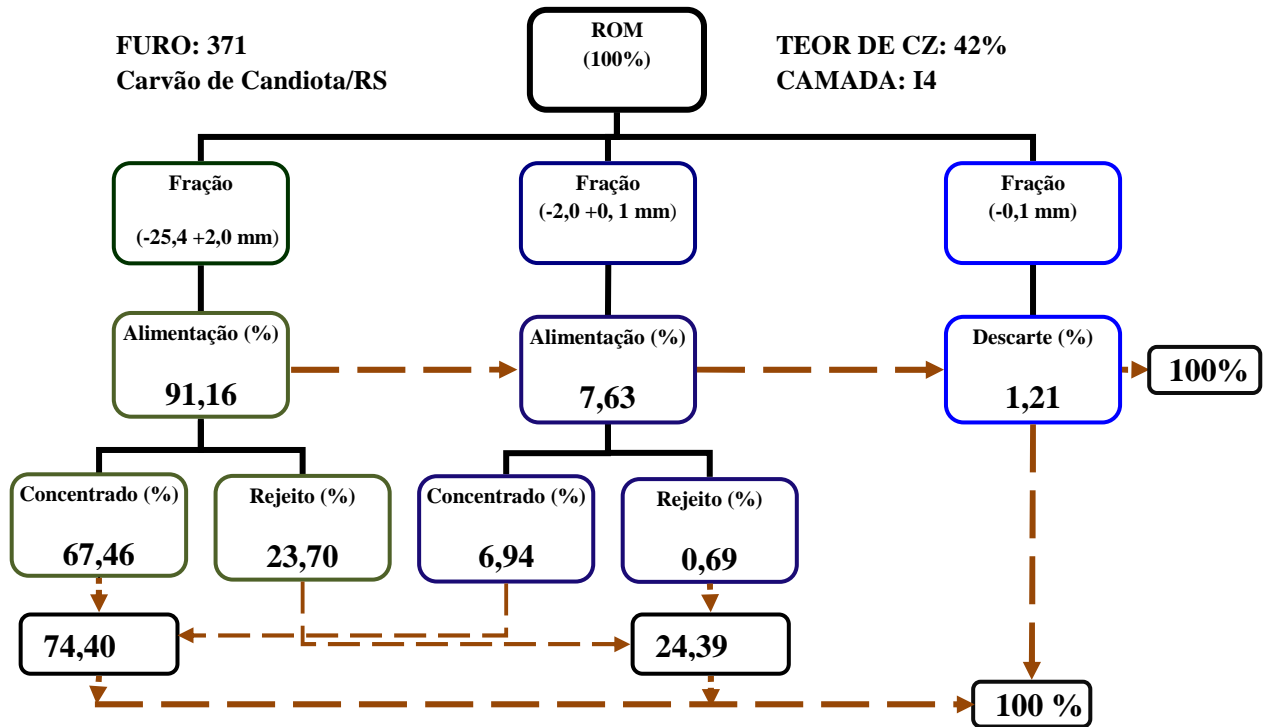


Figura 53: Fluxograma de beneficiamento das camadas I4 e I5, corte de 42% de Cz _Furo 371.

ANEXO 25

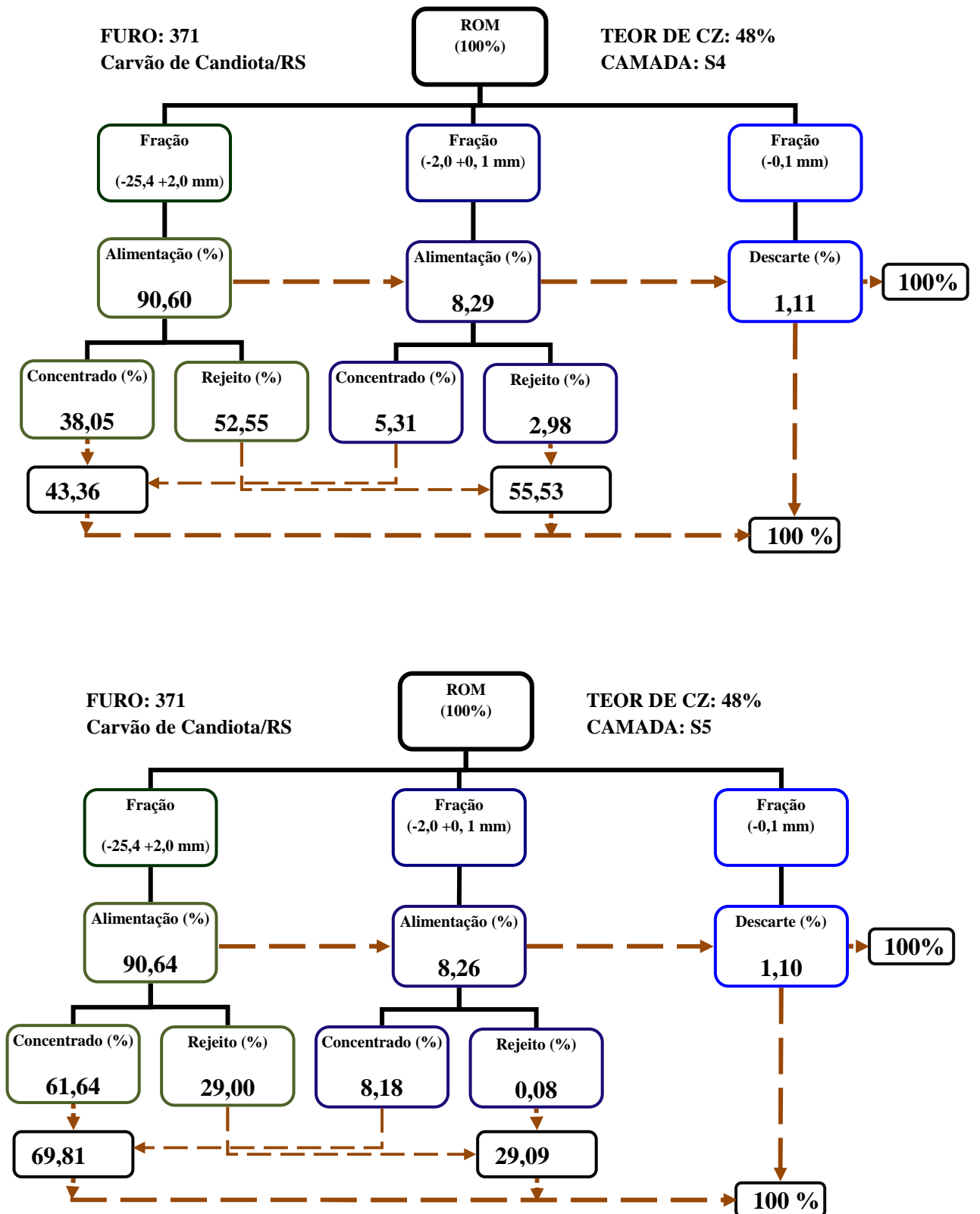


Figura 54: Fluxograma de beneficiamento das camadas S4 e S5, corte de 48% de Cz _Furo 371.

ANEXO 26

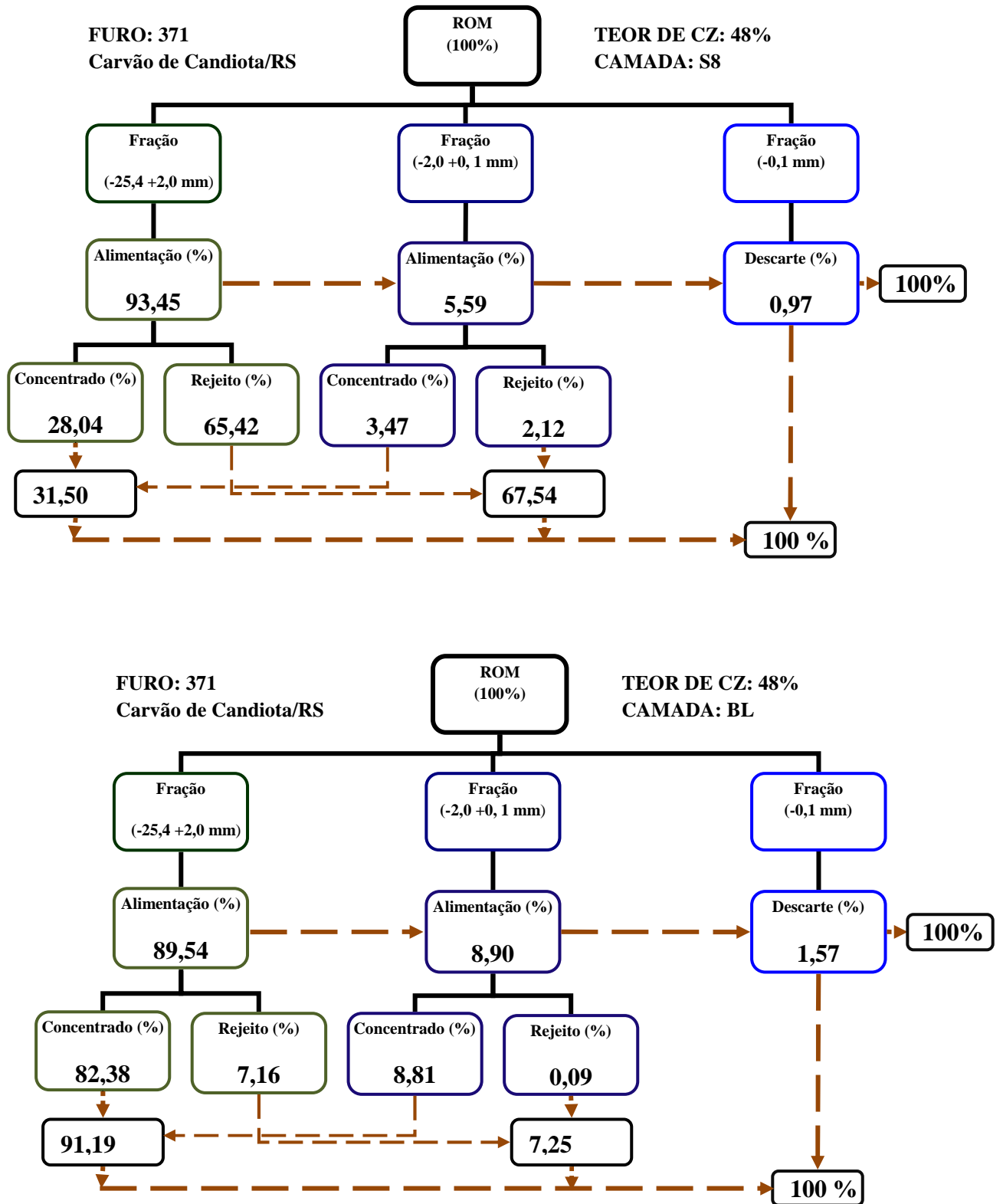


Figura 55: Fluxograma de beneficiamento das camadas S8 e BL, corte de 48% de Cz _Furo 371.

ANEXO 27

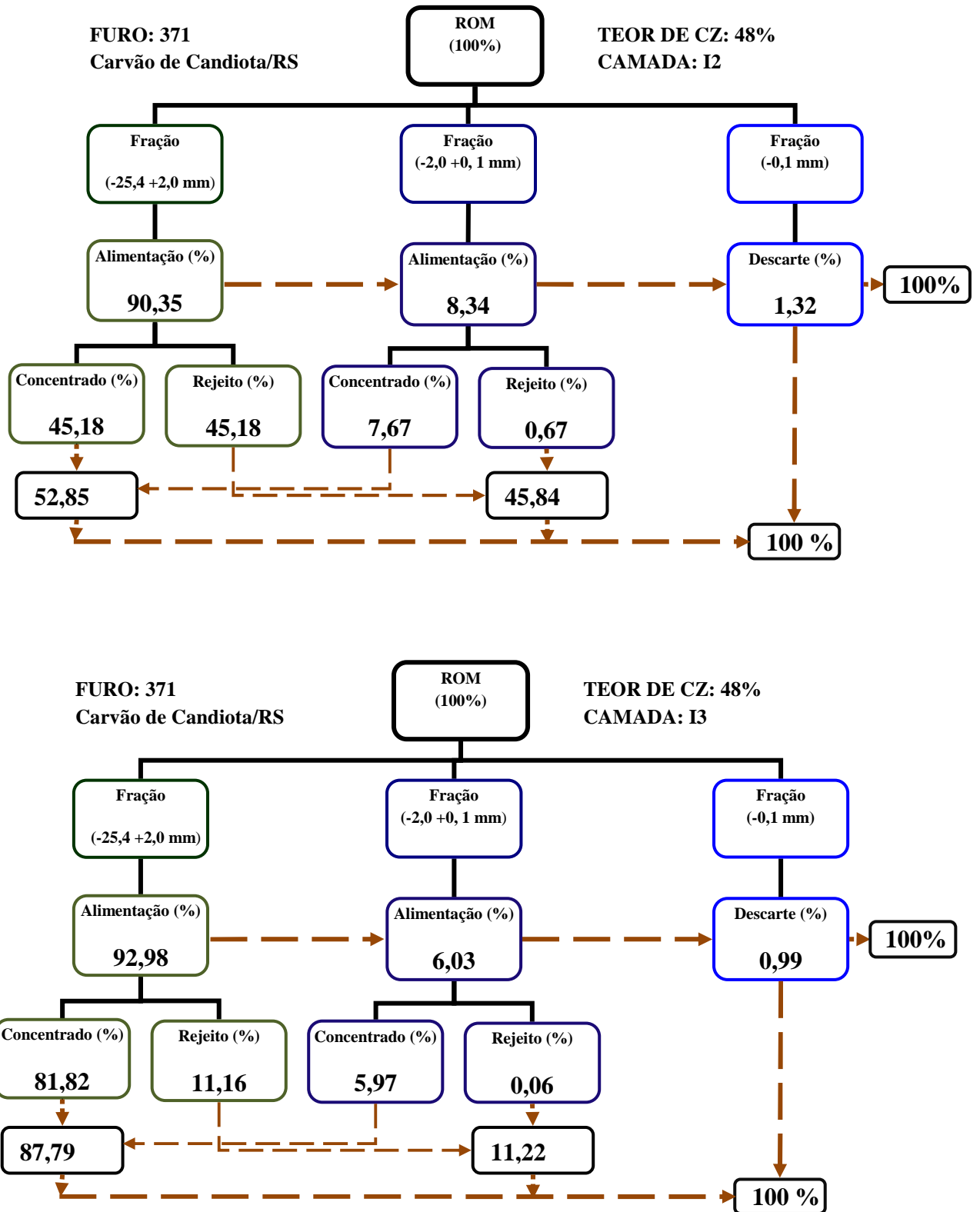


Figura 56: Fluxograma de beneficiamento das camadas I1 e I2, corte de 48% de Cz _Furo 371.

ANEXO 28

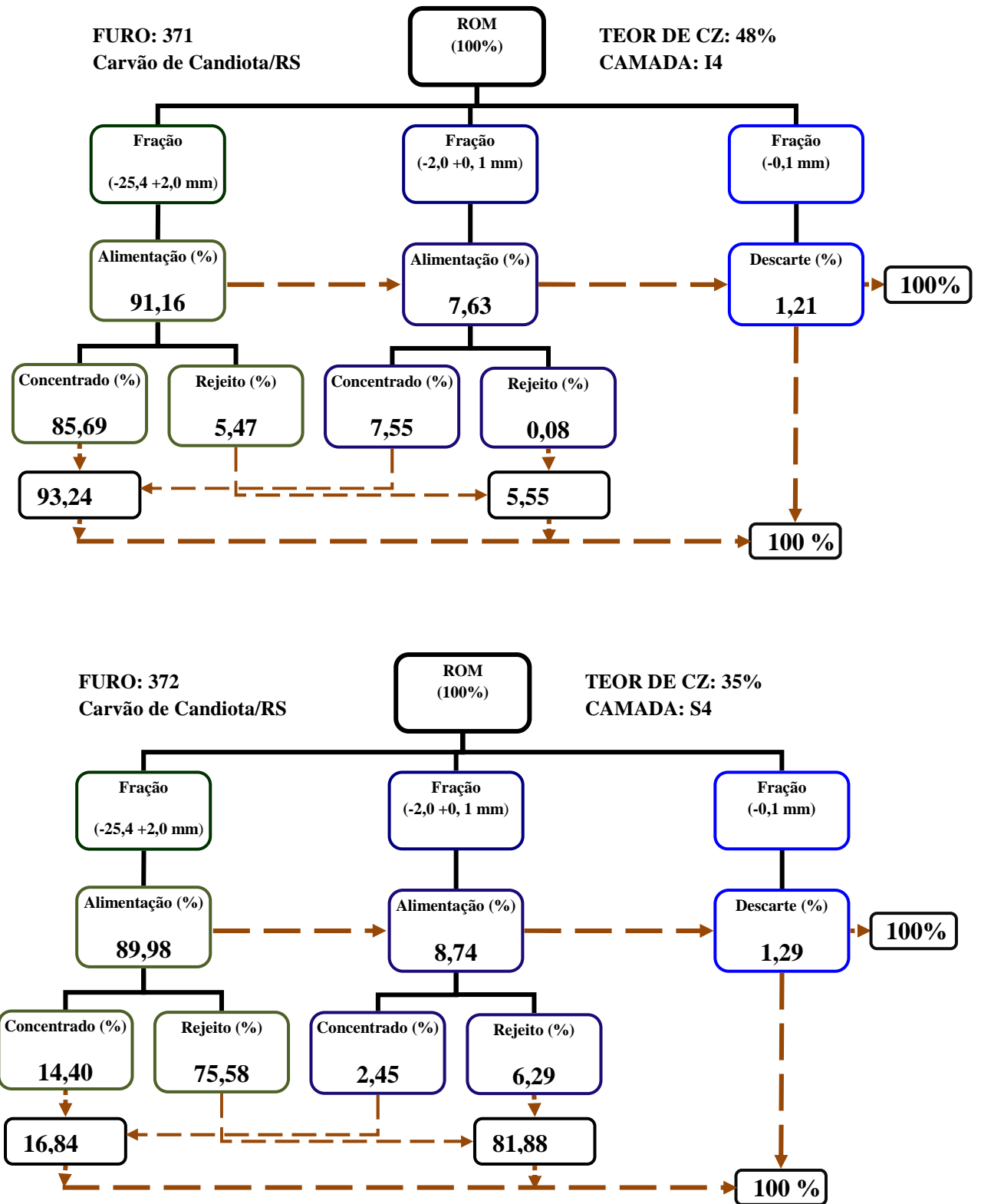


Figura 57: Fluxograma de beneficiamento das camadas I4 e S4, corte de 48% de Cz e 35%_Furo 371 e 372.

ANEXO 29

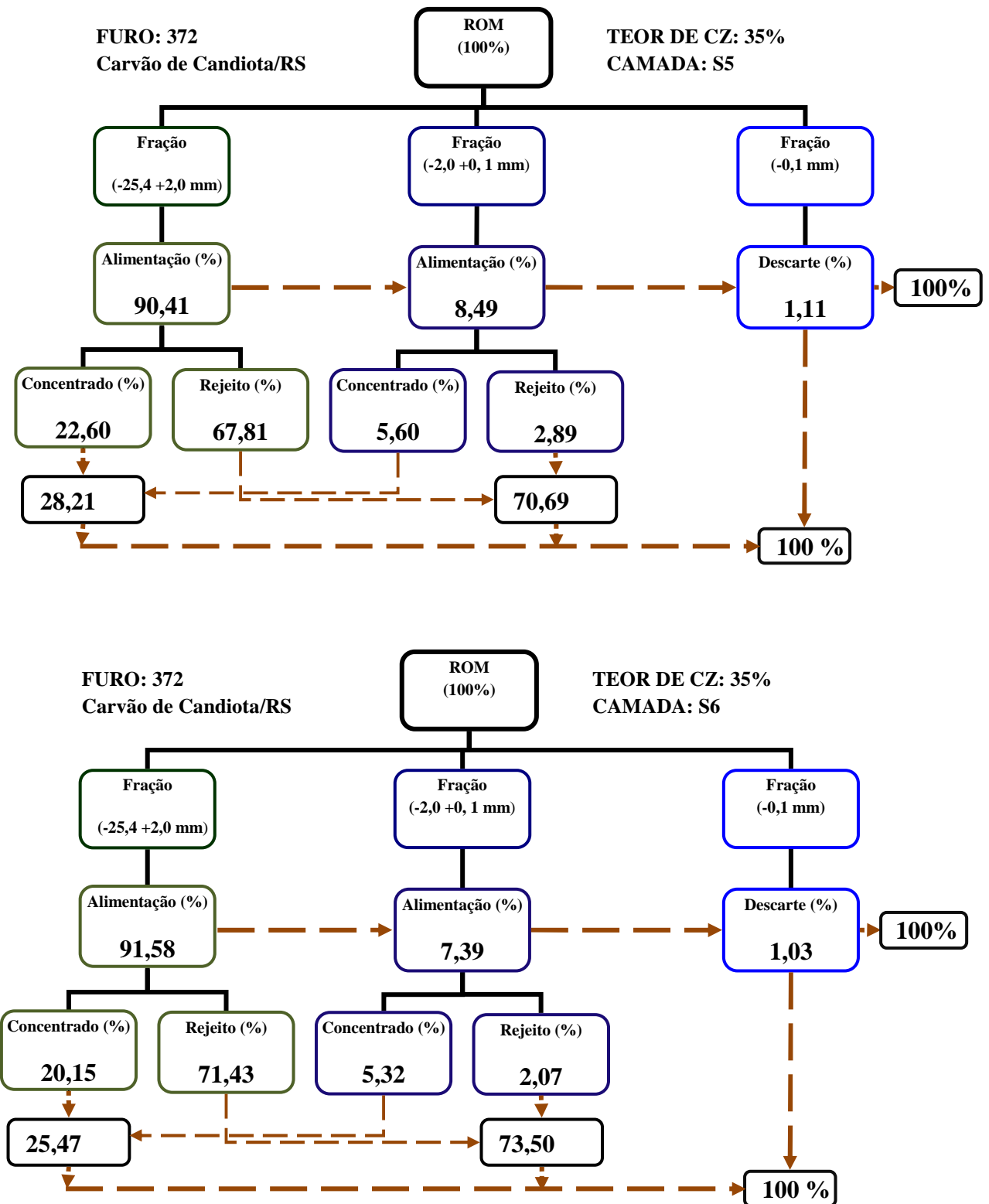


Figura 58: Fluxograma de beneficiamento das camadas S5 e S6, corte de 35% de Cz _Furo 372.

ANEXO 30

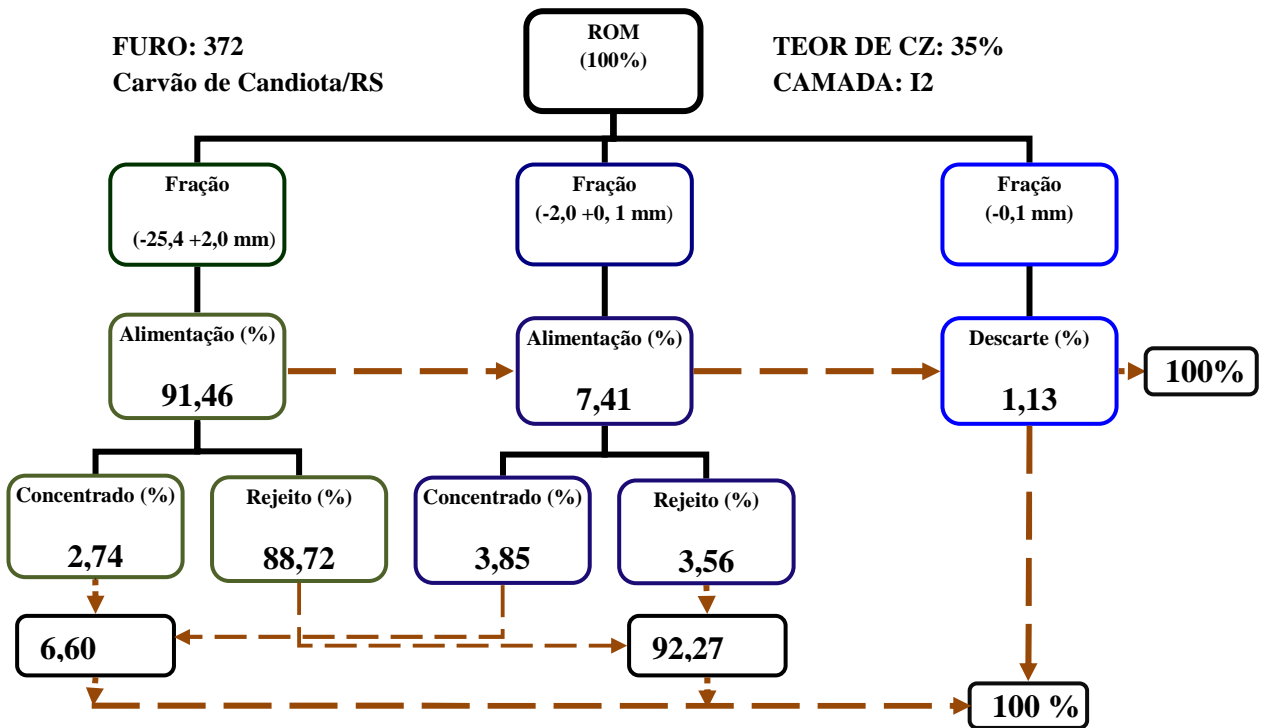
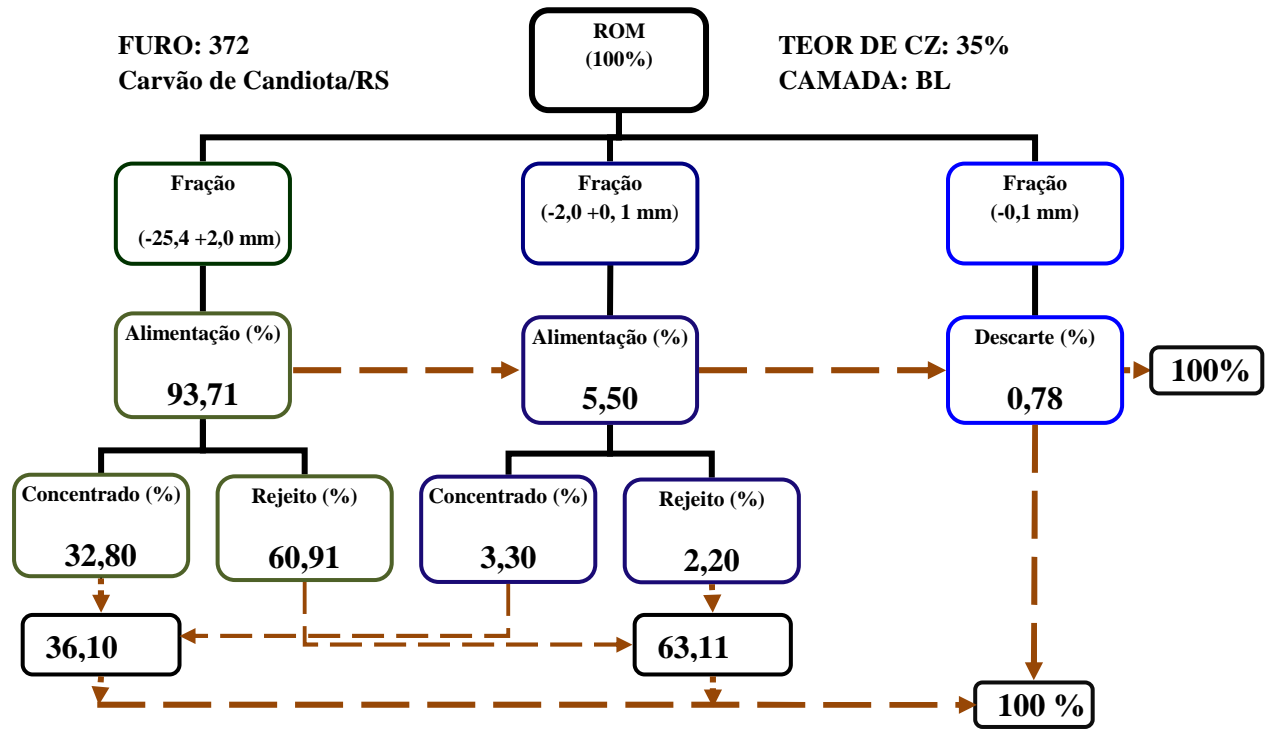


Figura 59: Fluxograma de beneficiamento das camadas BL e I2, corte de 35% de Cz _Furo 372.

ANEXO 31

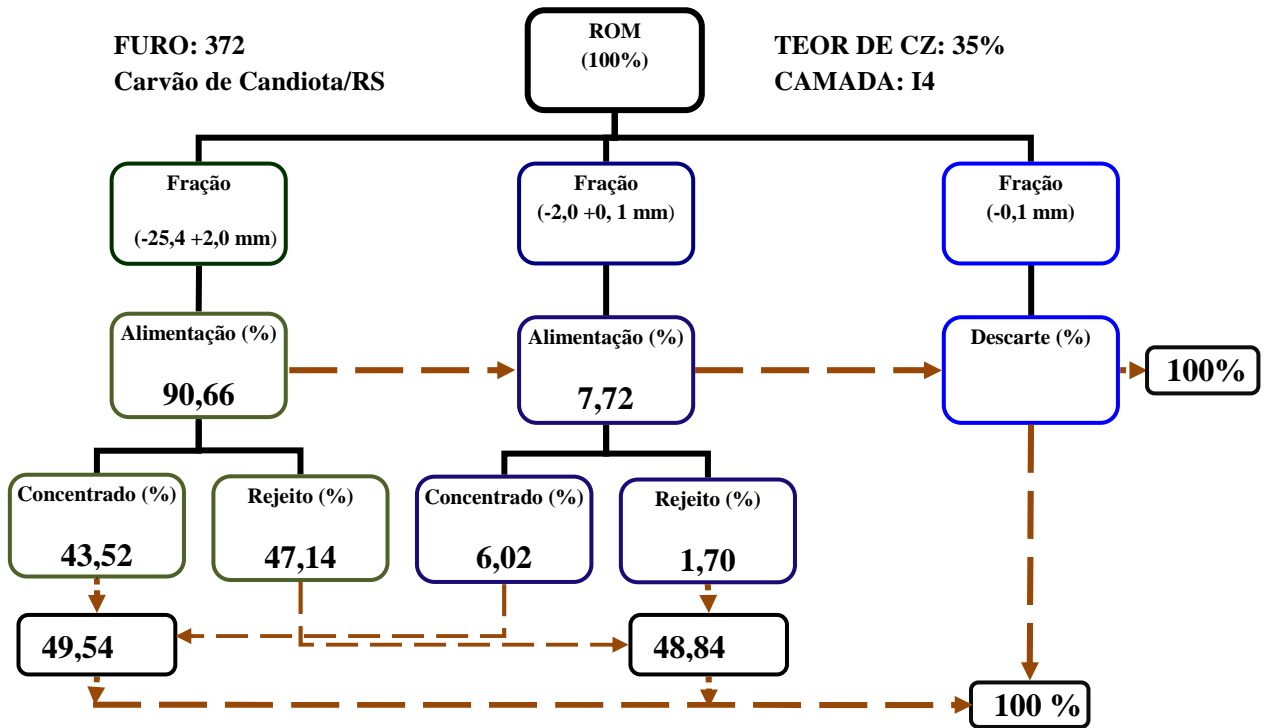
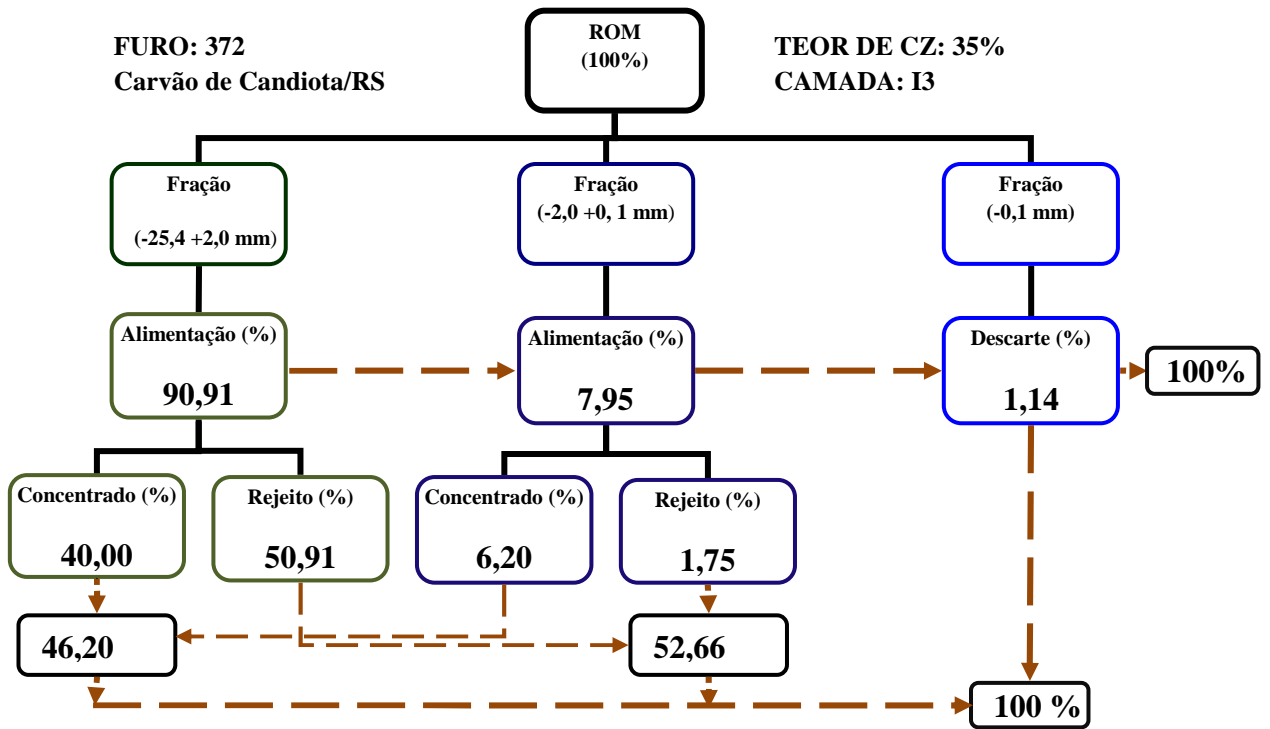


Figura 60: Fluxograma de beneficiamento das camadas I3 e I4, corte de 35% de Cz _Furo 372.

ANEXO 32

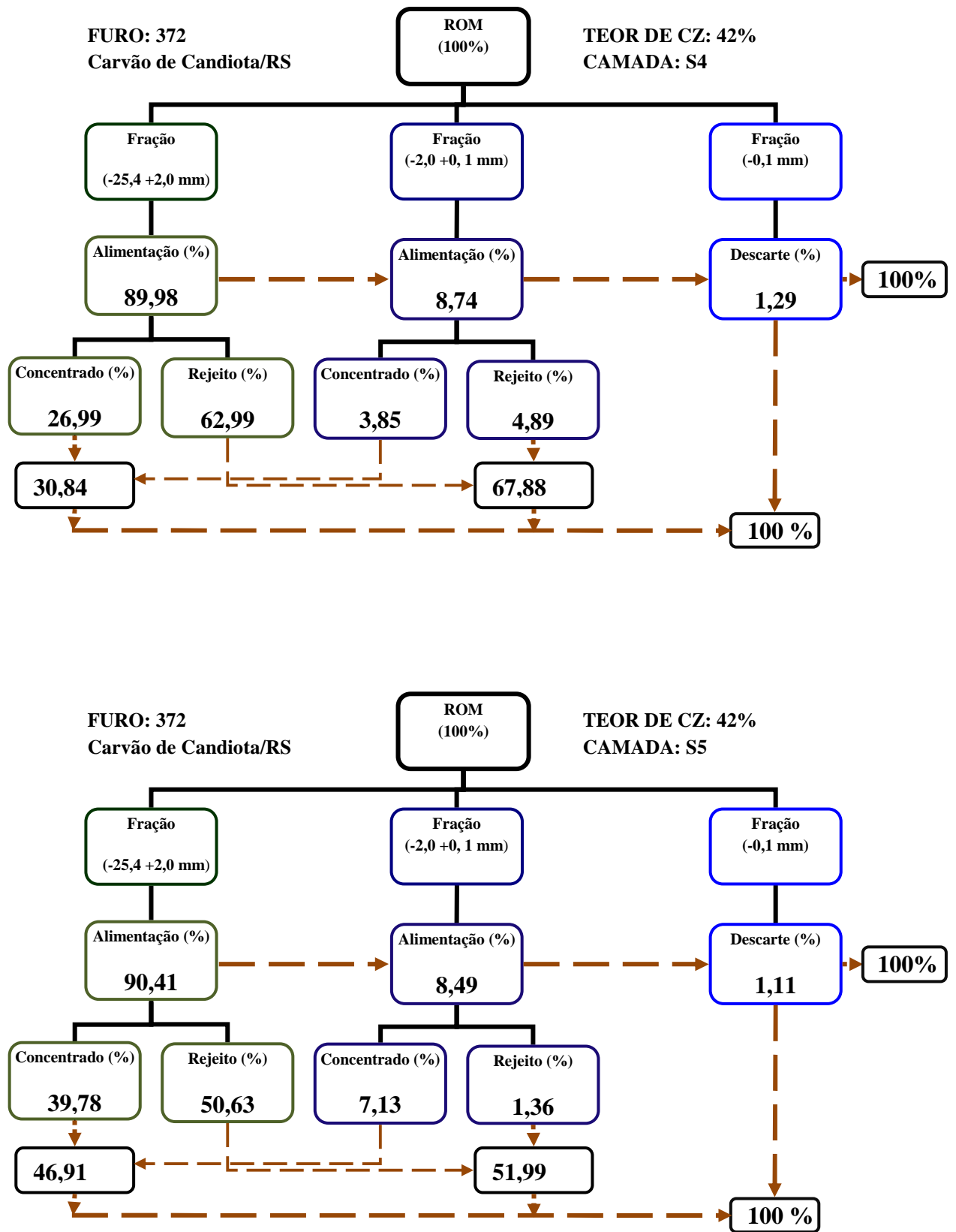


Figura 61: Fluxograma de beneficiamento das camadas S4 e S5, corte de 42% de Cz _Furo 372.

ANEXO 33

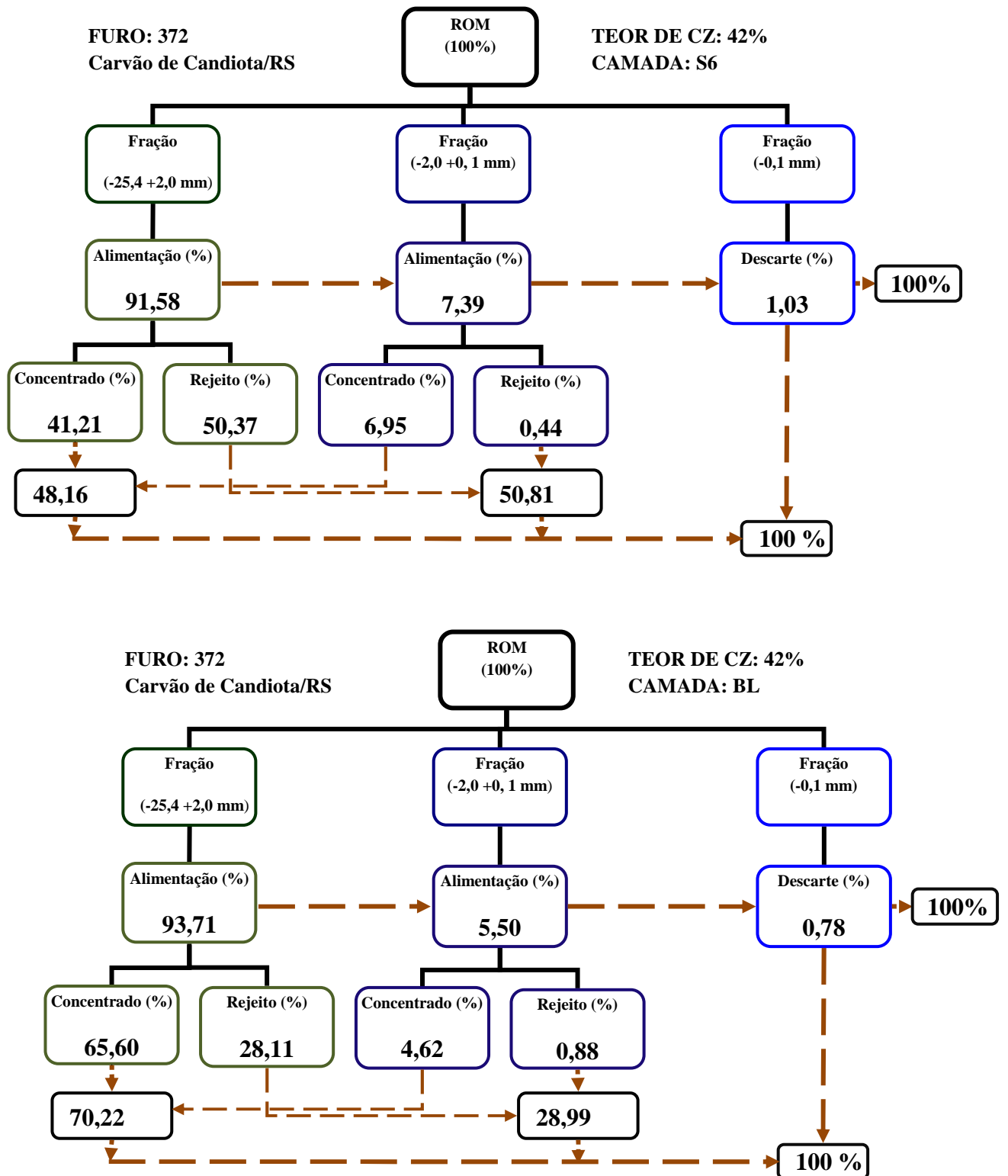


Figura 62: Fluxograma de beneficiamento das camadas S6 e BL, corte de 42% de Cz _Furo 372.

ANEXO 34

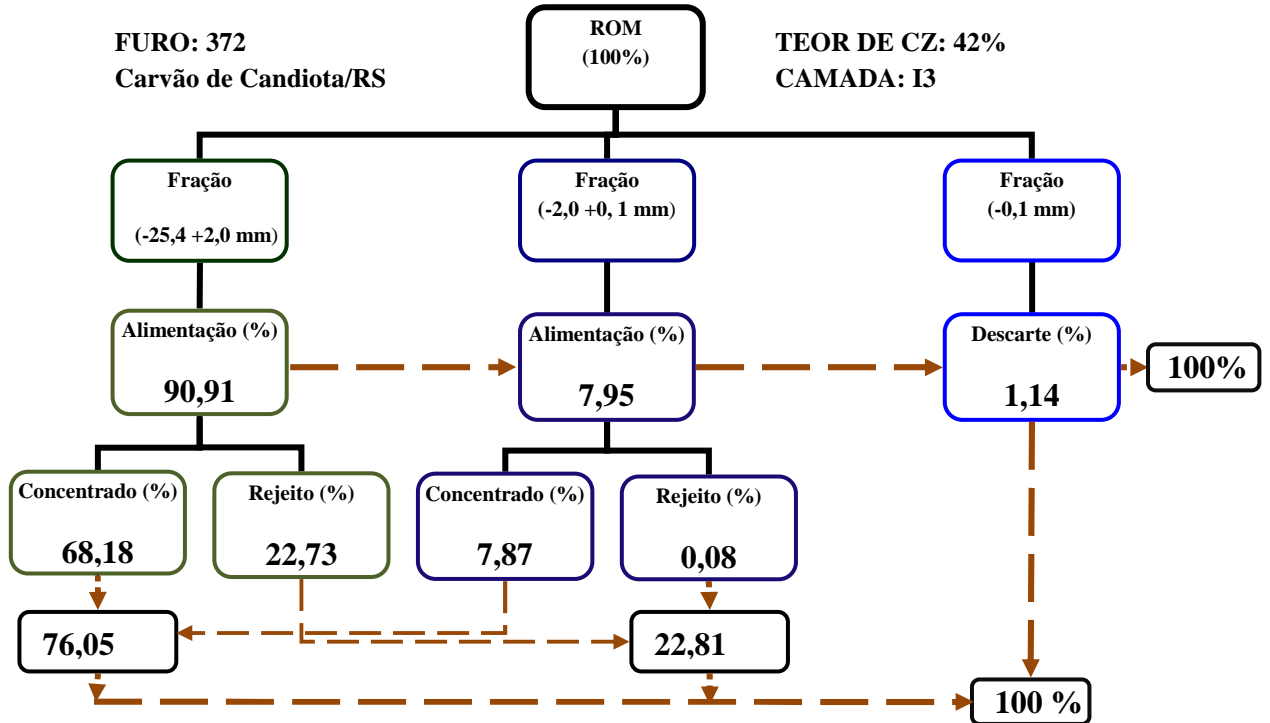
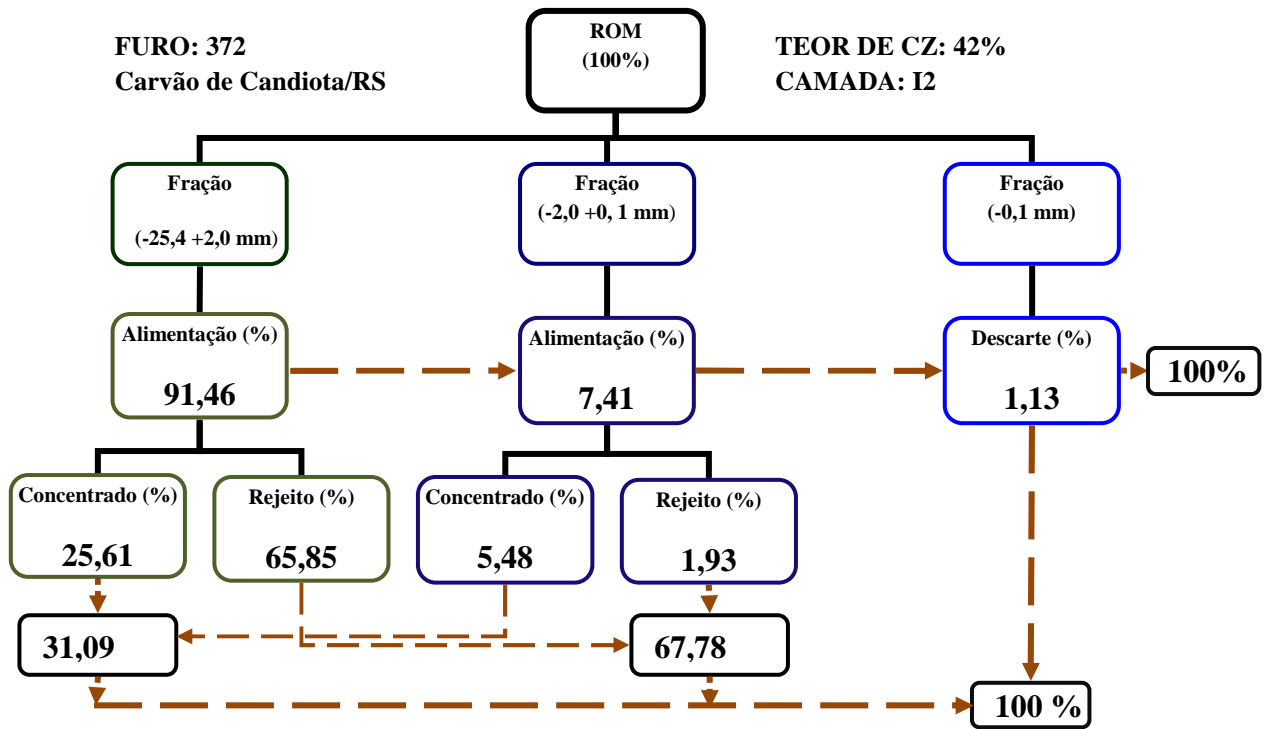


Figura 63: Fluxograma de beneficiamento das camadas I2 e I3, corte de 42% de Cz _Furo 372.

ANEXO 35

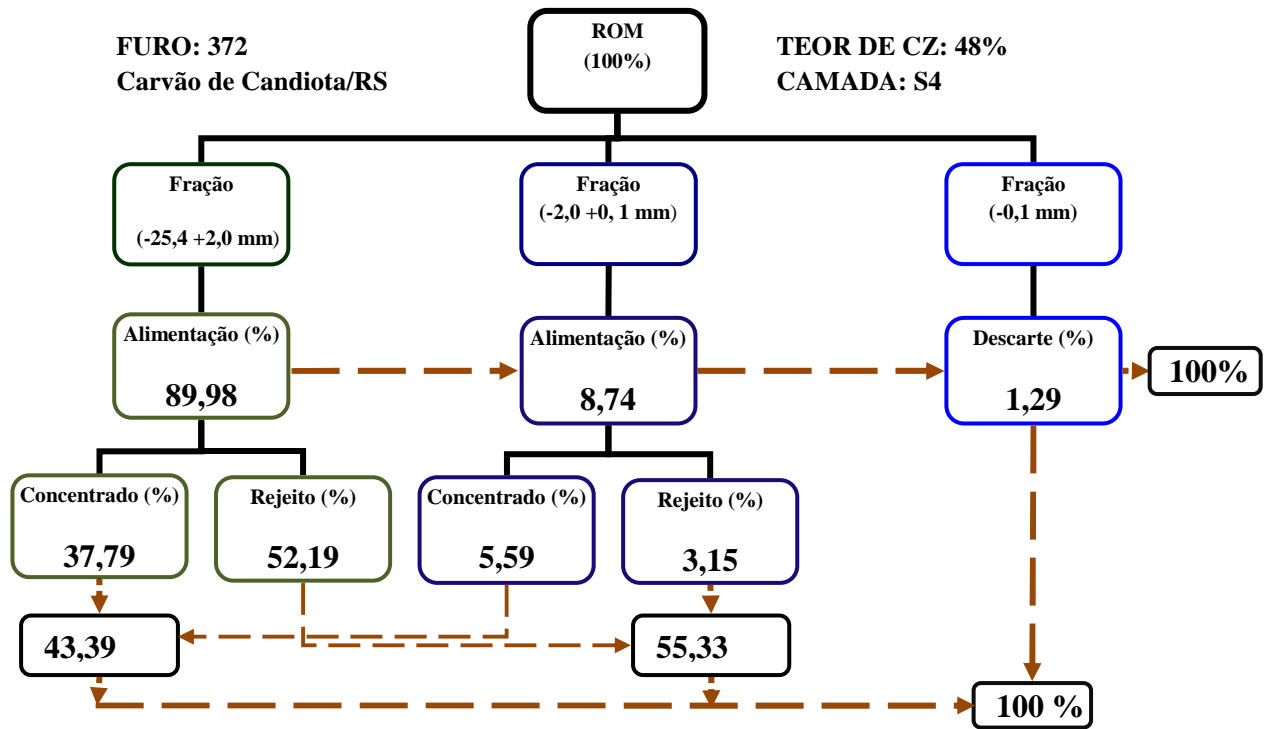
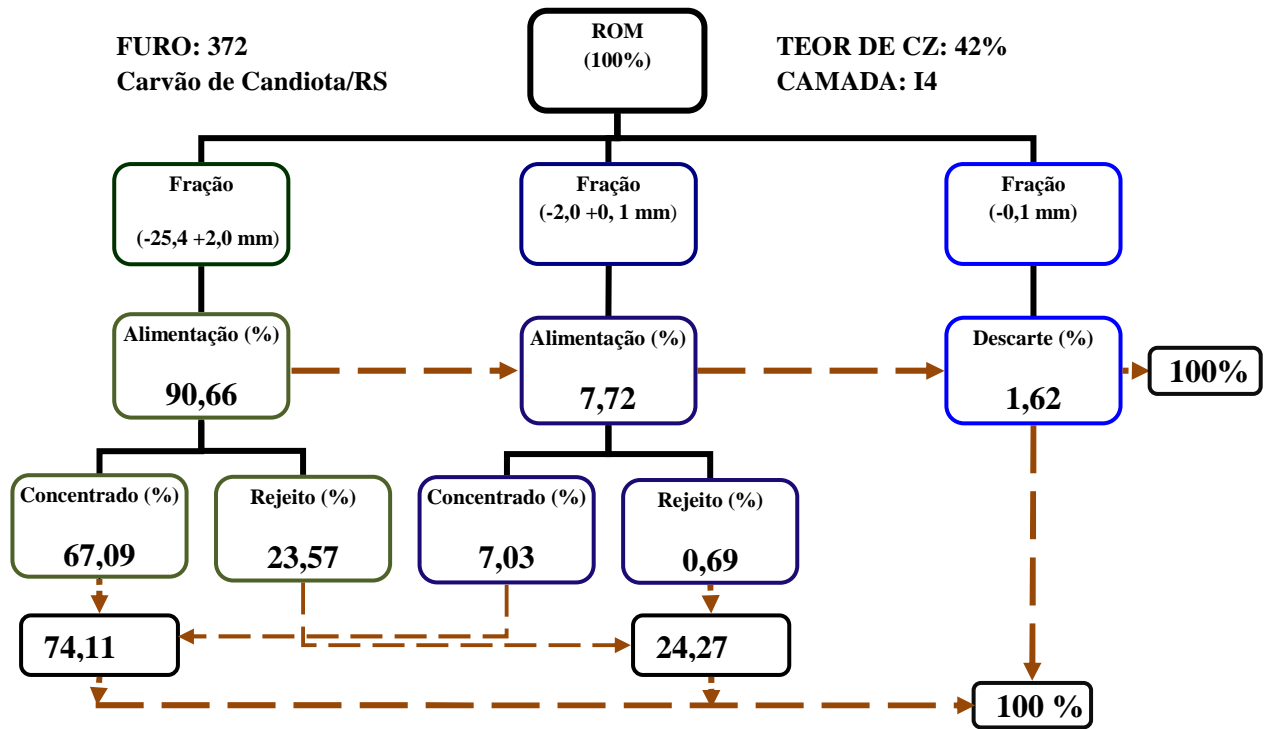


Figura 64: Fluxograma de beneficiamento das camadas I4 e S4, corte de 42% de Cz e 48% de Cz_Furo 372.

ANEXO 36

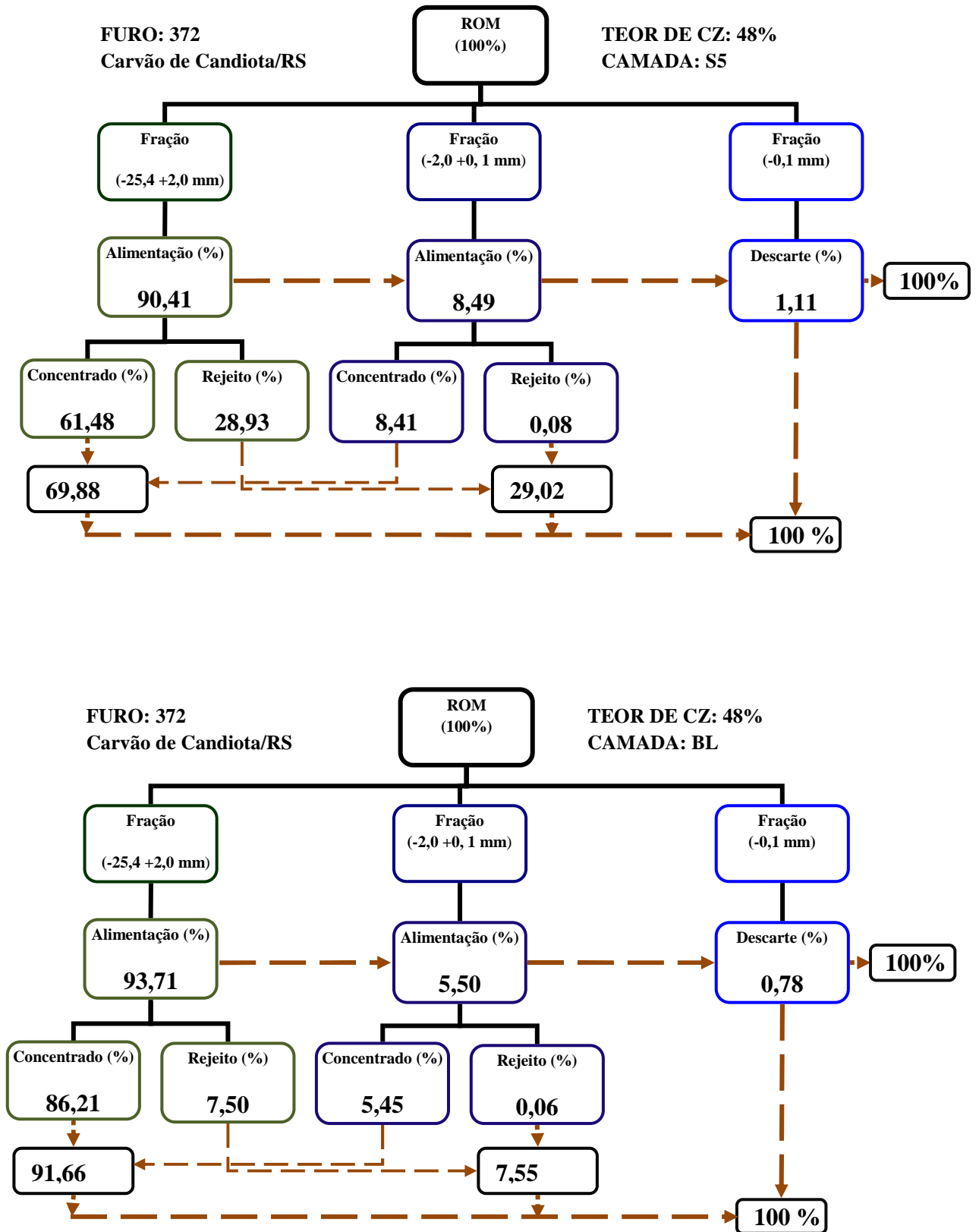


Figura 65: Fluxograma de beneficiamento das camadas S5 e BL, corte de 48% de Cz _Furo 372.

ANEXO 37

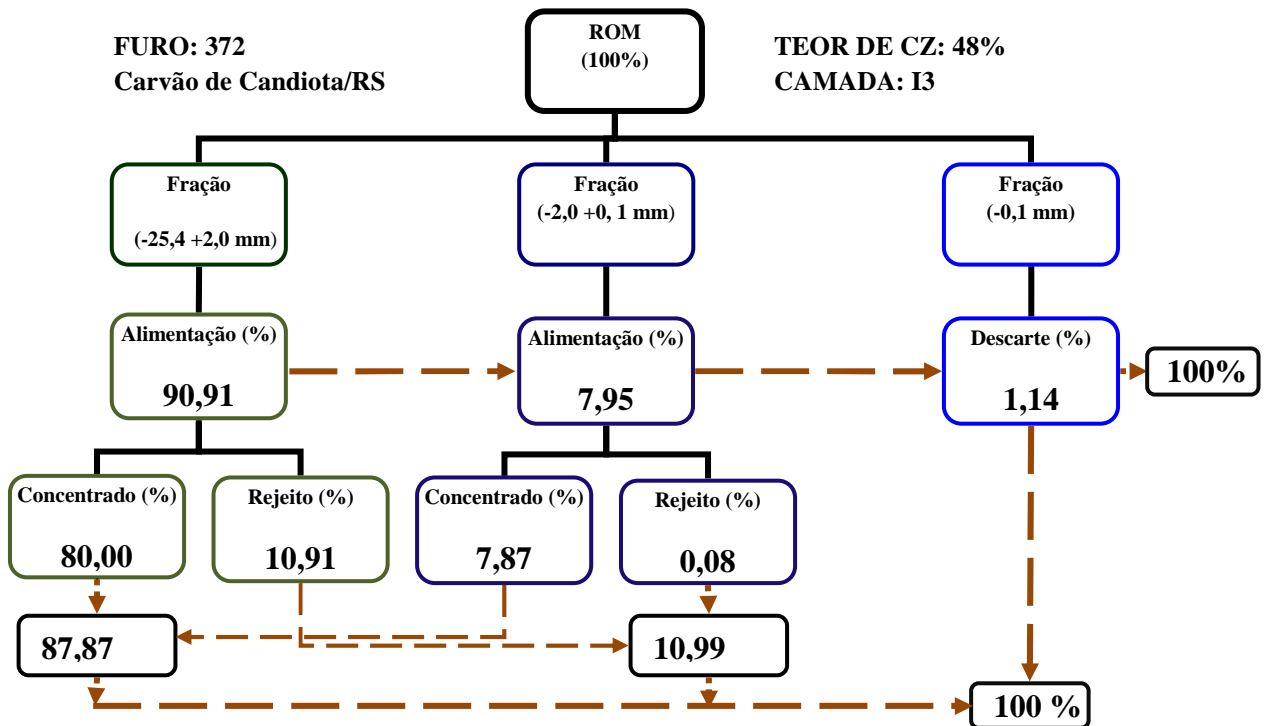
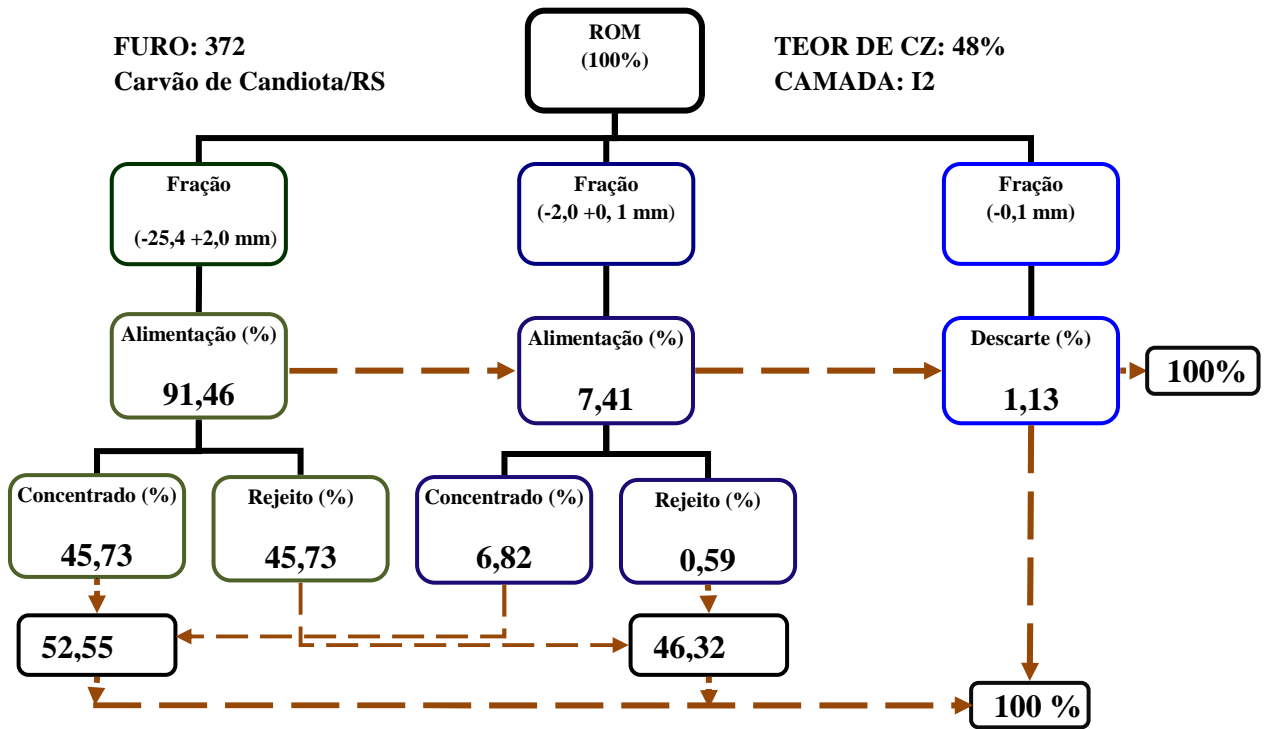


Figura 66: Fluxograma de beneficiamento das camadas I2 e I3, corte de 48% de Cz _Furo 372.

ANEXO 38

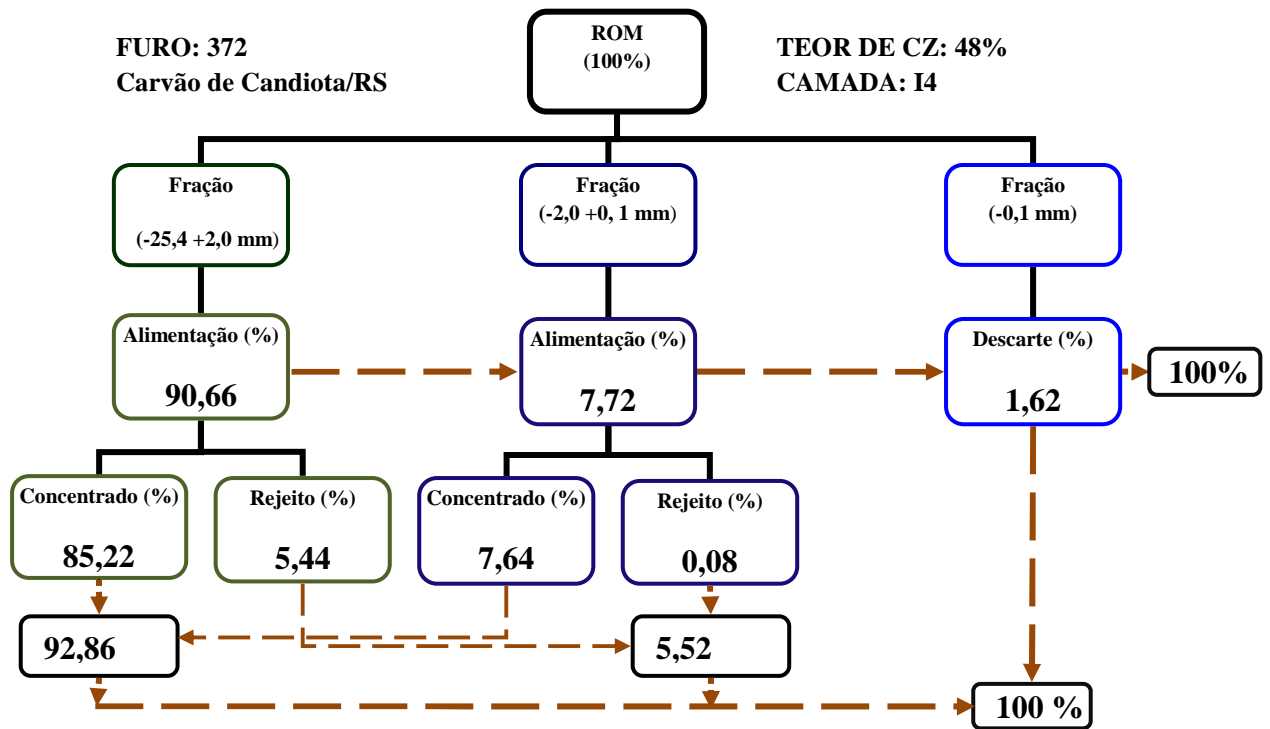


Figura 64: Fluxograma de beneficiamento das camadas I4, corte de 48% de Cz _Furo 372.

ANEXO 39. Tabela 33: Material usado para a elaboração dos fluxogramas.

FURO 364 Município de Candiota/RS

Fração (-25,4 +2,0 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimentação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concentrado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)
	S5	35	89,67	25,00	22,42	75,00	67,25
	S8	35	90,62	4,00	3,62	96,00	87,00
	BL	35	91,55	35,00	32,04	65,00	59,51
	I2	35	89,52	3,00	2,69	97,00	86,83
	I4	35	87,88	48,00	42,18	52,00	45,70

Fração (-2,0 +0,1 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimentação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concentrado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)	Fração fina (%)
	S5	35	8,84	66,00	5,83	34,00	3,01	1,49
	S8	35	7,59	26,00	1,97	74,00	5,62	1,80
	BL	35	7,18	60,00	4,31	40,00	2,87	1,27
	I2	35	8,81	54,00	4,76	46,00	4,05	1,68
	I4	35	10,16	78,00	7,92	22,00	2,24	1,96

Fração (-25,4 +2,0 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimentação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concentrado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)
	S5	42	89,67	44,00	39,45	56,00	50,22
	S8	42	90,62	14,00	12,69	86,00	77,93
	BL	42	91,55	70,00	64,09	30,00	27,47
	I2	42	89,52	28,00	25,07	72,00	64,45
	I4	42	87,88	74,00	65,03	26,00	22,85

Fração (-2,0 +0,1 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimentação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concentrado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)	Fração fina (%)
	S5	42	8,84	84,00	7,43	16,00	1,41	1,49
	S8	42	7,59	46,00	3,49	54,00	4,10	1,80
	BL	42	7,18	84,00	6,03	16,00	1,15	1,27
	I2	42	8,81	74,00	6,52	26,00	2,29	1,68
	I4	42	10,16	91,00	9,25	9,00	0,91	1,96

ANEXO 40. Tabela 34: Dados usados para a elaboração dos fluxogramas.

FURO 364 Município de Candiota/RS

Fração (-25,4 +2,0 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)
	S5	48	89,67	68,00	60,98	32,00	28,69
	S8	48	90,62	30,00	27,19	70,00	63,43
	BL	48	91,55	92,00	84,23	8,00	7,32
	I2	48	89,52	50,00	44,76	50,00	44,76
	I4	48	87,88	96,00	84,36	4,00	3,52

Fração (-2,0 +0,1 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)	Fração fina (%)
	S5	48	8,84	99,00	8,75	1,00	0,09	1,49
	S8	48	7,59	62,00	4,71	38,00	2,88	1,80
	BL	48	7,18	99,00	7,11	1,00	0,07	1,27
	I2	48	8,81	92,00	8,11	8,00	0,70	1,68
	I4	48	10,16	99,00	10,06	1,00	0,10	1,96

FURO 368 Município de Candiota/RS

Fração (-25,4 +2,0 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)
	S4	35	93,75	16,000	15,00	84,00	78,75
	S6	35	92,51	22,00	20,35	78,00	72,16
	S8	35	94,10	4,00	3,76	96,00	90,34
	BL	35	95,27	35,00	33,34	65,00	61,93
	I1	35	93,63	6,00	5,62	94,00	88,01
	I2	35	90,44	3,00	2,71	97,00	87,73

Fração (-2,0 +0,1 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)	Fração fina (%)
	S4	35	5,37	28,00	1,50	72,00	3,87	0,88
	S6	35	6,47	72,00	4,66	28,00	1,81	1,02
	S8	35	4,99	26,00	1,30	74,00	3,69	0,91
	BL	35	3,92	60,00	2,35	40,00	1,57	0,81
	I1	35	5,49	46,00	2,53	54,00	2,96	0,89
	I2	35	8,15	52,00	4,24	48,00	3,91	1,41

ANEXO 41. Tabela 35: Dados usados para a elaboração dos fluxogramas.

FURO 368 Município de Candiota/RS

Fração (-25,4 +2,0 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)
	S4	42	93,75	30,00	28,13	70,00	65,63
	S6	42	92,51	45,00	41,63	55,00	50,88
	S8	42	94,10	14,00	13,17	86,00	80,93
	BL	42	95,27	70,00	66,69	30,00	28,58
	I1	42	93,63	18,00	16,85	82,00	76,78
	I2	42	90,44	28,00	25,32	72,00	65,12

Fração (-2,0 +0,1 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)	Fração fina (%)
	S4	42	5,37	44,00	2,36	56,00	3,01	0,88
	S6	42	6,47	96,00	6,21	6,00	0,39	1,02
	S8	42	4,99	46,00	2,30	54,00	2,69	0,91
	BL	42	3,92	84,00	3,29	16,00	0,63	0,81
	I1	42	5,49	78,00	4,28	22,00	1,21	0,89
	I2	42	8,15	74,00	6,03	26,00	2,12	1,41

Fração (-25,4 +2,0 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)
	S4	48	93,75	42,00	39,38	58,00	54,38
	S6	48	92,51	78,00	72,16	22,00	20,35
	S8	48	94,10	30,00	28,23	70,00	65,87
	BL	48	95,27	92,00	87,65	8,00	7,62
	I1	48	93,63	38,00	35,58	62,00	58,05
	I2	48	90,44	50,00	45,22	50,00	45,22

Fração (-2,0 +0,1 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)	Fração fina (%)
	S4	48	5,37	64,00	3,44	36,00	1,93	0,88
	S6	48	6,47					1,02
	S8	48	4,99	62,00	3,09	38,00	1,90	0,91
	BL	48	3,92	99,00	3,88	1,00	0,04	0,81
	I1	48	5,49	86,00	4,72	14,00	0,77	0,89
	I2	48	8,15	92,00	7,50	8,00	0,65	1,41

ANEXO 42. Tabela 36: Dados usados para a elaboração dos fluxogramas.

FURO 371 Município de Candiota/RS

Fração (-25,4 + 2,0 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa – Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)
	S2	35	93,00	42,00	39,06	58,00	53,94
	S3	35	90,82	16,00	14,53	84,00	76,29
	S4	35	90,60	16,00	14,50	84,00	76,10
	S5	35	90,64	25,00	22,66	75,00	67,98
	S8	35	93,45	4,00	3,74	96,00	89,71
	BL	35	89,54	35,00	31,34	65,00	58,20
	I2	35	90,35	3,00	2,71	97,00	87,64
	I3	35	92,98	44,00	40,91	56,00	52,07
	I4	35	91,16	48,00	43,76	52,00	47,40
	I5	35	91,16	62,00	56,52	38,00	34,64

Fração (-2,0 +0,1 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa – Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)	Fração fina (%)
	S2	35	6,04	85,00	5,13	15,00	0,91	0,96
	S3	35	8,03	61,00	4,90	39,00	3,13	1,15
	S4	35	8,29	28,00	2,32	72,00	5,97	1,11
	S5	35	8,26	66,00	5,45	34,00	2,81	1,10
	S8	35	5,59	26,00	1,45	74,00	4,14	0,97
	BL	35	8,90	60,00	5,34	40,00	3,56	1,57
	I2	35	8,34	52,00	4,34	48,00	4,00	1,32
	I3	35	6,03	78,00	4,70	22,00	1,33	0,99
	I4	35	7,63	78,00	5,95	22,00	1,68	1,21
	I5	35	7,63	80,00	6,10	20,00	1,53	1,21

Fração (-25,4 + 2,0 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)
	S2	42	93,00	77,00	71,61	23,00	21,39
	S3	42	90,82	28,00	25,43	72,00	65,39
	S4	42	90,6	30,00	27,18	70,00	63,42
	S5	42	90,64	44,00	39,88	56,00	50,76
	S8	42	93,45	14,00	13,08	86,00	80,37
	BL	42	89,54	70,00	62,68	30,00	26,86
	I2	42	90,35	28,00	25,30	72,00	65,05
	I3	42	92,98	75,00	69,74	25,00	23,25
	I4	42	91,16	74,00	67,46	26,00	23,70
	I5	42	91,16	85,00	77,49	15,00	13,67

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)	Fração fina (%)
	S2	42	6,04	88,00	7,07	12,00	0,96	1,15
	S3	42	8,03	44,00	3,65	56,00	4,64	1,11
	S4	42	8,29	84,00	6,94	16,00	1,32	1,10
	S5	42	8,26	46,00	2,57	54,00	3,02	0,97
	S8	42	5,59	84,00	7,48	16,00	1,42	1,57
	BL	42	8,90	74,00	6,17	26,00	2,17	1,32
	I2	42	8,34	99,00	5,97	1,00	0,06	0,99
	I3	42	6,03	91,00	6,94	9,00	0,69	1,21
	I4	42	7,63	99,00	7,55	1,00	0,08	1,21
	I5	42	7,63	99,00	7,55	1,00	0,08	1,21

ANEXO 43. Tabela 37: Dados usados para a elaboração dos fluxogramas.

FURO 371 Município de Candiota/RS

Fração (-2,0 +0,1 mm)

Fração (-2,0 + 0,1 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)
	S2	48	93,00	99,00	92,07	1,00	0,93
	S3	48	90,82	50,00	45,41	50,00	45,41
	S4	48	90,60	42,00	38,05	58,00	52,55
	S5	48	90,64	68,00	61,64	32,00	29,00
	S8	48	93,45	30,00	28,04	70,00	65,42
	BL	48	89,54	92,00	82,38	8,00	7,16
	I2	48	90,35	50,00	45,18	50,00	45,18
	I3	48	92,98	88,00	81,82	12,00	11,16
	I4	48	91,16	94,00	85,69	6,00	5,47
	I5	48	91,16				

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)	Fração fina (%)
	S2	48	6,04					0,96
	S3	48	8,03					1,15
	S4	48	8,29	64,00	5,31	36,00	2,98	1,11
	S5	48	8,26	99,00	8,18	1,00	0,08	1,10
	S8	48	5,59	62,00	3,47	38,00	2,12	0,97
	BL	48	8,90	99,00	8,81	1,00	0,09	1,57
	I2	48	8,34	92,00	7,67	8,00	0,67	1,32
	I3	48	6,03	99,00	5,97	1,00	0,06	0,99
	I4	48	7,63	99,00	7,55	1,00	0,08	1,21
	I5	48	7,63	99,00	7,55	1,00	0,08	1,21

FURO 372 Município de Candiota/RS (Corte de 35%)

Fração (-2,0 + 0,1 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)
	S4	35	89,98	16,00	14,40	84,00	75,58
	S5	35	90,41	25,00	22,60	75,00	67,81
	S6	35	91,58	22,00	20,15	78,00	71,43
	BL	35	93,71	35,00	32,80	65,00	60,91
	I2	35	91,46	3,00	2,74	97,00	88,72
	I3	35	90,91	44,00	40,00	56,00	50,91
	I4	35	90,66	48,00	43,52	52,00	47,14

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)	Fração fina (%)
	S4	35	8,74	28,00	2,45	72,00	6,29	1,29
	S5	35	8,49	66,00	5,60	34,00	2,89	1,11
	S6	35	7,39	72,00	5,32	28,00	2,07	1,03
	BL	35	5,50	60,00	3,30	40,00	2,20	0,78
	I2	35	7,41	52,00	3,85	48,00	3,56	1,13
	I3	35	7,95	78,00	6,20	22,00	1,75	1,14
	I4	35	7,72	78,00	6,02	22,00	1,70	1,62

ANEXO 44. Tabela 38: Dados usados para a elaboração dos fluxogramas.

FURO 372 Município de Candiota/RS

Fração (-25,4 + 2,0 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)
	S4	42	89,98	30,00	26,99	70,00	62,99
	S5	42	90,41	44,00	39,78	56,00	50,63
	S6	42	91,58	45,00	41,21	55,00	50,37
	BL	42	93,71	70,00	65,60	30,00	28,11
	I2	42	91,46	28,00	25,61	72,00	65,85
	I3	42	90,91	75,00	68,18	25,00	22,73
	I4	42	90,66	74,00	67,09	26,00	23,57

Fração (-2,0 +0,1mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)	Fração fina (%)
	S4	42	8,74	44,00	3,85	56,00	4,89	1,29
	S5	42	8,49	84,00	7,13	16,00	1,36	1,11
	S6	42	7,39	94,00	6,95	6,00	0,44	1,03
	BL	42	5,50	84,00	4,62	16,00	0,88	0,78
	I2	42	7,41	74,00	5,48	26,00	1,93	1,13
	I3	42	7,95	99,00	7,87	1,00	0,08	1,14
	I4	42	7,72	91,00	7,03	9,00	0,69	1,62

Fração (-2,0 + 0,1 mm)

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)
	S4	48	89,98	42,00	37,79	58,00	52,19
	S5	48	90,41	68,00	61,48	32,00	28,93
	S6	48	91,58	78,00	71,43	22,00	20,15
	BL	48	93,71	92,00	86,21	8,00	7,50
	I2	48	91,46	50,00	45,73	50,00	45,73
	I3	48	90,91	88,00	80,00	12,00	10,91
	I4	48	90,66	94,00	85,22	6,00	5,44

ROM (100 %)	Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa - Alimen- tação (%)	Massa dos flutuados (%)	Concen- trado (%)	Massa dos afundados (%)	Rejeito (%)	Fração fina (%)
	S4	48	8,74	64,00	5,59	36,00	3,15	1,29
	S5	48	8,49	99,00	8,41	1,00	0,08	1,11
	S6	48	7,39	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03
	BL	48	5,50	99,00	5,45	1,00	0,06	0,78
	I2	48	7,41	92,00	6,82	8,00	0,59	1,13
	I3	48	7,95	99,00	7,87	1,00	0,08	1,14
	I4	48	7,72	99,00	7,64	1,00	0,08	1,62

ANEXO 45. Tabela 39: Dados usados para o cálculo da média ponderada das camadas superiores. Fração -25,4 +2,0 mm.

CAMADAS	CAMADA S2			CAMADA S3			CAMADA S4			CAMADA S5			CAMADA S6			CAMADA S8			
	Densidade (g/cm3)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)
1,5	0,19	23,40	19,68	0,27	23,14	5,15	0,48	22,97	4,68	0,70	23,36	6,69	0,78	25,62	9,35	0,62			
1,6	0,19	42,45	10,86	0,27	36,70	2,26	0,48	34,87	1,69	0,70	36,42	9,59	0,78	40,23	7,53	0,62	36,16	4,71	
1,7	0,19	46,18	18,79	0,27	47,05	16,64	0,48	42,38	13,28	0,70	47,06	20,26	0,78	47,23	22,70	0,62	45,43	7,31	
1,8	0,19	53,13	24,87	0,27	53,85	25,69	0,48	56,23	24,21	0,70	55,88	19,42	0,78	54,01	24,81	0,62	49,99	10,24	
1,9	0,19	57,66	7,13	0,27	59,64	29,57	0,48	59,69	22,30	0,70	57,51	11,81	0,78	58,00	9,77	0,62	56,57	27,79	
2,0	0,19	63,73	5,36	0,27	63,32	6,37	0,48	65,68	15,96	0,70	65,75	8,80	0,78	66,29	4,97	0,62	63,77	26,97	
2,2	0,19	71,68	2,06	0,27	74,23	4,24	0,48	69,60	11,07	0,70	72,12	16,67	0,78	72,72	10,28	0,62	72,07	19,00	
+2,2	0,19	78,92	1,39	0,27	83,00	5,18	0,48	72,37	6,81	0,70	72,63	6,77	0,78	70,87	2,67	0,62	74,71	3,98	
2,4	0,19	62,5	9,9	0,27	77,2	4,9	0,48			0,70			0,78	55,0	7,9	0,62			
+2,4	0,19			0,27			0,48			0,70			0,78			0,62			

SOMA		100			100			100			100			100			100		
CAMADAS	CAMADA S9			CAMADA BL			CAMADA I1			CAMADA I2			CAMADA I3			CAMADA I4			
	Densidade (g/cm3)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)
1,5	0,38				0,74	26,12	8,40	0,62	30,92	2,87	1,03	25,80	4,00	0,37	25,12	21,52	0,38	24,36	20,90
1,6	0,38				0,74	34,77	12,78	0,62	39,94	4,47	1,03	40,97	5,78	0,37	37,61	9,75	0,38	40,57	13,32
1,7	0,38	41,30	9,06		0,74	42,24	26,63	0,62	47,68	10,80	1,03	46,44	19,03	0,37	45,87	19,80	0,38	49,04	20,50
1,8	0,38	51,44	19,34		0,74	51,78	22,85	0,62	54,98	36,93	1,03	55,35	21,94	0,37	52,59	14,97	0,38	53,52	16,59
1,9	0,38	60,71	22,02		0,74	59,03	9,82	0,62	62,84	23,83	1,03	60,28	20,48	0,37	62,16	10,08	0,38	56,58	7,89
2,0	0,38	68,14	27,63		0,74	69,70	6,92	0,62	64,20	14,09	1,03	65,80	10,65	0,37	66,20	2,56	0,38	60,16	4,75
2,2	0,38	75,14	18,67		0,74	73,99	8,40	0,62	69,71	4,46	1,03	71,87	8,51	0,37	82,22	7,26	0,38	74,82	8,11
+2,2	0,38	81,93	3,29		0,74	71,08	4,21	0,62	62,97	2,56	1,03	80,57	7,36	0,37	85,93	14,04	0,38	74,04	7,94
2,4	0,38				0,74			0,62			1,03	89,6	2,2	0,37			0,38		
+2,4	0,38				0,74			0,62			1,03			0,37			0,38		

SOMA 100 100 100 100 100 100

Cont. Tabela 39: Dados usados para o cálculo da média ponderada das camadas superiores. Fração -25,4 +2,0 mm.

CAMADAS	CAMADA I5			Massa Total (%)	Esp. Total (m)	MÉDIA PONDERADA (%)	
	Densidade (g/cm ³)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)			Massa (%)	Massa (%)
1,5	0,14	25,13	24,85	128,09	6,70	8	25
1,6	0,14	34,76	15,96	98,71	6,70	7	38
1,7	0,14	44,94	16,90	221,69	6,70	18	46
1,8	0,14	54,59	13,13	274,97	6,70	22	54
1,9	0,14	63,10	10,87	213,37	6,70	17	60
2,0	0,14	67,88	9,27	144,31	6,70	11	66
2,2	0,14	73,18	6,18	124,90	6,70	10	73
+2,2	0,14	62,98	2,83	69,03	6,70	5	77
2,4	0,14			24,94	6,70	2	65
+2,4	0,14			0,00	6,70		
SOMA			100			100	54,89

ANEXO 46. Tabela 40: Dados usados para o cálculo da média ponderada das camadas superiores. Fração -2,0 +0,1 mm.

CAMADAS	CAMADA S2			CAMADA S3			CAMADA S4			CAMADA S5			CAMADA S6			CAMADA S8		
Densidade (g/cm3)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)
1,5	0,19	13,23	30,89	0,27	14,48	21,59	0,48			0,70	16,91	26,69	0,78	16,27	27,35	0,62		
1,6	0,19	29,78	8,45	0,27	28,89	6,05	0,48			0,70	31,70	9,25	0,78	29,65	6,37	0,62		
1,7	0,19	39,31	9,76	0,27	40,79	5,98	0,48			0,70	40,82	11,53	0,78	37,82	7,43	0,62	28,49	15,58
1,8	0,19	45,87	11,08	0,27	47,15	11,65	0,48	38,29	32,19	0,70	58,63	5,86	0,78	45,13	10,91	0,62	45,23	10,97
1,9	0,19	51,58	10,30	0,27	54,12	24,62	0,48	54,29	14,70	0,70	57,48	10,40	0,78	51,95	11,33	0,62	52,73	16,82
2,0	0,19	58,36	10,49	0,27	61,10	11,09	0,48	60,98	21,13	0,70	59,93	11,79	0,78	59,54	12,00	0,62	60,84	19,57
2,2	0,19	62,36	6,02	0,27	66,77	8,55	0,48	66,70	17,88	0,70	78,24	14,96	0,78	67,59	14,97	0,62	69,49	29,17
+2,2	0,19	71,95	2,61	0,27	75,86	10,48	0,48	72,80	14,00	0,70	70,24	9,53	0,78	71,29	9,63	0,62	76,88	7,64
2,4	0,19	60,8	10,4	0,27			0,48			0,70			0,78			0,62		
+2,4	0,19			0,27			0,48			0,70			0,78			0,62		
SOMA	100			100			100			100			100			100		
CAMADAS	CAMADA S9			CAMADA BL			CAMADA I1			CAMADA I2			CAMADA I3			CAMADA I4		
Densidade (g/cm3)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)	Massa (%)
1,5	0,38			0,74	17,24	11,77	0,62	14,29	13,40	1,03	16,35	20,17	0,37	20,49	31,68	0,38	17,72	29,33
1,6	0,38			0,74	26,08	9,99	0,62	26,63	5,68	1,03	32,94	4,55	0,37	32,80	12,47	0,38	32,33	11,55
1,7	0,38			0,74	35,82	14,18	0,62	38,46	7,76	1,03	39,61	7,40	0,37	41,86	10,91	0,38	44,85	12,29
1,8	0,38	35,80	18,88	0,74	44,41	16,44	0,62	47,58	10,68	1,03	49,30	10,06	0,37	49,21	11,99	0,38	48,22	9,93
1,9	0,38	51,29	15,91	0,74	52,31	13,06	0,62	54,67	14,47	1,03	54,12	14,19	0,37	55,59	10,52	0,38	56,18	9,51
2,0	0,38	58,64	14,56	0,74	61,71	12,88	0,62	61,41	19,50	1,03	59,92	13,16	0,37	60,92	6,97	0,38	64,56	13,87
2,2	0,38	67,70	34,28	0,74	67,14	21,67	0,62	68,79	22,93	1,03	68,88	17,11	0,37	67,46	8,20	0,38	112,34	4,91
+2,2	0,38	76,79	16,37	0,74			0,62	73,31	5,58	1,03	79,61	13,36	0,37	80,69	7,26	0,38	79,95	8,62
2,4	0,38			0,74			0,62			1,03			0,37			0,38		
+2,4	0,38			0,74			0,62			1,03			0,37			0,38		
SOMA	100			100			100			100			100			100		

Cont. Tabela 40: Dados usados para o cálculo da média ponderada das camadas superiores. Fração -2,0 +0,1 mm.

CAMADAS	CAMADA I5			Massa Total (%)	Esp. Total (m)	MÉDIA PONDERADA (%)	
	Densidade (g/cm3)	Espessura da camada (m)	Cinzas (%)			Massa (%)	Massa (%)
1,5	0,14	19,02	29,27	242,14	6,70	17	17
1,6	0,14	31,79	12,62	86,98	6,70	6	31
1,7	0,14	39,83	14,35	117,17	6,70	9	38
1,8	0,14	46,44	6,20	166,84	6,70	13	44
1,9	0,14	52,51	5,41	171,25	6,70	13	54
2,0	0,14	57,90	7,64	174,66	6,70	14	61
2,2	0,14	70,53	24,51	225,15	6,70	18	70
+2,2	0,14			105,07	6,70	9	76
2,4	0,14			10,41	6,70	0,3	61
+2,4	0,14				6,70		
SOMA			100			100	49,09

ANEXO 47. Tabela 41: Dados usados para a elaboração de curvas dos flutuados e afundados e curvas densimétrica e NGM, na fração -25,4 +2,0 mm. Blendagem das camadas inferiores.

Densidade (g/cm ³)	Massa dos Flutuados (%)	NGM (%)	FLUTUADOS		AFUNDADOS	
			Teor de cinzas (%)	Massa dos Flutuados (%)	Teor de cinzas (%)	Massa dos Afundados (%)
1,5	10,10		26,80	10,10	54,58	100,00
1,6	17,92	25,94	33,55	17,92	57,69	90,73
1,7	35,29	40,69	40,60	35,29	59,60	82,68
1,8	58,61	40,74	46,15	58,61	63,12	65,31
1,9	76,04	26,81	49,32	76,04	67,30	41,99
2,0	85,43	16,60	50,85	85,43	70,50	24,56
2,2	92,63	13,74	52,71	92,63	72,26	15,17
			55,00	100,00	69,07	5,32

Tabela 42: Dados usados para a elaboração de curvas dos flutuados e afundados e curvas densimétrica e de NGM, na fração -2,0 +0,1 mm. Blendagem das camadas inferiores.

Densidade (g/cm ³)	Massa dos Flutuados (%)	NGM (%)	FLUTUADOS		AFUNDADOS	
			Teor de cinzas (%)	Massa dos Flutuados (%)	Teor de cinzas (%)	Massa dos Afundados (%)
1,5	22,27		16,92	22,27	48,54	100,00
1,6	29,81	17,12	16,10	29,81	55,65	81,12
1,7	39,00	19,49	25,32	39,00	59,55	70,79
1,8	49,30	22,88	30,58	49,30	62,46	61,60
1,9	61,88	26,21	35,77	61,88	65,45	51,30
2,0	75,51	29,96	40,41	75,51	68,84	38,72
2,2	85,43	23,75	48,74	100,00	76,49	10,64

ANEXO 48. Tabela 43: Dados usados para a elaboração de curvas dos flutuados e afundados e curvas densimétrica e NGM, na fração -25,4 +2,0 mm. Blendagem das camadas superiores.

Densidade (g/cm ³)	Massa dos Flutuados (%)	NGM (%)	FLUTUADOS		AFUNDADOS	
			Teor de cinzas (%)	Massa dos Flutuados (%)	Teor de cinzas (%)	Massa dos Afundados (%)
1,5	6,28		18,86	6,28	40,43	100,00
1,6	13,23	23,24	28,74	13,23	51,66	97,61
1,7	31,22	36,90	39,99	31,22	58,76	87,49
1,8	52,32	37,68	45,87	52,32	62,11	79,58
1,9	68,90	29,37	49,13	68,90	66,44	55,54
2,0	81,69	25,30	51,61	81,69	70,29	36,62
2,2	94,20	16,55	54,33	94,20	72,52	22,00
+2,2			55,42	100,00	71,10	7,30

Tabela 44: Dados usados para a elaboração de curvas dos flutuados e afundados e curvas densimétrica e NGM, na fração -2,0 +0,1 mm. Blendagem das camadas superiores.

Densidade (g/cm ³)	Massa dos Flutuados (%)	NGM (%)	FLUTUADOS		AFUNDADOS	
			Teor de cinzas (%)	Massa dos Flutuados (%)	Teor de cinzas (%)	Massa dos Afundados (%)
1,5	14,69		10,60	14,69	28,95	100,00
1,6	20,06	12,41	12,82	20,06	34,40	87,37
1,7	29,21	15,76	20,02	29,21	44,87	81,53
1,8	43,71	21,12	32,00	43,71	59,75	79,99
1,9	57,69	29,56	37,34	57,69	64,08	67,62
2,0	72,26	33,71	43,37	72,26	67,61	60,25
2,0			49,87	100,00	73,95	19,22

ANEXO 49. Tabela 45: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 368 na fração -25,4 +2,0 mm. Teor de corte de 35% de cinzas.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S4	35	36,00	0,80	3,96
S5	35	52,00	0,39	2,79
S6	35	22,00	1,45	4,38
S8	35	4,00	1,10	0,60
S9	35	3,00	0,23	0,09
BL	35	35,00	0,78	3,75
I1	35	6,00	1,26	1,04
I2	35	10,00	1,06	1,46
I3	35	49,00	0,21	1,41
Soma			7,28	19,48

Tabela 46: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 368 na fração -2,0 +0,1 mm. Teor de corte de 35% de cinzas.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S4	35	28,00	0,80	3,08
S5	35	65,00	0,39	3,48
S6	35	72,00	1,45	14,34
S8	35	27,00	1,10	4,08
S9	35	19,00	0,23	0,60
BL	35	60,00	0,78	6,43
I1	35	28,00	1,26	4,85
I2	35	52,00	1,06	7,57
I3	35	78,00	0,21	2,25
Soma			7,28	46,68

ANEXO 50. Tabela 47: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 368 na fração -25,4 +2,0 mm. Teor de corte de 42% de cinzas.

Camadas	Teor de Cinzas (%)	Massa dos fluviados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S4	42	32,00	0,80	3,52
S5	42	48,00	0,39	2,57
S6	42	48,00	1,45	9,56
S8	42	12,00	1,10	1,81
S9	42	14,00	0,23	0,44
BL	42	72,00	0,78	7,71
I1	42	16,00	1,26	2,77
I2	42	32,00	1,06	4,66
I3	42	76,00	0,21	2,19
Soma			7,28	35,24

Tabela 48: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 368 na fração -2,0 +0,1 mm. Teor de corte de 42% de cinzas.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos fluviados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S4	42	43,00	0,80	4,73
S5	42	84,00	0,39	4,50
S6	42	94,00	1,45	18,72
S8	42	46,00	1,10	6,95
S9	42	36,00	0,23	1,14
BL	42	86,00	0,78	9,21
I1	42	76,00	1,26	13,15
I2	42	78,00	1,06	11,36
I3	42	71,00	0,21	2,05
Soma			7,28	71,81

ANEXO 51. Tabela 49: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 368 na fração - 25,4 +2,0 mm. Teor de corte de 48% de cinzas.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos fluviados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S4	48	43,00	0,80	4,73
S5	48	65,00	0,39	3,48
S6	48	78,00	1,45	15,54
S8	48	29,00	1,10	4,38
S9	48	28,00	0,23	0,88
BL	48	92,00	0,78	9,86
I1	48	39,00	1,26	6,75
I2	48	48,00	1,06	6,99
I3	48	88,00	0,21	2,54
Soma			7,28	55,14

Tabela 50: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 368 na fração -2,0 + 0,1 mm. Teor de corte de 48% de cinzas.

Camadas	Teor de Cinzas (%)	Massa dos fluviados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S4	48	62,00	0,80	6,81
S5	48	99,00	0,39	5,30
S6	48		1,45	0,00
S8	48	63,00	1,10	9,52
S9	48	50,00	0,23	1,58
BL	48	99,00	0,78	10,61
I1	48	86,00	1,26	14,88
I2	48	92,00	1,06	13,40
I3	48	99,00	0,21	2,86
Soma			7,28	64,96

ANEXO 52. Tabela 51: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 371 na fração -25,4 +2,0 mm. Teor de corte de 35% de cinzas.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos fluatuados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S2	35	43,00	1,50	5,91
S3	35	16,00	1,05	1,54
S4	35	36,00	0,68	2,24
S5	35	52,00	1,48	7,05
S6	35	22,00	0,16	0,32
S8	35	4,00	1,12	0,41
S9	35	3,00	0,24	0,07
BL	35	35,00	0,85	2,72
I1	35	6,00	0,21	0,12
I2	35	10,00	1,43	1,31
I3	35	49,00	0,49	2,20
I4	35	46,00	1,04	4,38
I5	35	62,00	0,67	3,80
Soma			10,92	32,07

Tabela 52: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 371 na fração -2,0 +0,1 mm. Teor de corte de 35% de cinzas.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos fluatuados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S2	35	82,00	1,50	11,26
S3	35	61,00	1,05	5,87
S4	35	28,00	0,68	1,74
S5	35	65,00	1,48	8,81
S6	35	72,00	0,16	1,05
S8	35	27,00	1,12	2,77
S9	35	19,00	0,24	0,42
BL	35	60,00	0,85	4,67
I1	35	28,00	0,21	0,54
I2	35	52,00	1,43	6,81
I3	35	78,00	0,49	3,50
I4	35	76,00	1,04	7,24
I5	35	78,00	0,67	4,79
Soma			10,92	59,47

ANEXO 53. Tabela 53: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 371 na fração -25,4 +2,0 mm. Teor de corte de 42% de cinzas.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos fluatuados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S2	42	77,00	1,50	10,58
S3	42	28,00	1,05	2,69
S4	42	32,00	0,68	1,99
S5	42	48,00	1,48	6,51
S6	42	48,00	0,16	0,70
S8	42	12,00	1,12	1,23
S9	42	14,00	0,24	0,31
BL	42	72,00	0,85	5,60
I1	42	16,00	0,21	0,31
I2	42	32,00	1,43	4,19
I3	42	76,00	0,49	3,41
I4	42	79,00	1,04	7,52
I5	42	88,00	0,67	5,40
Soma			10,92	50,45

Tabela 54: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 371 na fração -2,0 +0,1 mm. Teor de corte de 42% de cinzas.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos fluatuados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S2	42	0,00	1,50	
S3	42	88,00	1,05	8,46
S4	42	43,00	0,68	2,68
S5	42	84,00	1,48	11,38
S6	42	94,00	0,16	1,38
S8	42	46,00	1,12	4,72
S9	42	36,00	0,24	0,79
BL	42	86,00	0,85	6,69
I1	42	76,00	0,21	1,46
I2	42	78,00	1,43	10,21
I3	42	71,00	0,49	3,19
I4	42	91,00	1,04	8,67
I5	42	84,00	0,67	5,15
Soma			10,92	64,79

ANEXO 54. Tabela 55: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 371 na fração -25,4 +2,0 mm. Teor de corte de 48% de cinzas.

Camadas	Teor de Cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S2	48	99,00	1,50	13,60
S3	48	49,00	1,05	4,71
S4	48	43,00	0,68	2,68
S5	48	65,00	1,48	8,81
S6	48	78,00	0,16	1,14
S8	48	29,00	1,12	2,97
S9	48	28,00	0,24	0,62
BL	48	92,00	0,85	7,16
I1	48	39,00	0,21	0,75
I2	48	48,00	1,43	6,29
I3	48	88,00	0,49	3,95
I4	48	98,00	1,04	9,33
I5	48		0,67	
Soma			10,92	62,01

Tabela 56: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 371 na fração - 2,0 +0,1 mm. Teor de corte de 48% de cinzas.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S2	48	0,00	1,50	
S3	48	0,00	1,05	
S4	48	62,00	0,68	3,86
S5	48	99,00	1,48	13,42
S6	48	0,00	0,16	
S8	48	63,00	1,12	6,46
S9	48	50,00	0,24	1,10
BL	48	99,00	0,85	7,71
I1	48	86,00	0,21	1,65
I2	48	92,00	1,43	12,05
I3	48	99,00	0,49	4,44
I4	48	62,00	1,04	5,90
I5	48	99,00	0,67	6,07
Soma			10,92	62,67

ANEXO 55. Tabela 57: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 372 na fração -25,4 +2,0 mm. Teor de corte de 35% de cinzas.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S3	35	16,00	0,27	0,44
S4	35	36,00	1,35	4,96
S5	35	52,00	0,59	3,13
S6	35	22,00	1,35	3,03
S8	35	4,00	0,19	0,08
S9	35	3,00	0,95	0,29
BL	35	35,00	0,95	3,40
I1	35	6,00	0,14	0,09
I2	35	10,00	1,24	1,27
I3	35	49,00	1,92	9,61
I4	35	46,00	0,84	3,95
Soma			9,79	30,25

Tabela 58: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 372 na fração -2,0 +0,1 mm. Teor de corte de 35% de cinzas.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Espessura da camada (m)	Massa (%)
S3	35	61,00	0,27	1,68
S4	35	28,00	1,35	3,86
S5	35	65,00	0,59	3,92
S6	35	72,00	1,35	9,93
S8	35	27,00	0,19	0,52
S9	35	19,00	0,95	1,84
BL	35	60,00	0,95	5,82
I1	35	28,00	0,14	0,40
I2	35	52,00	1,24	6,59
I3	35	78,00	1,92	15,30
I4	35	76,00	0,84	6,52
Soma			9,79	56,38

ANEXO 56. Tabela 59: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 372 na fração -25,4 +2,0 mm. Teor de corte de 42% de cinzas.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos fluviados (%)	Espessura da Camada (m)	Massa (%)
S3	42	28,00	0,27	0,77
S4	42	32,00	1,35	4,41
S5	42	48,00	0,59	2,89
S6	42	48,00	1,35	6,62
S8	42	12,00	0,19	0,23
S9	42	14,00	0,95	1,36
BL	42	72,00	0,95	6,99
I1	42	16,00	0,14	0,23
I2	42	32,00	1,24	4,05
I3	42	76,00	1,92	14,91
I4	42	79,00	0,84	6,78
Soma			9,79	49,24

Tabela 60: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 372 na fração -2,0 +0,1 mm. Teor de corte de 42% de cinzas.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos fluviados (%)	Espessura da Camada (m)	Massa (%)
S3	42	88,00	0,27	2,43
S4	42	43,00	1,35	5,93
S5	42	84,00	0,59	5,06
S6	42	94,00	1,35	12,96
S8	42	46,00	0,19	0,89
S9	42	36,00	0,95	3,49
BL	42	86,00	0,95	8,35
I1	42	76,00	0,14	1,09
I2	42	78,00	1,24	9,88
I3	42	71,00	1,92	13,92
I4	42	91,00	0,84	7,81
Soma			9,79	71,81

ANEXO 57. Tabela 61: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 372 na fração -25,4 +2,0 mm. Teor de corte de 48% de cinzas.

Camadas	Teor de Cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Espessura da Camada (m)	Massa (%)
S3	48	49,00	0,27	1,35
S4	48	43,00	1,35	5,93
S5	48	65,00	0,59	3,92
S6	48	78,00	1,35	10,76
S8	48	29,00	0,19	0,56
S9	48	28,00	0,95	2,72
BL	48	92,00	0,95	8,93
I1	48	39,00	0,14	0,56
I2	48	48,00	1,24	6,08
I3	48	88,00	1,92	17,26
I4	48	98,00	0,84	8,41
Soma			9,79	66,47

Tabela 62: Cálculo da massa teórica das camadas do furo 372 na fração -2,0 +0,1 mm. Teor de corte de 48% de cinzas.

Camadas	Teor de cinzas (%)	Massa dos flutuados (%)	Espessura do furo (m)	Massa (%)
S3	48		0,27	0,00
S4	48	62,00	1,35	8,55
S5	48	99,00	0,59	5,97
S6	48		1,35	
S8	48	63,00	0,19	1,22
S9	48	50,00	0,95	4,85
BL	48	99,00	0,95	9,61
I1	48	86,00	0,14	1,23
I2	48	92,00	1,24	11,65
I3	48	99,00	1,92	19,42
I4	48	62,00	0,84	5,32
Soma			9,79	67,82