



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO



AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CDR EM PORTUGAL CONTINENTAL

Estudos base

Coordenadores Científicos e Tecnológicos

Susete Martins Dias e Mário Costa

Elaborado por:

Susete Martins Dias, Rita Barros Silva, Filipe Barreiro e Mário Costa

Data da elaboração:

Julho de 2006

Instituto Superior Técnico
CEBQ – Centro de Engenharia Biológica e Química

Versão 1- Julho de 2006

Este relatório não poderá ser copiado ou cedido, em parte ou na totalidade, a terceiros sem autorização escrita. As mesmas condições são aplicáveis à utilização da versão electrónica.

SUMÁRIO EXECUTIVO

Na sequência do proposto no Eixo 3, Medida 12, do Plano de Intervenção para os Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados (PIRSUE), o trabalho desenvolvido incidu sobre os vectores de utilização e produção de Combustível Derivado de Resíduo (CDR). A primeira conclusão obtida conduziu à necessidade de definir correctamente o conceito de CDR, associando características físico-químicas e biológicas a tipologias de um produto final, que o mercado pudesse absorver e os sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) produzir. Na ausência de regras/normas a nível nacional recorreu-se às normas em vigor noutros países e às normas do Comité Europeu de Normalização (CEN), em fase final de elaboração.

A disponibilidade de CDR para o mercado decorre da sua produção e, portanto, foi necessário estimar a quantidade de RSU potencialmente disponível para a produção de CDR respeitando as metas de valorização material e orgânica assim como a política de gestão de RSU.

O enquadramento legislativo da utilização de CDR é dado pelo Decreto-Lei (DL) n.º 85/2005, de 28 de Abril, que regula a incineração e a co-incineração de resíduos. Complementarmente, são aplicáveis os diplomas vigentes para cada um dos sectores utilizadores de CDR. Refira-se que a revisão da Directiva Quadro dos Resíduos, actualmente em curso, poderá implicar, ao abrigo do seu artigo 11º, que certos resíduos sejam reclassificados como produtos. A previsão aponta 2008 como a data para a publicação do primeiro grupo de critérios para esta reclassificação, sendo os principais factores determinantes a inexistência de impactes ambientais negativos significativos, bem como a existência de mercado para o produto.

As políticas europeias tendem a regulamentar de um modo estrito a queima de CDR, posição esta reforçada pela Directiva sobre produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis (2001/077/CE), na qual se afirma que a incineração de resíduos urbanos não separados não deve ser promovida no âmbito de um futuro sistema de apoio às fontes de energia renováveis, se essa promoção puser em causa a hierarquia estabelecida para o tratamento dos resíduos. No entanto, tal afirmação não se aplica quando as instalações de incineração apresentam um rendimento energético superior a 60% pois as operações levadas a cabo passam a ser denominadas operações do tipo R1 – Utilização principal como combustível ou outros meios de produção de energia em oposição às operações do tipo D10 – Incineração em terra (conforme definições constantes na Portaria n.º 209/2004).

As principais técnicas de produção de CDR baseiam-se nas tecnologias de Tratamento Mecânico e Biológico (TMB) e em Processos de Estabilização Seca. Estas visam a remoção de metais, inertes e matéria orgânica e a sua homogeneização e estabilização de forma a valorizar o produto

enquanto combustível. A utilização de CDR é possível em fornos rotativos, caldeiras de grelha e caldeiras de leito fluidizado. Recentemente, os gaseificadores emergiram como equipamentos com potencial para a utilização de CDR. Actualmente, países como a Finlândia, a Alemanha e a Itália estão a apostar com algum sucesso na produção e na utilização de CDR, ainda que com motivações diferentes.

A produção e utilização de CDR é especialmente adequada a regiões de menor densidade populacional, em que pequenas unidades de produção de CDR poderão abastecer os potenciais utilizadores locais, particularmente em zonas sem rede de abastecimento de gás natural. No caso de cidades de média e grande dimensão com incineradoras já existentes, uma combinação da utilização de CDR com a incineração de RSU surge como a opção mais adequada.

O tipo de utilização, a nível municipal, para aquecimento centralizado ou a escassez temporária de mercado, obrigam ao embalamento e armazenamento do CDR que exigem alguns cuidados de segurança, dado que este produto pode ser inflamável sob determinadas condições ambientais. A título de exemplo, refira-se que ocorreram recentemente alguns incêndios no Japão devido ao armazenamento inadequado de CDR, sendo o mais grave o de *Mie Prefecture* em 19 de Agosto de 2003, de que resultou a morte de duas pessoas.

Tendo em consideração os princípios das políticas energética e ambientais na Europa e em Portugal, que assentam na procura de fontes de energia primária de natureza não fóssil, na redução das emissões de CO₂, na minimização da deposição de resíduos em aterro e no respeito pela hierarquia de gestão de resíduos, surge como instrumento comum a potencial valorização energética da fracção resto, nomeadamente, o RSU previamente transformado mecânica e/ou biologicamente em CDR.

A análise do potencial consumo de CDR em Portugal foi realizada tendo em consideração critérios de oportunidade:

Utilização como combustível de substituição, tendo por base um circuito de matéria-prima renovável, robusto e não dependente do exterior e, portanto, podendo contribuir para a auto-suficiência energética nacional.

Utilização como combustível de substituição com uma fracção significativa de carbono biogénico que contribui negativamente para o balanço nacional de CO₂ e, conseqüentemente, liberta emissões para o cumprimento do Protocolo de Quioto e/ou para novos investimentos.

Desvio até 80% do RSU a encaminhar para aterro após cumprimento de todas as metas em termos de valorização material e de fracção orgânica, permitindo um aumento considerável do tempo de vida útil dos aterros quer se trate de infra-estruturas existentes ou novas.

Os critérios de oportunidade foram consubstanciados pelo interesse manifestado por diferentes actores industriais que, não só se mostraram conhecedores da oportunidade de utilização destes combustíveis de substituição, como já tinham ou estavam a equacionar o modo de utilização destes combustíveis alternativos. Consoante a actividade principal do actor interveniente verifica-se que a possibilidade de produção/utilização de CDR apresenta algumas dificuldades técnicas, em especial, por desconhecimento das tecnologias disponíveis no mercado e do tipo de CDR que pode ser obtido, enquanto combustível com características físicas e químicas que deverão ser asseguradas.

As tipologias de CDR associadas ao mercado português carecem de definição urgente e devidamente articulada entre as características do RSU a valorizar, cuja composição é função das metas de valorização multimaterial e orgânica, as necessidades de mercado e as normas CEN a implementar a curto prazo a nível europeu. Saliente-se que características como o conteúdo em materiais biogénicos são prioritárias ao nível de unidades em que são valorizados em regime de co-incineração, permitindo libertar licenças de emissão de CO₂. Também são importantes no balanço nacional quando valorizados em unidades dedicadas, dado que nestas unidades a produção de energia eléctrica se processa sem recurso a combustíveis fósseis e com uma componente verde que constitui uma mais valia para o *mix* energético nacional.

Estando criadas as condições básicas para a produção e utilização de CDR, em que o DL n.º 85/2005 de 28 de Abril figura como um instrumento regulador das condições de incineração e de co-incineração, verifica-se que algumas das infra-estruturas de queima existentes no nosso país têm capacidade para valorizar energeticamente as fracções de resíduo previamente transformadas em CDR: em regime de incineração dedicada, incorporando pequenas quantidades no RSU aí processado, devido a alguns constrangimentos técnicos; em regime de co-incineração pela indústria cimenteira, nas caldeiras de combustão das pastas de celulose e nas centrais de biomassa onde se ressalta a estratégia europeia de dotar estas centrais de uma linha de abastecimento de matéria-prima, ainda que em pequenas quantidades, robusta e não dependente de uma potencial escassez de biomassa. Estas infra-estruturas em fase de implantação surgem como instrumentos locais de grande utilidade para valorização de CDR, sobretudo nas regiões do interior, de menor densidade populacional e menor taxa de produção de resíduos, evitando custos sobre acrescidos de transporte de CDR.

O regime de co-incineração do CDR em cimenteiras é muito atractivo do ponto de vista ambiental mas apresenta fraca competitividade face a outros CDR obtidos a partir de resíduos industriais não perigosos e, portanto, um sistema de valorização energética de CDR assente só nesta fileira revela-se pouco robusto ainda que com mais valia.

Feito o balanço entre a disponibilidade de resíduos a processar em TMB e do potencial de produção de CDR a partir da fracção resto verifica-se que existe espaço para a implementação de novas unidades de valorização energética destes resíduos em equipamentos de tecnologia versátil à tipologia de CDR a produzir ou produzido no momento. As unidades de queima baseadas em leitos fluidizados parecem ser apropriadas e são uma tecnologia bem estabelecida. Como unidades dedicadas devem estar ao abrigo do DL n.º 85/2005, permitindo a valorização energética do CDR e também a utilização do vapor produzido e, portanto, a sua localização deve estar junto a potenciais consumidores de vapor e produtores de CDR.

As estratégias ambientais, como já foi dito, a nível da nova gestão dos resíduos entrecruzam-se directamente com a política energética europeia mas também com as exigências a nível de saneamento básico e abastecimento de água potável associados à produção de elevadas quantidades de lamas que não foram objecto deste estudo, e que podem contribuir para a viabilidade técnico-económica de novas unidades.

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO	i
ÍNDICE	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 CONCEITOS	3
3 ENQUADRAMENTO	7
3.1 Enquadramento normativo da produção de CDR.....	7
3.2 Enquadramento legislativo para a utilização de CDR.....	11
3.3 Enquadramento na política energética e ambiental.....	14
4 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA PRODUÇÃO DE CDR	17
4.1 Tipos de CDR.....	17
4.2 As emissões de CO ₂ e o CDR	21
4.3 Processos de produção de CDR.....	24
4.4 Eficiência de produção de CDR a partir de RSU	36
4.5 Custos da produção de CDR	38
4.6 Avaliação sumária do impacte ambiental de utilização de CDR vs fracção resto.....	41
5 TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA A COMBUSTÃO DE COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS	47
5.1 Combustão de partículas em suspensão.....	47
5.2 Combustão de partículas em grelha	49
5.3 Combustão de partículas em leito fluidizado	50
5.4 Gaseificação.....	52
6 ESTADO DA ARTE	57
6.1 Produção de CDR	57
6.1.1 O caso finlandês.....	57
6.1.2 O caso italiano.....	64
6.1.3 O caso alemão	71
6.2 Utilização de CDR.....	72
6.2.1 Leito fluidizado, Lommelina, Itália	72
6.2.2 Leito fluidizado, Valdemingomez-Madrid, Espanha	73
6.2.3 Leito fluidizado, Dundee, Escócia	74
6.2.4 Leito fluidizado, Valene, França	75
6.2.5 Co-combustão, Lahti, Finlândia.....	76
6.2.6 Co-incineração, Weisweiler, Alemanha.....	78
6.2.7 Gaseificação, Grève-en-Chianti, Itália.....	80

6.2.8	Co-incineração em cimenteiras	83
7	O CASO PORTUGUÊS: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CDR	87
7.1	Produção de CDR - Situação actual.....	87
7.2	Produção de CDR – situação futura.....	89
7.2.1	Produção de RSU em Portugal Continental	90
7.2.2	Hierarquia de gestão de resíduos.....	91
7.2.3	Análise integrada da gestão de resíduos em Portugal Continental de 2007 a 2013	98
7.3	Potenciais utilizadores de CDR.....	98
7.3.1	Cenários de produção de CDR.....	104
8	POTENCIAL DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA NAS CENTRAIS DE INCINERAÇÃO	115
8.1	LIPOR II	115
8.2	VALORSUL.....	118
9	OPORTUNIDADES E CONSTRAGIMENTOS	123
10	CONCLUSÕES	125
	REFERÊNCIAS	129
	Anexo A – Eficiência dos equipamentos de tratamento mecânico	135
	Anexo B – UTMB em Portugal Continental	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – CDR em fluff.	18
Figura 2 – CDR em <i>pellet</i>	18
Figura 3 – CDR em <i>briquette</i>	18
Figura 4 – Emissões – g de CO ₂ fóssil/kWh de electricidade.	22
Figura 5 – Emissões de GEE na produção de electricidade. Comparação da incineração de RSU com a combustão de carvão e deposição em aterro do RSU.	23
Figura 6 – Esquema do processo de produção de CDR.	25
Figura 7 – Operações de triagem e separação mecânica – triagem manual, separação com garra e com balde.	27
Figura 8 – Tecnologias de separação magnética de metais – (a) tambor magnético rotativo, (b) <i>pulley</i> magnético, (c) separador em <i>cross belt</i> , (d) separador <i>in line</i>	27
Figura 9 – Tecnologias de separação de metais não ferrosos – Corrente de <i>Eddy</i>	27
Figura 10 – Tecnologias de separação gravimétrica/densimétrica – separação balística (em cima) e por efeito do ar (em baixo).	28
Figura 11 – Tecnologias de crivagem e peneiração – tambor rotativo ou <i>trommel</i>	28
Figura 12 – Tecnologias de crivagem e peneiração – (a) crivo oscilante, (b) crivo de estrelas, (c) crivo de discos.	29
Figura 13 – Tecnologias de redução de tamanho – (a) Destroçador, (b) Pormenor do veio simples, (c) Duplo e (d) Quádruplo.	30
Figura 14 – Tecnologias de redução de tamanho – Trituração com parafuso (esquerda) e com maxilas (direita).	30
Figura 15 – Tecnologias de redução de tamanho – (a) e (b) Moinho de martelos, (c) Moinho de esferas.	31
Figura 16 – Esquema da peletização.	31
Figura 17 – Etapas associadas à ocorrência de explosão devida ao armazenamento de CDR.	32
Figura 18 – Exemplificação dos diferentes tipos de embalagem e armazenamento do CDR. Fardos cúbicos (esquerda), Pilhas cilíndricas (ao centro) e Fardos paralelepípedicos (direita).	33
Figura 19 – Exemplo de armazenamento.	33
Figura 20 – Relação entre o raio da pilha e a temperatura crítica.	34
Figura 21 – Arquitectura da linha de produção de CDR com custo associado de 9,48 €/t.	40
Figura 22 – Arquitectura da linha de produção de CDR com custo associado de 21,18 €/t.	40
Figura 23 – Estratégias possíveis para a valorização energética dos RSU.	43
Figura 24 – Resultados da análise de ciclo de vida para as 4 estratégias consideradas.	45
Figura 25 – Esquema de uma caldeira com combustão de partículas em suspensão.	47
Figura 26 – Esquema de um forno rotativo.	48

Figura 27 – Esquema de uma caldeira com combustão em grelha móvel.....	50
Figura 28 – Esquema de uma caldeira com combustão em leito fluidizado.....	51
Figura 29 – Esquema de um gasificador de leito móvel em contracorrente.....	53
Figura 30 – Esquema de um gasificador de leito móvel em corrente paralela.....	54
Figura 31 – Esquema de um gasificador de leito fluidizado.....	55
Figura 32 – Diagrama de processo de uma instalação típica de produção de CDR a partir de resíduos domésticos e comerciais na Finlândia.....	60
Figura 33 – Esquema do funcionamento da instalação Ewapower Oy, Finlândia.....	63
Figura 34 – Diagrama de funcionamento de Lomellina.....	65
Figura 35 – Esquema de funcionamento das linhas de produção de CDR.....	67
Figura 36 – Funcionamento da unidade I.D.E.A. GRANDA em Roccavione, Itália.....	68
Figura 37 – Diagrama de fluxos da produção de CDR de alta qualidade na unidade I.D.E.A. GRANDA em Roccavione, Itália.....	69
Figura 38 – Diagrama de fluxos da unidade de TMB com produção de CDR em Pieve de Corano, Itália.....	70
Figura 39 – Diagrama de fluxos da unidade de produção de CDR densificado em Massafra, Itália.....	71
Figura 40 – Esquema da caldeira e do sistema de limpeza de gases da unidade de Lomellina.....	73
Figura 41 – Vista aérea da unidade de Valdemingomez na sua fase final de construção.....	74
Figura 42 – Caldeira de leito fluidizado da unidade de Dundee.....	75
Figura 43 – Gaseificador de leito fluidizado da unidade de Lahti.....	77
Figura 44 – Esquema geral da unidade de Lahti.....	78
Figura 45 – Esquema da unidade de Weisweiler.....	79
Figura 46 – Esquema unidade de gaseificação de CDR em Grève-en-Chianti.....	81
Figura 47 – Tipologia dos resíduos que integravam os combustíveis sólidos de substituição na indústria cimenteira europeia em 2001.....	85
Figura 48 – Centrais de compostagem em exploração em Portugal Continental, processando RSU de recolha indiferenciada.....	87
Figura 49 – Diagrama simplificado da UTMB da AMTRES.....	88
Figura 50 – Diagrama simplificado da UTMB da AMARSUL.....	88
Figura 51 – Diagrama simplificado da UTMB da COVA DA BEIRA.....	89
Figura 52 – Diagrama simplificado da UTMB da AMAVE.....	89
Figura 53 – Capacidade e valorização orgânica instalada em Portugal Continental no período 2007-2013 face à capacidade efectivamente utilizada.....	94
Figura 54 – Breve análise do desempenho de Portugal Continental face às metas de desvio de RUB de aterro no período 2007-2013 tendo em conta que as UTMB valorizam RUB provenientes de recolha selectiva.....	96

Figura 55 – Breve análise do desempenho de Portugal Continental face às metas de desvio de RUB de aterro no período 2007-2013 tendo em conta que as UTMB valorizam RUB provenientes de recolha indiferenciada.	97
Figura 56 – Análise integrada das soluções previstas para o tratamento e gestão do RSU no período 2007-2013.	98
Figura 57 – Localização das instalações capazes de incorporar CDR.	103
Figura 58 – Distribuição espacial do RSU cujo tratamento prévio à deposição em aterro não está previsto. Situação base em 2007 e situação estimada para 2012, quando a totalidade das UTMB estará a funcionar.	107
Figura 59 – Distribuição espacial do RSU cujo tratamento prévio à deposição em aterro não está assegurado. Situação base em 2007 e situação estimada para 2012 se as novas UTMB forem alimentadas com 50% do RUB proveniente de recolha indiferenciada, face a 50% de RUB de recolha selectiva.	110
Figura 60 – Distribuição espacial do RSU cujo tratamento prévio à deposição em aterro não está previsto. Situação base em 2007 e situação estimada para 2012 se algumas das novas UTMB forem alimentadas com 50% do RUB proveniente de recolha indiferenciada, e outras UTMB forem totalmente alimentadas com RUB proveniente de recolha indiferenciada.	112
Figura 61 – Diagrama de combustão para as caldeiras da LIPOR II.	116
Figura 62 – Variação do PCI do RSU sem 30% de papel e cartão e 12% de plásticos e sem 60% de papel e cartão e 22,5% de plásticos, em função da redução de matéria orgânica.	117
Figura 63 – Diagrama de combustão para as caldeiras da VALORSUL.	119
Figura 64 – Variação do PCI do RSU sem 30% de papel e cartão e 12% de plásticos e sem 60% de papel e cartão e 22,5% de plásticos, em função da redução de matéria orgânica.	121



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais sistemas de garantia de qualidade de CDR na Europa.....	8
Tabela 2 – CEN/TC 343 – Combustíveis Sólidos Recuperados – Especificações em elaboração.	10
Tabela 3 – CEN/TC 343 – Combustíveis Sólidos Recuperados – Relatórios e especificações publicados.	11
Tabela 4 – Principais políticas e instrumentos regulamentares que afectam o uso de CDR/CDR..	12
Tabela 5 – Sistema de classificação dos Combustíveis Sólidos Recuperados.	20
Tabela 6 – Processos de separação de fluxos no RSU e suas implicações para o CDR produzido.....	26
Tabela 7 – Balanço material da produção de CDR a partir de RSU.....	37
Tabela 8 – Balanço mássico de algumas unidades de produção de CDR na Europa.....	37
Tabela 9 – Composição física do RSU assumida para a estimativa de custos de produção de CDR.....	39
Tabela 10 – Características e custos de produção do CDR com incorporação de <i>chips</i> de pneus.	41
Tabela 11 – Composição do resíduo considerado para avaliação do impacte ambiental.....	44
Tabela 12 – Comparação de algumas das características principais dos processos de combustão de partículas em suspensão, em grelha e em leito fluidizado.	52
Tabela 13 – Comparação de algumas das características principais dos processos de gaseificação em leito móvel e em leito fluidizado.	56
Tabela 14 – Propriedades típicas das várias fracções de RSU na Finlândia.....	58
Tabela 15 – Classes de qualidade do CDR, de acordo com o manual de garantia de qualidade finlandês.	59
Tabela 16 – Propriedades dos <i>pellets</i> produzidos na instalação Ewapower, Finlândia.	62
Tabela 17 – Composição média do RSU do projecto Lomellina.	66
Tabela 18 – Especificações dos tipos de CDR produzidos segundo os processos patenteados pela Pirelli Ambiente.	69
Tabela 19 – Características da produção da unidade de Valdemingomez.....	73
Tabela 20 – Características da produção da unidade de Valdene.	76
Tabela 21 – Composição média do gás produzido na unidade de Lahti.	77
Tabela 22 – Características das <i>pellets</i> de CDR.	82
Tabela 23 – Características do gás combustível produzido em Greve-en-Chianti.....	82
Tabela 24 – Cimenteiras europeias utilizadoras de CDR derivado de RSU.....	84
Tabela 25 – Cimenteiras europeias utilizadoras de CDR derivado de resíduos industriais não perigosos.....	84
Tabela 26 – Principais características das instalações consideradas.....	86
Tabela 27 – Quantitativos de RSU esperados para Portugal Continental no período 2007-2013...	90

Tabela 28 – Composição física dos resíduos adoptada para os cenários.	91
Tabela 29 – Quantidade de resíduos de embalagem a reciclar de forma a cumprir as metas preconizadas.....	92
Tabela 30 – Quantidade de RUB a desviar de aterro em Portugal Continental tendo em conta que 10% do RSU vai directamente para aterro sem qualquer tratamento prévio e excluindo as zonas autónomas.....	93
Tabela 31 – Quantidade de RUB desviados de aterro por reciclagem de embalagens de papel cartão tendo em conta as metas preconizadas na Directiva Embalagens.	95
Tabela 32 – Grau de interesse na utilização de CDR das empresas contactadas.	100
Tabela 33 – Descrição das instalações capazes de incorporar CDR.....	102
Tabela 34 – Quantitativos de resíduos esperados no período 2007-2013 para Portugal Continental e principais soluções de gestão previstas.....	106
Tabela 35 – Estimativa dos quantitativos de CDR (classe 3 em PCI de acordo com a CEN 343) expectáveis a partir de RSU.....	108
Tabela 36 – Quantidades esperadas de CDR nas UTMB (à excepção da Lipor e Valorsul) considerando uma alimentação de 100% de RUB de RSU nas UTMB da AMAVE, AMARSUL, AZC e AMTRES e de 50% de RUB de RSU nas restantes.	111
Tabela 37 – Quantidades esperadas de CDR nas UTMB (à excepção da Lipor e Valorsul) considerando uma alimentação de 100% de RUB de RSU nas UTMB da AMAVE, AMARSUL, AZC e AMTRES e de 100% de RUB de RSU nas restantes.....	113
Tabela 38 – Composição física dos resíduos da Lipor em 2004.....	117
Tabela 39 – Composição física dos resíduos da Valorsul em 2004.	119

LISTA DE ABREVIATURAS

AP	Acidification Potential
CDR	Combustível Derivado de Resíduos
CEN	Comité Europeu de Normalização
CSR	Combustível Sólido Recuperado
DL	Decreto-Lei
ENRRUBDA	Estratégia Nacional para a Redução de Resíduos Urbanos Biodegradáveis em Aterro
EU	União Europeia
FER	Fontes de Energia Renováveis
GEE	Gases com Efeito de Estufa
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
HTP	<i>Human Toxicity Potential</i>
LV	<i>Landfill Volume</i>
MTD	Melhores Técnicas Disponíveis
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCIP	Prevenção e Controlo Integrados da Poluição
PERSU	Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos
PIRSUE	Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados
PNALE	Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão
POCP	<i>Photochemical Ozone Creation Potential</i>
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
RIB	Resíduos Industriais Banais
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RUB	Resíduos Urbanos Biodegradáveis
TM	Tratamento Mecânico
TMB	Tratamento Mecânico e Biológico
UTMB	Unidades de Tratamento Mecânico e Biológico
VMO	Valorização Material e Orgânica



1 INTRODUÇÃO

Aquando da crise petrolífera de 1973 os Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR) emergiram como potenciais combustíveis de substituição com baixos custos. A abundância sem rival do carvão impediu, todavia, a penetração deste combustível no mercado. Não obstante, nos últimos 10 anos tem havido um crescente interesse por parte dos sectores cimenteiro, metalúrgico e energético em CDR por questões sobretudo económicas mas também ambientais. Em adição, a associação da política energética europeia às políticas desenvolvidas para a gestão dos resíduos deu um novo fôlego à utilização de CDR baseados em resíduos não perigosos. Estes combustíveis, com um conteúdo em carbono biogénico de cerca de 50-60%, podem contribuir consideravelmente para a redução das emissões de CO₂ e potenciar o aumento da utilização de energias renováveis. Presentemente, os principais utilizadores de CDR são as indústrias cimenteira e da produção de cal. Conquanto, as oportunidades num mercado mais alargado estão a surgir com o interesse da indústria produtora de energia.

No contexto português destacam-se como principais forças motrizes para a análise da viabilidade de um mercado de CDR:

- a) A actual política de resíduos onde se destaca a estratégia que decorre do cumprimento da Directiva Aterros, transposta para o direito nacional pelo Decreto-Lei (DL) relativo aos aterros (DL n.º 152/2002), que obriga ao desvio de aterro de percentagens crescentes do conteúdo biodegradável dos resíduos;
 - Neste contexto, o panorama nacional está numa fase dinâmica em que surgiram 23 novas Unidades de Tratamento Mecânico e Biológico (UTMB);
 - As UTMB que procedam à separação da fracção orgânica dos resíduos de recolha indiferenciada irão simultaneamente gerar quantidades consideráveis de materiais não recicláveis, com um potencial calorífico elevado, para os quais é agora necessário definir um destino viável do ponto de vista económico e ambiental.

- b) O Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados (PIRSUE) (MAOTDR, 2005) onde se destacam várias medidas, entre as quais:
 - Eixo 3, medida 15 – necessidade de reavaliação da Estratégia Nacional de Redução de Resíduos Urbanos Biodegradáveis Destinados aos Aterros (ENRRUBDA) – a qual só é viável analisando a viabilidade económica e ambiental dos co-produtos (onde o CDR se apresenta com

elevada importância) gerados aquando da separação dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis (RUB) para desvio de aterro;

- Eixo 3 – medida 16 – Elaboração do Plano Estratégico Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU) II – só possível se forem estudadas as várias possibilidades de destino final da fracção não orgânica do Resíduo Sólido Urbano (RSU), o CDR.
- c) A revisão do Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE) para o período entre 2008 e 2013 onde é necessário ter em conta não só as emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) desviadas de aterro mas também as licenças que poderão ser libertadas se a fracção biogénica de CDR for tida em conta, no caso da sua utilização em substituição de combustíveis fósseis.

Neste contexto, o Instituto dos Resíduos solicitou ao Instituto Superior Técnico, um estudo centrado no potencial de produção e utilização de CDR, o qual envolveu as seguintes etapas:

- Estudo das oportunidades e constrangimentos na produção e utilização de CDR:
 - Avaliação da receptividade de CDR no mercado nacional como combustíveis de substituição;
 - Análise do custo/benefício dos processos de produção de CDR a partir de RSU e equiparados;
- Elaboração de um plano estratégico de avaliação de quantitativos e qualidade dos resíduos a incorporar no CDR:
 - Análise sumária da qualidade e quantidade dos rejeitados e refugos dos processos de TMB;
 - Elaboração de um plano de intervenção junto dos sistemas de gestão de resíduos de forma a avaliar a capacidade de TMB que estará instalada e, conseqüentemente, a potencial capacidade de produção de CDR;
- Estudo das tecnologias disponíveis para a produção e utilização de CDR, incluindo o Estado da Arte e a análise das normas de produção e caracterização de CDR;
- Apresentação de cenários de apoio à decisão com base na informação recolhida.

2 CONCEITOS

O presente capítulo introduz os conceitos correntemente utilizados no âmbito deste trabalho.

A. CDR – combustível derivado de resíduos

Do inglês *RDF – refused derived fuel*. Designação genérica dos combustíveis obtidos a partir de resíduos, não obedecendo a características técnicas específicas. O CDR tem sido largamente utilizado como combustível de substituição em várias instalações de co-incineração. Outras definições utilizadas para CDR (Archer *et al.* 2005a):

- Combustível produzido por separação, fragmentação e processamento de resíduos mistos;
- Combustível preparado por separação de RSU e processamento da fracção com maior poder calorífico em *pellets* de uso comercial;
- Resíduos que tenham sido parcialmente separados e classificados previamente à sua queima.

B. CSR – Combustível Sólido Recuperado

Do inglês *SRF – Solid Recovered Fuel*. De acordo com a especificação técnica CEN/TS 15357:2006 é o combustível sólido preparado a partir de resíduos não perigosos, a ser utilizado para recuperação de energia em instalações de incineração ou co-incineração e que cumprem os requisitos de classificação e especificações preconizadas na especificação técnica CEN/TS 15359:2006. A especificação refere ainda que:

- Os biocombustíveis sólidos excluídos da Directiva Incineração (2000/76/EC) não estão incluídos no âmbito desta definição, estando abrangidos pelo Comité Técnico CEN/TC 335 “Solid Biofuels”;
- O RSU não tratado está excluído desta definição.

C. Biodegradável

De acordo com o relatório técnico CEN/TS 14980:2004 é o material capaz de sofrer decomposição biológica anaeróbia ou aeróbia sob condições que ocorrem naturalmente na biosfera.

- Esta definição está em concordância com aquela incluída na Directiva Aterros (legislação nacional DL n.º 152/2002), com a adição da descrição do ambiente para a decomposição e esclarecendo que existe actividade biológica envolvida.
- Utilizando apenas a definição preconizada na Directiva Aterros a combustão de carvão numa instalação produtora de electricidade também se enquadra.

D. Biogénico

De acordo com o relatório técnico CEN/TS 14980:2004 é o material produzido por organismos vivos em processos naturais, mas não fossilizado ou derivado de recursos fósseis.

- O termo biogénico é utilizado para denominar o material neutro em termos de CO₂ quando degradado sob condições aeróbias.

E. Biomassa

De acordo com o relatório técnico CEN/TS 14980:2004 é o material de origem biológica excluindo materiais inseridos em formações geológicas ou transformados em fósseis.

- Esta definição é muito próxima da definição feita no âmbito da CEN/TC 335 “Solid Biofuels”, com a diferença que o carvão encontrado à superfície da Terra está claramente excluído.

Outras definições são:

- Material de origem biológica excluindo materiais inseridos em formações geológicas e transformados em fósseis (CEN/TS 14588:2003);
- Fracção biodegradável de produtos e resíduos provenientes da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da silvicultura e das indústrias conexas, bem como a fracção biodegradável de resíduos industriais e urbanos (Directiva 2001/77/CE);
- Produtos que consistem, na totalidade ou em parte, em matéria vegetal da agricultura ou da silvicultura e que podem ser usados como combustíveis para efeitos de recuperação do seu conteúdo energético, bem como os seguintes resíduos utilizados como combustíveis (Directiva 2001/80/EC):
 - Resíduos vegetais provenientes da agricultura e da silvicultura;
 - Resíduos vegetais provenientes da indústria de transformação de produtos alimentares, se o calor gerado for recuperado;
 - Resíduos vegetais fibrosos provenientes da produção de pasta virgem e da produção de papel, se forem co-incinerados no local de produção e se o calor gerado for recuperado;
 - Resíduos de cortiça;
 - Resíduos de madeira com excepção dos resíduos de madeira que possam conter compostos orgânicos halogenados ou metais pesados resultantes de tratamento com conservantes ou revestimento, incluindo, em especial, resíduos de madeira de obras de construção e demolição.
- Material orgânico não fossilizado e biodegradável originado pelas plantas, animais e microrganismos. Estão incluídos produtos, co-produtos, residuais e resíduos da agricultura, da floresta e outras indústrias relacionadas, bem como as fracções orgânicas não fossilizadas e biodegradáveis de resíduos urbanos e industriais. A biomassa inclui ainda gases e líquidos recuperados da decomposição do material não fóssil e biodegradável. Quando queimado para

efeitos energéticos é referido com combustível de biomassa. (Commission Decision 29/01/2004);

F. Resíduos Urbanos

Os resíduos domésticos ou outros resíduos semelhantes, em razão da sua natureza ou composição, nomeadamente os provenientes do sector dos serviços ou de estabelecimentos comerciais ou industriais e de unidades prestadoras de cuidados de saúde, desde que, em qualquer dos casos a produção diária não exceda 1100 litros por produtor (DL n.º 239/97).

Outras definições:

- Resíduos provenientes das habitações bem como outros resíduos que, pela sua natureza ou composição, sejam semelhantes aos resíduos provenientes das habitações (DL n.º 152/2002).

G. Resíduos Últimos

De acordo com o PIRSUE (MAOTDR, 2005), entendem-se como resíduos últimos aqueles que já não podem ser sujeitos a operações de tratamento nas presentes condições técnicas e económicas.

- Tal facto implica a necessidade de todos os resíduos, previamente à sua deposição, serem sujeitos a operações de valorização e tratamento, de acordo com a hierarquia de gestão de resíduos (MAOTDR, 2005).



3 ENQUADRAMENTO

3.1 ENQUADRAMENTO NORMATIVO DA PRODUÇÃO DE CDR

Tal como já foi referido, a problemática do CDR remonta à crise petrolífera de 1973. Assim, como resultado da abertura do mercado a estes combustíveis de substituição foram criados, um pouco por toda a Europa, sistemas de garantia de qualidade para este produto.

Ainda que com diferentes objectivos, todos estes sistemas representam linhas orientadoras para a produção padronizada de CDR com determinadas características, bem como para a amostragem destas. Estas linhas foram ditadas pelo mercado dos utilizadores e, como se sabe, existem diferentes necessidades e orientações em termos de política energética na Europa.

A título de exemplo, refira-se sumariamente o caso finlandês, onde o aquecimento da população representa uma fracção considerável do consumo energético e a deposição em aterro não é uma opção considerada para o fim de vida dos resíduos. Neste caso, a política de resíduos associada à política energética permitiu uma redefinição do conceito de resíduos como bem sem utilidade.

A Tabela 1 resume alguns dos principais sistemas de garantia de qualidade de CDR, a nível europeu. Comparando os dois principais sistemas, o Finlandês e o Alemão, verifica-se que (BREF WT, 2005):

- O regulamento alemão surge como complementar do sistema ISO:9000 e é específico para o CDR. O regulamento finlandês visa a incorporação dos sistemas existentes, deixando aberta a possibilidade de serem feitos acordos quanto à qualidade do CDR entre o produtor e o consumidor;
- O sistema alemão define duas classes, face ao finlandês que define três classes, para o CDR.
- Está já estabelecido que as novas normas europeias contemplarão um maior número de classes;
- O sistema alemão assenta numa base de dados extensa e contempla toda a cadeia do processo. O sistema finlandês regula as fracções com poder calorífico elevado derivadas de resíduos recolhidos selectivamente e define procedimentos e requisitos para o controlo da qualidade do CDR.
- O sistema alemão requer a análise do conteúdo em cloro do CDR enquanto que o finlandês define pontos de partida com diferentes conteúdos em cloro para a classificação do produto;

Tabela 1 – Principais sistemas de garantia de qualidade de CDR na Europa.
 Fonte: BREF WT (2005).

País	Nome do sistema	Aspectos mais relevantes	Ano de publicação																																							
Áustria	ÖG SET	Criação de um sistema de garantia de qualidade de CDR muito semelhante ao alemão abaixo descrito.	2003																																							
Alemanha	RAL-GZ 724	<p>Referido a combustíveis produzidos a partir de resíduos não perigosos.</p> <p>Referido inicialmente às indústrias do cimento e energia.</p> <p>O CDR tem que preencher os requisitos publicados nos anexos I e II.</p> <p>O Anexo I contém uma lista de todos os resíduos a que é aplicável a produção de CDR.</p> <p>O Anexo II define valores para vários parâmetros que devem ser verificados para que seja denominado CDR.</p> <p>O sistema contempla a amostragem e análise, métodos de cálculo dos valores, procedimentos de primeira inspeção, monitorização, supervisão independente e re-inspeção.</p>	2001																																							
Finlândia	SFS 5875	<p>Aplicado a resíduos recolhidos selectivamente, sólidos secos, fracções com poder calorífico elevado ou a fracções secas com elevado poder calorífico derivadas de RSU.</p> <p>Define operações e exige o controlo da produção de CDR aplicando-se a toda a cadeia de gestão de resíduos. Para cada parte da cadeia de gestão dos resíduos o sistema requer um responsável para monitorizar os requisitos técnicos e de qualidade.</p> <p>Os anexos definem pontos de partida para teor em metais pesados bem como para estrutura de análises e amostragem entre outros.</p> <p>O CDR é dividido em 3 classes de qualidade, consoante o teor em cada um dos 7 elementos considerados.</p>	2000																																							
Itália	UNI 9903	<p>“Decreto Ronchi” (Steiner, 2005)</p> <p>Define como CDR o material com as seguintes características:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Parâmetro</th> <th>Unidade</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poder Calorífico Inferior (PCI) mínimo</td> <td>kJ/kg</td> <td>~15000</td> </tr> <tr> <td>Humidade máxima</td> <td>% p/p</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Cinzas máximo</td> <td>% p/p – base seca</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Cloro máximo</td> <td>% p/p</td> <td>0,9</td> </tr> <tr> <td>Enxofre máximo</td> <td>% p/p</td> <td>0,6</td> </tr> <tr> <td>Chumbo volátil</td> <td>mg/kg – base seca</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>Crómio máximo</td> <td>mg/kg – base seca</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Chumbo solúvel</td> <td>mg/kg – base seca</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>Manganês máximo</td> <td>mg/kg – base seca</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>Níquel máximo</td> <td>mg/kg – base seca</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>Arsénio máximo</td> <td>mg/kg – base seca</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>Cádmio+Mercúrio máximo</td> <td>mg/kg – base seca</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>	Parâmetro	Unidade	Valor	Poder Calorífico Inferior (PCI) mínimo	kJ/kg	~15000	Humidade máxima	% p/p	25	Cinzas máximo	% p/p – base seca	20	Cloro máximo	% p/p	0,9	Enxofre máximo	% p/p	0,6	Chumbo volátil	mg/kg – base seca	200	Crómio máximo	mg/kg – base seca	100	Chumbo solúvel	mg/kg – base seca	300	Manganês máximo	mg/kg – base seca	400	Níquel máximo	mg/kg – base seca	40	Arsénio máximo	mg/kg – base seca	9	Cádmio+Mercúrio máximo	mg/kg – base seca	7	1992
Parâmetro	Unidade	Valor																																								
Poder Calorífico Inferior (PCI) mínimo	kJ/kg	~15000																																								
Humidade máxima	% p/p	25																																								
Cinzas máximo	% p/p – base seca	20																																								
Cloro máximo	% p/p	0,9																																								
Enxofre máximo	% p/p	0,6																																								
Chumbo volátil	mg/kg – base seca	200																																								
Crómio máximo	mg/kg – base seca	100																																								
Chumbo solúvel	mg/kg – base seca	300																																								
Manganês máximo	mg/kg – base seca	400																																								
Níquel máximo	mg/kg – base seca	40																																								
Arsénio máximo	mg/kg – base seca	9																																								
Cádmio+Mercúrio máximo	mg/kg – base seca	7																																								
Outros	Trikenekens AG RWE Umwelt AG	Sistemas internos de garantia de qualidade.																																								

Em termos normativos, o panorama europeu está, actualmente, em constante dinâmica. Ao nível do Comité Europeu de Normalização (CEN) destacam-se dois domínios onde se insere a elaboração de sistemas de garantia de qualidade para o CDR, cujos comités integram os principais especialistas dos sistemas já existentes:

- CEN/TC 343 – Comité técnico para a padronização de combustíveis sólidos recuperados, CSR;
- CEN/TR 118 – CEN/TR 14745:2003 – Relatório sobre combustíveis sólidos recuperados.

De um modo geral, e no que se refere aos padrões que estão associados ao CEN/TC 343 verifica-se que:

- A elaboração de pré especificações técnicas estará concluída no final de 2007, realçando-se, no entanto, que a sua maioria estará concluída em 2006;
- Já se encontram definidas e aprovadas algumas especificações técnicas, e está ainda disponível um relatório técnico sobre a diferença entre as fracções biodegradável e biogénica do CSR (CEN/TS 14980:2004);
- As especificações técnicas que se encontrarem definidas e aprovadas denominar-se-ão em fase de especificação técnica (CEN/TS) o que implica um período de 3 anos, desde a data da sua publicação, até que seja aprovado como norma EN;
- Prevê-se, então, para 2009 e 2010 a conclusão, aprovação e publicação de todo o conjunto normativo inicial.

As Tabelas 2 e 3 resumem a informação disponível, à data, acerca do conteúdo da CEN/TC 343.

Tabela 2 – CEN/TC 343 – Combustíveis Sólidos Recuperados – Especificações em elaboração.
Fonte: CEN (Julho, 2006).

Referência do projecto	Título	Disponível a partir de
prCEN/TS 15440	Solid recovered fuels - Method for the determination of biomass content	2006-07
prCEN/TR 15441	Solid recovered fuels - Guidelines on occupational health aspects	2006-07
prCEN/TS 15400	Solid recovered fuels - Methods for the determination of calorific value	2006-05
prCEN/TS 15401	Solid recovered fuels - Methods for the determination of bulk density	2006-05
prCEN/TS 15402	Solid recovered fuels - Methods for the determination of the content of volatile matter	2006-05
prCEN/TS 15403	Solid recovered fuels - Methods for the determination of ash content	2006-05
prCEN/TS 15404	Solid recovered fuels - Methods for the determination of ash melting behaviour	2006-05
prCEN/TS 15405	Solid recovered fuels - Methods for the determination of density of <i>pellets</i> and briquettes	2006-05
prCEN/TS 15406	Solid recovered fuels - Methods for the determination of bridging properties of bulk material	2006-05
prCEN/TS 15407	Solid recovered fuels - Method for the determination of carbon (C), hydrogen (H) and nitrogen (N) content	2006-05
prCEN/TS 15408	Solid recovered fuels - Methods for the determination of sulphur (S), chlorine (Cl), fluorine (F) and bromine (Br) content	2006-05
prCEN/TS 15410	Solid recovered fuels - Method for the determination of the content of major elements (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si, Ti)	2006-05
prCEN/TS 15411	Solid recovered fuels - Methods for the determination of the content of trace elements (As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V and Zn)	2006-05
prCEN/TS 15412	Solid recovered fuels - Methods for the determination of metallic aluminium	2006-05
prCEN/TS 15413	Solid recovered fuels - Methods for the preparation of the test sample from the laboratory sample	2006-05
prCEN/TS 15442	Solid recovered fuels - Methods for sampling	2006-07
prCEN/TS 15443	Solid recovered fuels - Methods for laboratory sample preparation	2006-07
prCEN/TS 15414-1	Solid recovered fuels - Determination of moisture content using the oven dry method - Part 1: Determination of total moisture by a reference method	2006-05
prCEN/TS 15414-2	Solid recovered fuels - Determination of moisture content using the oven dry method - Part 2: Determination of total moisture by a simplified method	2006-05
prCEN/TS 15414-3	Solid recovered fuels - Determination of moisture content using the oven dry method - Part 3: Moisture in general analysis sample	2006-05
prCEN/TS 15415	Solid recovered fuels - Determination of particle size and particle size distribution by screen method	2006-05
prCEN/TR 15508	Key properties on solid recovered fuels to be used for establishing a classification system	2006-10
	Solid recovered fuels - Determination of combustion behaviour	2007-06
prCEN/TS	Solid recovered fuels - Determination of current rate of microbial activity using the dynamic respiration index	2007-04
	Solid recovered fuels - Determination of the biomass content based on the ¹⁴ C method	2007-04
	Solid recovered fuels - Methods for the determination of mechanical durability of <i>pellets</i> and briquettes	2007-11
	Solid recovered fuels - ¹⁴ C-based methods for the determination of the biomass content	2008-01

Tabela 3 – CEN/TC 343 – Combustíveis Sólidos Recuperados – Relatórios e especificações publicados.
Fonte: CEN (Julho, 2006).

Referência da norma	Título	Directiva
CEN/TR 14980:2004	Solid recovered fuels - Report on relative difference between biodegradable and biogenic fractions of SRF	-
CEN/TS 15357:2006	Solid recovered fuels - Terminology, definitions and descriptions	-
CEN/TS 15358:2006	Solid recovered fuels - Quality management systems - Particular requirements for their application to the production of solid recovered fuels	-
CEN/TS 15359:2006	Solid recovered fuels - Specifications and classes	-

3.2 ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO PARA A UTILIZAÇÃO DE CDR

Os potenciais utilizadores de CDR como combustível de substituição incluem instalações termoeléctricas com caldeiras de carvão e indústrias de grande intensidade energética, tais como cimenteiras, papel e pasta e processos metalúrgicos, pelo que os constrangimentos às aplicações do CDR, e, conseqüentemente, o desenvolvimento do seu mercado deste produto, são ditados pelas políticas e instrumentos que regulam esses sectores.

Assim, os sectores supracitados foram identificados como potenciais utilizadores na medida em que se apresentam hoje como os grandes consumidores de combustíveis fósseis e, portanto, são os que mais poderão beneficiar em termos ambientais, nomeadamente no que respeita às emissões de CO₂ com a utilização de CDR, cuja fracção biogénica é entendida como não contribuinte para aquelas emissões definidas no mercado de emissões. No entanto, a combustão dedicada de CDR apresenta-se como uma solução cuja dimensão dos ganhos ambientais ainda não se encontra bem definida pois não está completamente esclarecido se existe a mais valia associada à substituição da fracção combustível de origem fóssil, ainda que seja indiscutível que, globalmente, poupam grandes quantidades de combustíveis fósseis. A Tabela 4 resume os principais instrumentos regulamentares nesta área.

Estes regulamentos não serão revistos. No entanto, as implicações para processos de TMB e a utilização de CSR obtido a partir de UTMB e sua interacção com as políticas de energia e ambiente estão em discussão.

A revisão da Directiva Quadro dos Resíduos, actualmente em curso, poderá implicar, ao abrigo do seu artigo 11º, que certos resíduos sejam reclassificados como produtos. A previsão aponta 2008 como a data para a publicação do primeiro grupo de critérios para esta reclassificação, sendo os principais factores determinantes a inexistência de impactes ambientais negativos significativos

bem como a existência de mercado para o produto. Neste contexto levanta-se a questão de saber se o CDR, agora CSR, se tornará num produto (Mejia e Wejdling, 2006).

Tabela 4 – Principais políticas e instrumentos regulamentares que afectam o uso de CDR/CDR.
Fonte: Archer *et al.* (2005b).

Sector	Políticas e instrumentos reguladores
Centrais Termoeléctricas	Directiva das grandes instalações de combustão Portugal: DL 178/2003 de 5 de Agosto Directiva Incineração Portugal: DL 85/2005 de 28 de Abril Directiva Prevenção e Controlo Integrados da Poluição (PCIP) Portugal: DL 194/2000 de 21 Agosto/ DL 233/2004 de 14 de Dezembro Especificações para CSR (CEN/TS 15359:2006)
Indústria Cimenteira Papel e pasta Metalúrgica	Directiva Incineração Portugal: DL 85/2005 de 28 de Abril Directiva PCIP Portugal: DL 194/2000 de 21 Agosto/ DL 233/2004 de 14 de Dezembro Especificações para CSR (CEN/TS 15359:2006) MTD (Melhores Técnicas Disponíveis)

Recentemente, o conceito de processamento de resíduos com o propósito da produção de CDR recebeu um impulso adicional. O Tribunal de Justiça da União Europeia (EU) criou um mercado ao nível europeu para o CDR com o seu recente veredicto que diz que os resíduos podem ser transportados como um bem para outros Estados-Membros desde que o material seja usado para recuperação de energia e para a conservação de energia primária (European Court of Justice, 2003).

Assim, as especificações que serão criadas com a CEN/TC 343 constituirão um factor crítico para o sucesso do mercado/produção de CDR.

Resumo da posição regulamentar da UE

Os parágrafos seguintes apresentam um breve resumo das principais implicações dos instrumentos regulamentares europeus:

- Instalações que tratem termicamente combustíveis sólidos ou gasosos, que sejam produtos de processos de TMB, com uma “capacidade que exceda as 3 toneladas por hora”, estarão sob alçada da Directiva Prevenção e Controlo Integrados da Poluição (PCIP), DL n.º 194/2000, e, portanto, irão requerer uma autorização da autoridade competente (Instituto do

Ambiente). No caso das UTMB desejarem proceder, no próprio local, à valorização energética de CDR, o mesmo procedimento é necessário, não obstante os restantes requisitos do processo de licenciamento de UTMB.

- A última versão do BREF para a Incineração (BREF WI, 2005) inclui no seu âmbito os processos de gaseificação e pirólise. A motivação para tal inserção prende-se com o facto de representarem etapas da pré combustão do processo de incineração. Este documento inclui um sumário de valores indicativos das emissões de instalações existentes, como instrumento de apoio ao licenciamento deste tipo de unidades.
- O mesmo se verifica para a indústria cimenteira e de cal, para a qual o BREF específico para o sector (BREF CLMI, 2001) (para o qual está prevista uma actualização em 2006) delinea valores indicativos para as emissões relevantes para a produção de cimento.
- Em todo o caso, as instalações necessitam de implementar as melhores técnicas disponíveis (MTD) mais relevantes e que são impostas pelos diplomas. No caso de centrais termoeléctricas a carvão que sejam potenciais utilizadores de CDR, estas terão que reunir certos requisitos como sejam a instalação de equipamentos de dessulfuração e equipamento de redução catalítica selectiva, para o controlo de SO_x e NO_x , respectivamente. Assim, a disponibilidade de aceitação de CDR por parte destas instalações prender-se-á com a sua capacidade de investimento, a qual é afectada por outros factores externos como a viabilidade económica e o tempo de vida útil da instalação.
- Porque, à data, o CDR é definido como resíduo, as instalações envolvidas na sua utilização térmica estão sujeitas a restrições mais exigentes, decorrentes da aplicação da Directiva Incineração (DL n.º 85/2005). De um modo pouco usual para este tipo de instrumento regulamentar, não existe qualquer definição da capacidade mínima de uma instalação, que a exclua do âmbito de aplicação deste diploma – à excepção de instalações experimentais que tratem menos do que 50 t/ano – e, portanto, é deixado ao critério individual dos estados membros o modo como são interpretados certos termos contidos na Directiva.
- A Directiva Incineração (DL n.º 85/2005) estabelece condições e define padrões de operação como sejam a temperatura mínima de queima, os valores limite de emissão gasosos e de descarga de águas resultantes dos sistemas de tratamento de efluentes gasosos, o controlo da recepção de CDR, a monitorização e a amostragem. Os valores limite especificados neste diploma são semelhantes aos obtidos utilizando as MTD descritas no BREF da indústria cimenteira. De todo o modo, o DL n.º 85/2005 é mais exigente do que o BREF para as indústrias cimenteiras no que se refere a valores limite de emissão de NO_x e partículas.
- Para instalações de combustão tradicionais o instrumento regulador é a Directiva das Grandes Instalações de Combustão (DL n.º 178/2003). No entanto, esta não inclui a combustão de CDR, pelo que o diploma de referência para a regulamentação do uso de CDR/CSR será sempre o DL n.º 85/2005 relativo à incineração.

Os regulamentos supracitados indicam que as políticas europeias visam regulamentar de um modo estrito a queima de CDR, posição esta reforçada pela Directiva sobre produção de electricidade a partir de fontes de energia renováveis (FER) (2001/077/CE), na qual se afirma que a incineração de resíduos urbanos não separados não deve ser promovida no âmbito de um futuro sistema de apoio às FER, se essa promoção puser em causa a hierarquia estabelecida para tratamento dos resíduos. No entanto tal afirmação não se aplica quando as instalações de incineração apresentam um rendimento energético superior a 60% pois as operações levadas a cabo passam a ser denominadas operações do tipo R1 – Utilização principal como combustível ou outros meios de produção de energia em oposição às operações do tipo D10 – Incineração em terra (conforme definições constantes na Portaria n.º 209/2004).

Actualmente estão a criar-se meios para a padronização do processamento de CSR existindo, no âmbito da revisão da directiva quadro sobre resíduos, uma situação de dúvida quanto a considerar o CSR como resíduo ou como combustível. Portanto, crê-se que, nos próximos anos seja redefinido todo o enquadramento para este tipo de produto, de forma a valorizar o seu potencial energético e também promover uma melhor gestão integrada dos resíduos.

Os incentivos fiscais a este tipo de tratamento de resíduos por parte dos Estados Membros dependem da sua interpretação da importância deste tipo de soluções para a hierarquia de gestão de resíduos nacional.

3.3 ENQUADRAMENTO NA POLÍTICA ENERGÉTICA E AMBIENTAL

A nível nacional, os incentivos à produção de electricidade a partir de FER com base na valorização energética de resíduos (e consequentemente de CDR) estão legislados. Os diplomas que regulam esta matéria são:

- DL n.º 189/88, de 18 de Maio;
- DL n.º 168/99, de 18 de Maio;
- DL n.º 339-C/2001, de 29 de Dezembro;
- DL n.º 33-A/2005, de 16 de Fevereiro – **diploma actualmente vigente**. (com Declaração de Rectificação n.º 29/2005, de 15 de Abril).

Da análise destes instrumentos verifica-se que, em 1988 não existia qualquer reconhecimento das FER, sendo as regras aplicáveis definidas para qualquer produtor, independentemente da fonte de energia em causa. Este conceito só veio a ser expresso mais tarde, aquando do diploma publicado em 1999, o qual introduziu uma fórmula para o cálculo da remuneração pela energia entregue à

rede. Nesta fórmula são tidas em conta 3 parcelas, uma fixa, outra variável e, finalmente, uma parcela ambiental.

Para o sector da valorização energética de resíduos, tal como consta na proposta de directiva para os resíduos, apenas o último diploma, actualmente em vigor, traz alterações. Em termos da parcela fixa, verifica-se que não existe qualquer alteração desde 1999, o mesmo sucedendo em termos da parcela ambiental, dado que o factor específico atribuído às centrais de valorização energética de resíduos em nada muda o anterior contexto. Assim, a única alteração visível é ao nível da parcela variável, na qual se observou um aumento.

Estes diplomas não estabeleceram qualquer distinção entre a electricidade obtida a partir da valorização energética de resíduos e de outras fontes que não sejam compostas por parcelas de combustíveis fósseis como, por exemplo, a biomassa florestal. Por outro lado, não contemplam explicitamente a valorização de CDR, o qual, até que seja definido como produto, deverá neste âmbito ser visto à semelhança do RSU.

Neste sentido e com vista à adopção dos objectivos preconizados no âmbito da Directiva 2001/77/CE sobre electricidade a partir de FER, importa que apenas a fracção de energia eléctrica produzida a partir da biomassa contida no CDR (na acepção definida na directiva) seja reconhecida como electricidade obtida a partir de fontes renováveis.

No actual contexto europeu distinguem-se três vertentes segundo as quais o CDR, enquanto fontes de energia, devem ser analisados segundo um modo integrado.

1. Enquanto combustível na sua definição;
2. Enquanto fonte de energia renovável;
3. Enquanto fonte de energia que evita a emissão de CO₂ fóssil.

A primeira vertente é explorável de modo semelhante ao já disseminado no mercado da energia, segundo o qual o kWh_{eléctrico} e o kWh_{térmico} são taxados de igual modo ao produzido a partir de qualquer outro combustível.

A segunda vertente é explorável, no caso da energia eléctrica, utilizando modos de incentivo, *i.e.*, por atribuição de taxas de alimentação da rede e/ou por sistemas de certificados verdes. No caso da produção de vapor, apenas o primeiro sistema de incentivos é aplicável.

Historicamente, os sistemas de apoio e incentivo à utilização de RSU como fonte de energia, no âmbito das duas primeiras vertentes supracitadas, têm sido associados. Assim, geralmente a energia produzida é injectada na rede por um preço composto que inclui a tarifa normal e à qual se adiciona um incentivo sob a forma de tarifa de alimentação com vista a premiar a origem não fóssil da energia.

No entanto, este é um sistema que, de acordo com a Communication from the Commission (2005) e com o enquadramento normativo europeu deixará de existir tal como está, dado que serão extintos os mercados energéticos nacionais de energia, que darão lugar a um mercado europeu de energia. Assim, a política de incentivos terá de ser resultado de um esforço combinado entre os Estados-Membros, como aliás está explícito na Directiva sobre electricidade a partir de FER. Por outro lado, e dado que este diploma institui a garantia de origem como factor de competitividade entre as empresas actuantes, terão que ser desenvolvidas políticas mais vastas no ramo energético, que olhem de um modo mais pormenorizado o ramo das renováveis. Acresce ainda o facto de, paralelamente a este mercado energético europeu, existirem metas de produção de electricidade a partir de FER, para cada um dos Estados-Membros.

Conclui-se então que o caso da valorização energética de CDR terá que ser olhado não só pelo seu potencial para o cumprimento das metas nacionais em termos de electricidade a partir de FER, mas também pelo seu potencial de alterar o *mix* de combustíveis das empresas a quem poderá vender a sua energia produzida. Este potencial traduz-se em maior percentagem de electricidade com garantia de origem renovável, e portanto permite que as empresas apresentem maior competitividade na medida em que o seu *mix* é, ambientalmente, mais favorável.

O potencial em termos de CO₂ do CDR é, à semelhança do caso anterior, explorável de duas formas. Conquanto, a utilização dedicada de CDR (operação de valorização de resíduos) conta apenas para o cumprimento das metas nacionais no âmbito do Protocolo de Quioto com valor nulo, não gerando quaisquer mais valias em termos de mercado de licenças de emissão. No entanto, a sua utilização em ciclo combinado, gaseificação ou co-incineração já permitirá gerar mais valias para as empresas no mercado das licenças de emissão de CO₂ simultaneamente com um contributo positivo (*i.e.* descerá a quantidade de emissões) para o cumprimento do Protocolo de Quioto em termos nacionais.

4 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA PRODUÇÃO DE CDR

A produção de CDR tem como primeira etapa a separação dos resíduos com maior poder calorífico das restantes fracções. Esta separação poderá ser (Ekholm, 2005):

- Separação na fonte – através de recolha em diferentes sacos e contentores, ou separação simples em duas fracções, húmida e seca, em dois sacos de cores diferentes, usualmente transparentes, que são depois separados via óptica na instalação de preparação de CDR;
- Separação em instalações de produção de CDR a partir de RSU – através de processos físicos.

Existem duas tecnologias base utilizadas para a separação, a partir de RSU, da fracção de maior potencial calorífico que poderá ser utilizada como CDR (Gendebien *et al.*, 2003):

- Tratamento mecânico e biológico TMB – Na fase de pré-tratamento mecânico de uma UTMB são separados metais e inertes e a fracção orgânica é extraída para posterior valorização orgânica por compostagem, associada ou não a digestão anaeróbia. Também é produzida uma fracção residual com um elevado poder calorífico composta na sua maioria por resíduos secos de plásticos, papel e têxteis que se pode destinar à produção de CDR.
- Processo de estabilização seca – Os fluxos de metais e inertes são separados dos resíduos e estes são secos (e estabilizados) por um processo de compostagem resultando uma massa residual com elevado poder calorífico e adequada à combustão. A fracção com elevado poder calorífico deste processo desenvolvido na Alemanha tem o nome comercial de “*Trockenstabilitat*”.

4.1 TIPOS DE CDR

Existem vários tipos de CDR. As tipologias podem ser definidas de acordo com a forma do produto ou de acordo com a sua origem.

De acordo com a forma distinguem-se os seguintes tipos de CDR:

- *Fluff* – material solto, de baixa densidade, que tem a característica de ser transportável pelo ar (CEN/TS 15357:2006). A Figura 1 ilustra o *fluff*.
- *Pellets* – CDR produzido por aglomeração de material solto em cubo, disco ou cilindro (CEN/TS 15357:2006). O diâmetro ou seu equivalente é geralmente inferior a 25 mm. A Figura 2 ilustra o *pellet*.

- *Briquette* – bloco ou cilindro de CDR produzido por aglomeração de material solto (CEN/TS 15357:2006). O diâmetro ou seu equivalente é superior a 25 mm. A Figura 3 ilustra o *briquette*.



Figura 1 – CDR em fluff.

Fontes: <http://nl.wikipedia.org> e <http://homepage2.nifty.com/gomicomi/rdf-01.htm>



Figura 2 – CDR em *pellet*.

Fonte: <http://www.hakuikouiki.jp>



Figura 3 – CDR em *briquette*.

Fonte: <http://www.rictec.com.sg>

De acordo com a origem são muitas as tipologias de CDR. Conquanto são geralmente aplicadas quando o CDR é obtido a partir de fluxos específicos de resíduos o que é verificado aquando da utilização de resíduos industriais banais para esse fim. No caso do CDR a partir de RSU não são aplicáveis. Alguns exemplos são:

- PDF (*plastic derived fuel*) – combustível derivado do plástico;
- PPF (*paper and plastic fuel*) – combustível de papel e plástico.

A composição física e química do RSU, que afluí à instalação de produção de CDR, irá influenciar a sua qualidade final, sobretudo no que se refere ao seu conteúdo em substâncias poluentes.

No âmbito normativo está já publicada a especificação técnica que define as especificações e classes dos CSR – a CEN/TS 15359.

Os princípios do sistema de classificação de CSR assentam em três parâmetros importantes, referidos às propriedades principais de CSR: um parâmetro económico (valor calorífico líquido, que corresponde à anterior nomenclatura de poder calorífico inferior – PCI), um parâmetro técnico (o conteúdo em cloro) e um parâmetro ambiental (o conteúdo em mercúrio). Estes são os parâmetros escolhidos para dar aos actores uma ideia imediata, ainda que simplificada, da qualidade do combustível em questão (CEN 15359:2006).

De acordo com a especificação técnica publicada (CEN 15359:2006), somente combustíveis preparados a partir de resíduos não perigosos, e que cumprem os padrões é que podem ser classificados como CSR.

A classificação CSR isoladamente não é suficiente para um potencial utilizador. O utilizador terá que ter acesso a uma descrição mais detalhada do combustível. Neste sentido as propriedades relevantes do combustível têm que ser especificadas. Algumas destas propriedades são tão importantes que a especificação técnica as considera como de especificação obrigatória enquanto outras podem ser especificadas de modo voluntário, por exemplo, a pedido do utilizador.

Em conformidade com a especificação técnica que o CSR terá que obedecer a três requisitos principais:

- a) Classificação do CSR segundo o sistema de classificação que assenta nos parâmetros PCI, teor em Cl e teor em Hg

O sistema de classificação para os CSR (disponível na Tabela 5) baseia-se nos valores limite para as três propriedades supracitadas. Cada propriedade está dividida em cinco classes com valores limite. Deve ser atribuído, a cada propriedade do CSR um número de 1 a 5.

Para qualquer dos parâmetros, os métodos de análise a utilizar são os métodos reconhecidos na correspondente especificação técnica (CEN/TS) ou pré especificação (prCEN/TS).

Tabela 5 – Sistema de classificação dos Combustíveis Sólidos Recuperados.
Fonte: CEN 15359:2006

Propriedade	Medida Estatística	Unidade	Classes				
			1	2	3	4	5
Poder Calorífico Inferior (PCI)	Média	MJ/kg (tal como recebido)	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Teor em Cloro (Cl)	Média	% (base seca)	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3
Teor em Mercúrio (Hg)	Mediana	mg/MJ (tal como recebido)	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,08	≤ 0,15	≤ 0,50
	Percentil 80	mg/MJ (tal como recebido)	≤ 0,04	≤ 0,06	≤ 0,16	≤ 0,30	≤ 1,00

Exemplo de classificação:

O código de classificação de um CSR com um valor médio de PCI de 19 MJ/kg (tal como recebido), com um conteúdo médio em Cloro de 0,5 % (base seca) e uma mediana do conteúdo em Mercúrio de 0,016 mg/MJ (como recebido) com um valor de percentil 80 de 0,05 mg/MJ é designado como:

PCI 3; Cl 2; Hg 2

ainda que a mediana do conteúdo permitisse a sua classificação como classe 1, o valor do percentil 80 classifica o CSR em classe 2 em termos de conteúdo em Mercúrio pelo que prevalece o maior dos dois valores estatísticos.

b) O CSR deverá cumprir as regras de conformidade para a classificação

Durante um período de 12 meses, para cada propriedade especificada no sistema de classificação, deverá ser estabelecida a observância da qualidade do CSR em particular por demonstração de que as propriedades medidas estão em conformidade com os valores limites para a sua classe. Tal deverá verificar-se no período em que o sistema de garantia de qualidade é

aplicável. O tamanho do lote para classificação deverá ser um décimo do produzido num período de 12 meses contínuos de produção do combustível a ser classificado.

Para cada lote, deverá efectuar-se pelo menos uma medição de cada uma das propriedades. No entanto, para o Mercúrio deverão efectuar-se 3 medições por lote. Uma amostra laboratorial adicional deverá ser recolhida para verificação cruzada quando necessário. Esta deverá ser mantida até que a medição seja validada. Para a amostragem e medição deverão aplicar-se os métodos reconhecidos na correspondente especificação técnica (CEN/TS) ou pré especificação (prCEN/TS).

- c) As propriedades do CSR deverão ser especificadas de acordo com a norma

Segundo a norma existem propriedades de especificação obrigatória segundo um modelo definido na norma e outras de especificação facultativa ou voluntária.

As propriedades de especificação obrigatória deverão ser medidas de acordo com os métodos especificados pela norma. No caso de propriedades de especificação voluntária são recomendados os métodos de análise e amostragem da norma mas outros métodos relevantes poderão ser utilizados. No caso de outros serem utilizados tal deverá ser discriminado na especificação do combustível.

As propriedades de especificação obrigatória são o código da classe, a origem, a forma das partículas, o tamanho das partículas, o conteúdo em cinzas, o teor em humidade, o poder calorífico e as propriedades químicas.

As propriedades de especificação voluntária são o conteúdo em biomassa, a composição física, a preparação do combustível, as propriedades físicas e outras propriedades químicas cuja especificação não seja obrigatória.

4.2 AS EMISSÕES DE CO₂ E O CDR

Tal como com todas as FER, o maior benefício associado à utilização dos resíduos como fonte de energia é a redução da emissão dos poluentes gasosos que causam efeitos à escala local e global (IEA BIOENERGY, 2003).

De acordo com o estudo sobre o papel do RSU na Sustentabilidade (IEA BIOENERGY, 2003), baseado na abordagem de análise de ciclo de vida dos vários tipos de energia renovável, na

recuperação convencional de energia dos resíduos (incineração dedicada de RSU) as emissões totais de CO₂ são de 1100 kg/t_{RSU} e 1833 g/kWh, considerando um RSU com um PCI médio de 10 MJ/kg. Vários estudos (IEA BIOENERGY, 2003) sustentam ainda que 20 a 40% do carbono dos resíduos é derivado de fontes fósseis como, por exemplo, os plásticos. O restante é derivado da biomassa e, portanto, pode ser considerado uma fonte renovável. Assim, a fracção não renovável da emissão é de 367 g CO₂/kWh (ver Figura 4). No entanto, estes valores não têm em conta que, no caso de deposição em aterro, uma tonelada de RSU é responsável pela emissão de cerca de 70 kg de metano, o que equivale à emissão de 1610 kg CO₂/t_{RSU}. No entanto, este é um valor considerado variável na medida em que muitos aterros dispõem já de tecnologia eficaz para aproveitamento de metano e, portanto, as emissões associadas podem diminuir. Não obstante, o referido estudo (IEA BIOENERGY, 2003) concluiu que a recuperação de energia dos resíduos conduz a uma redução efectiva das emissões de gases com efeito de estufa, conforme decorre da análise da Figura 5.

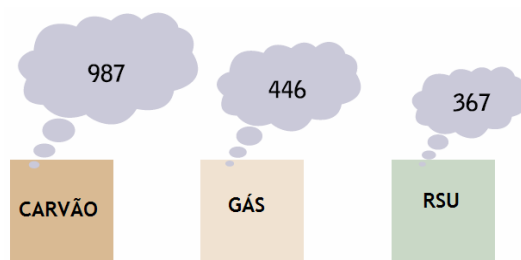
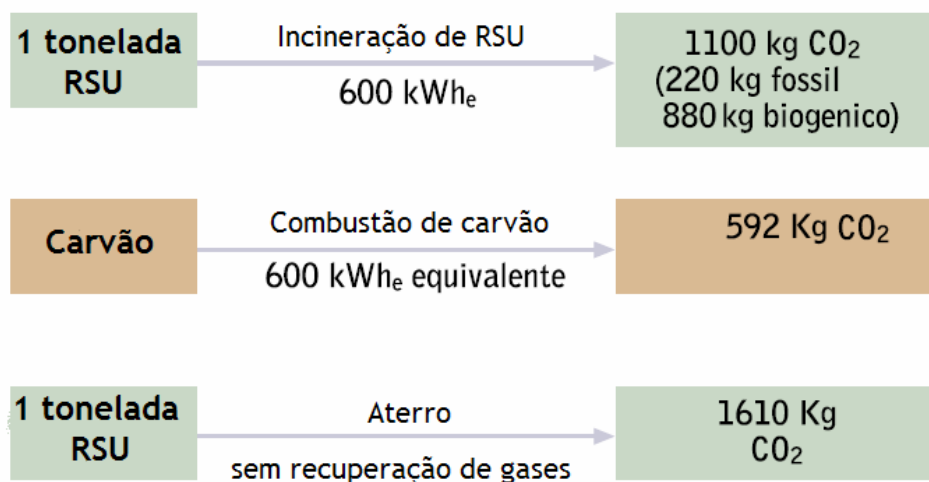


Figura 4 – Emissões – g de CO₂ fóssil/kWh de electricidade.

Fonte: IEA BIOENERGY (2003).

No caso da utilização de CDR, o estudo do IEA BIOENERGY (2003) considera que as emissões evitadas de aterro são menores dado que menor conteúdo orgânico é tido em conta. Complementarmente, graças a uma maior eficácia na separação dos vários fluxos de resíduos, existe um aumento na quantidade de resíduos capazes de serem reciclados pelo que maiores quantidades de CO₂ são evitadas pela utilização de CDR face a RSU. Na sequência deste estudo, foram identificados ainda outros ganhos decorrentes da recuperação de energia a partir de resíduos, de que se destacam:

- Redução da emissão de gases com efeito de estufa;
- Redução da emissão de gases ácidos;
- Redução da depleção de recursos naturais (materiais e combustíveis fósseis);
- Redução do impacto na água (lixiviados);
- Redução da contaminação de solos.



$$\text{Redução de CO}_2 = 220 - 592 - 1610 = -1982 \text{ kg}$$

Figura 5 – Emissões de GEE na produção de electricidade. Comparação da incineração de RSU com a combustão de carvão e deposição em aterro do RSU.

kWh_e = quilowatt-hora de electricidade. Adaptado de IEA BIOENERGY (2003).

De acordo com a Pirelli Ambiente (2005) podem conseguir-se reduções de CO₂ da ordem de -1,42 tCO₂/t_{CDR} dado que o CDR de alta qualidade produzido pela Pirelli contém cerca de 50% de fracção renovável. Este valor tem em conta as emissões evitadas aquando da deposição em aterro.

Segundo o BREF para o sector do tratamento de resíduos, o conteúdo em carbono biogénico de CDR produzido a partir de resíduos não perigosos (*i.e.*, tanto a partir do fluxo de RSU como de resíduos industriais banais) é da ordem de 50 a 60%, pelo que é considerável o seu potencial de redução de emissões de CO₂ bem como de duplicação da utilização de FER (BREF WT, 2005).

Segundo a análise de custo benefício feita em 2001 (Kronenberger, 2001), para os cenários de utilização de CDR verifica-se que qualquer cenário que promova a valorização energética de CDR face à sua deposição em aterro conduz a reduções significativas das emissões de gases com efeito de estufa, CO₂ e CH₄. A redução é proporcional ao desvio de matéria combustível de aterro e ao rendimento do CDR. Na generalidade, todas as opções estudadas conferem ganhos à Sociedade, à excepção daquela em que a electricidade obtida pela combustão de CDR substitui a electricidade gerada pela combustão de gás natural. As opções de recuperação de combustível e

sua utilização (CDR) são geralmente um pouco melhores do que a opção de incineração de resíduos com recuperação de energia.

A produção e utilização de CDR é especialmente adequada a regiões de menor densidade populacional, em que pequenas unidades de produção de CDR poderão abastecer os potenciais utilizadores locais. No caso de cidades de média e grande dimensão com incineradoras já existentes, uma combinação da utilização de CDR com a incineração de RSU surge como a opção mais adequada (Kronenberger, 2001).

4.3 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE CDR

O CDR é utilizado com vários propósitos, estando dependente da sua aplicação os requisitos a exigir ao combustível e, conseqüentemente, o método para a sua produção.

Uma linha de produção de um combustível derivado de resíduos consiste numa sequência de operações unitárias organizadas em série com o objectivo de separar componentes indesejados e condicionar a matéria combustível de maneira a obter CDR com as características desejadas.

É importante ter em conta que o RSU é uma mistura heterogénea pelo que surge como um desafio ao produtor de CDR a redução da sua heterogeneidade por diferentes tecnologias.

As circunstâncias e os parâmetros diferem de produtor para produtor. Como resultado surgem diferentes estratégias no que concerne a produção de CDR. Assim, dependendo do grau de qualidade a atingir, diferentes sequências de operações unitárias podem ser aplicadas (ver Figura 6).

Os principais processos utilizados nas instalações de produção de CDR visam:

- Separação mecânica e selecção de fluxos;
- Redução de tamanho das partículas;
- Secagem, homogeneização e densificação;
- Embalamento e armazenamento.

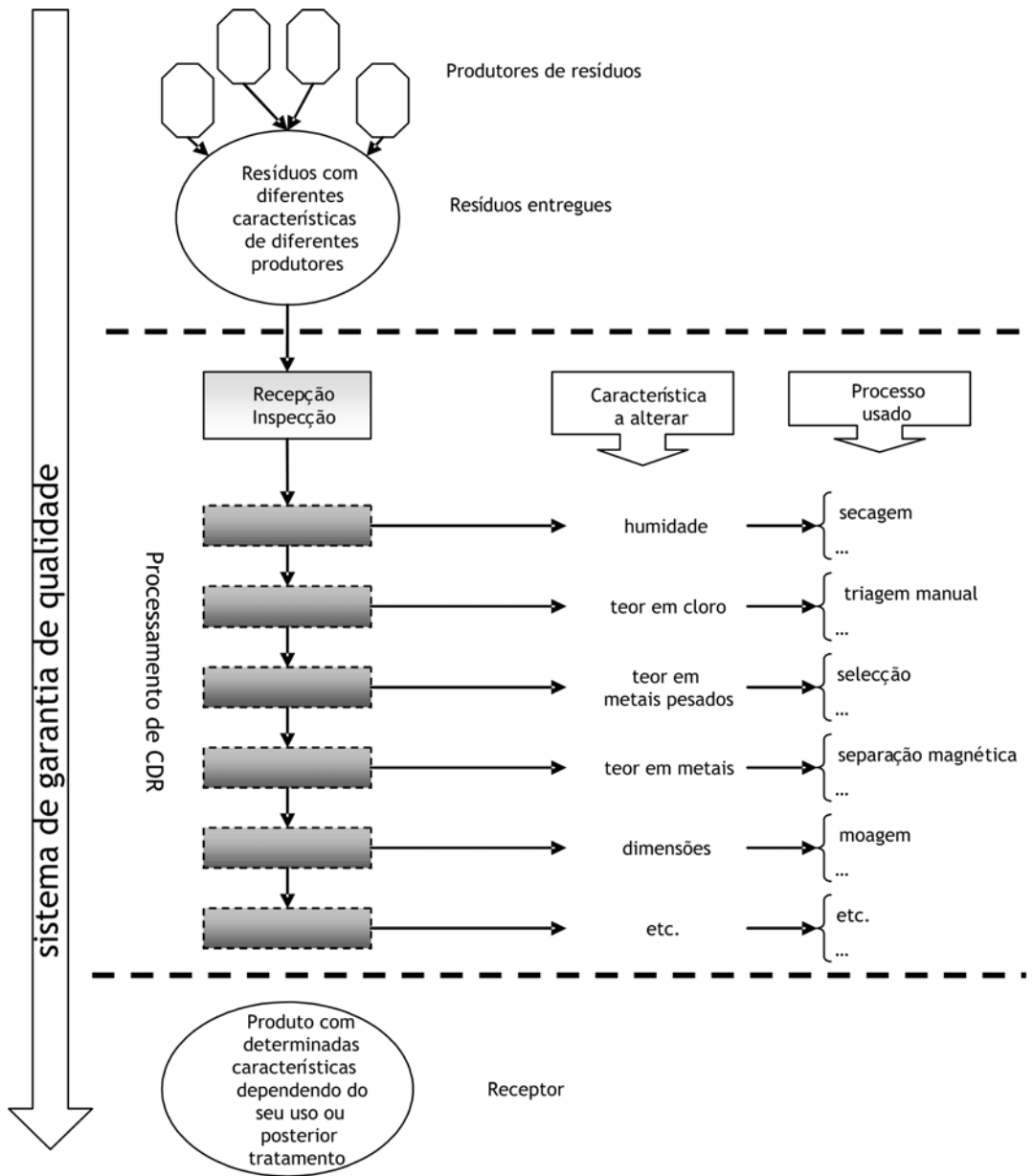


Figura 6 – Esquema do processo de produção de CDR.

Adaptado de Glorius *et al.* (2005).

Separação mecânica e selecção de fluxos

Nesta fase do processo têm lugar operações que visam a separação das várias fracções que constituem o RSU, com vista à eliminação das fracções contaminantes do produto final, o CDR.

Estas operações têm lugar no início das linhas de produção de CDR e após as operações de redução de volume.

A Tabela 6 resume os principais tipos de operações de separação que têm lugar e identifica os fluxos de contaminantes separados. As figuras 7 a 12 ilustram algumas das técnicas citadas.

Tabela 6 – Processos de separação de fluxos no RSU e suas implicações para o CDR produzido.

Operação	Fluxo de materiais separados	Principais exemplos das técnicas utilizadas	Figura
Triagem manual	Vários		Figura 7
Separação mecânica	Fracção leve/fracção pesada	Grua/garra Balde/alcatruz	Figura 7
Separação magnética de metais	Metais ferrosos	Tambor rotativo <i>Pulley</i> <i>Cross belt</i> <i>In line</i>	Figura 8
Separação não magnética de metais	Alumínio	Corrente de <i>Eddy</i> Cascata	Figura 9
Separação gravimétrica e densimétrica	Fracção leve/fracção pesada	Separação por vento Separação balística Separação húmida	Figura 10
Crivagem e peneiração	Fracção pequena/Fracção grande	Tambor rotativo (<i>trommel</i>) Crivo oscilante Crivo de discos Crivo de estrelas	Figura 11 Figura 12



Figura 7 – Operações de triagem e separação mecânica – triagem manual, separação com garra e com balde.

Fontes: <http://www.goldcoast.qld.gov.au>, <http://dispose.plasticsresource.com> e <http://www.northerntrack.co.uk>

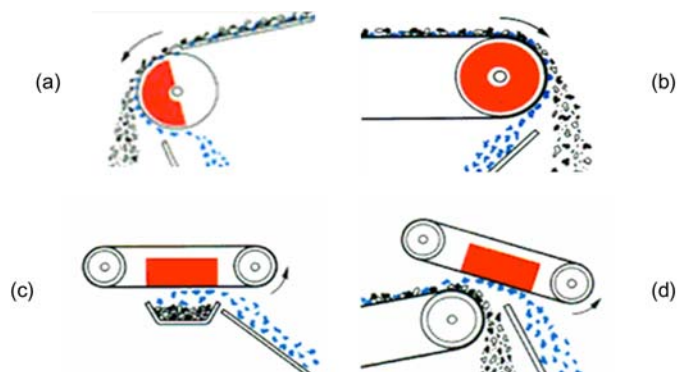


Figura 8 – Tecnologias de separação magnética de metais – (a) tambor magnético rotativo, (b) *pulley* magnético, (c) separador em *cross belt*, (d) separador *in line*.

Fonte: <http://www.globalmagnetics.com>



Figura 9 – Tecnologias de separação de metais não ferrosos – Corrente de *Eddy*.

Fontes: <http://www.globalmagnetics.com> e <http://www.wastesavers.co.uk>

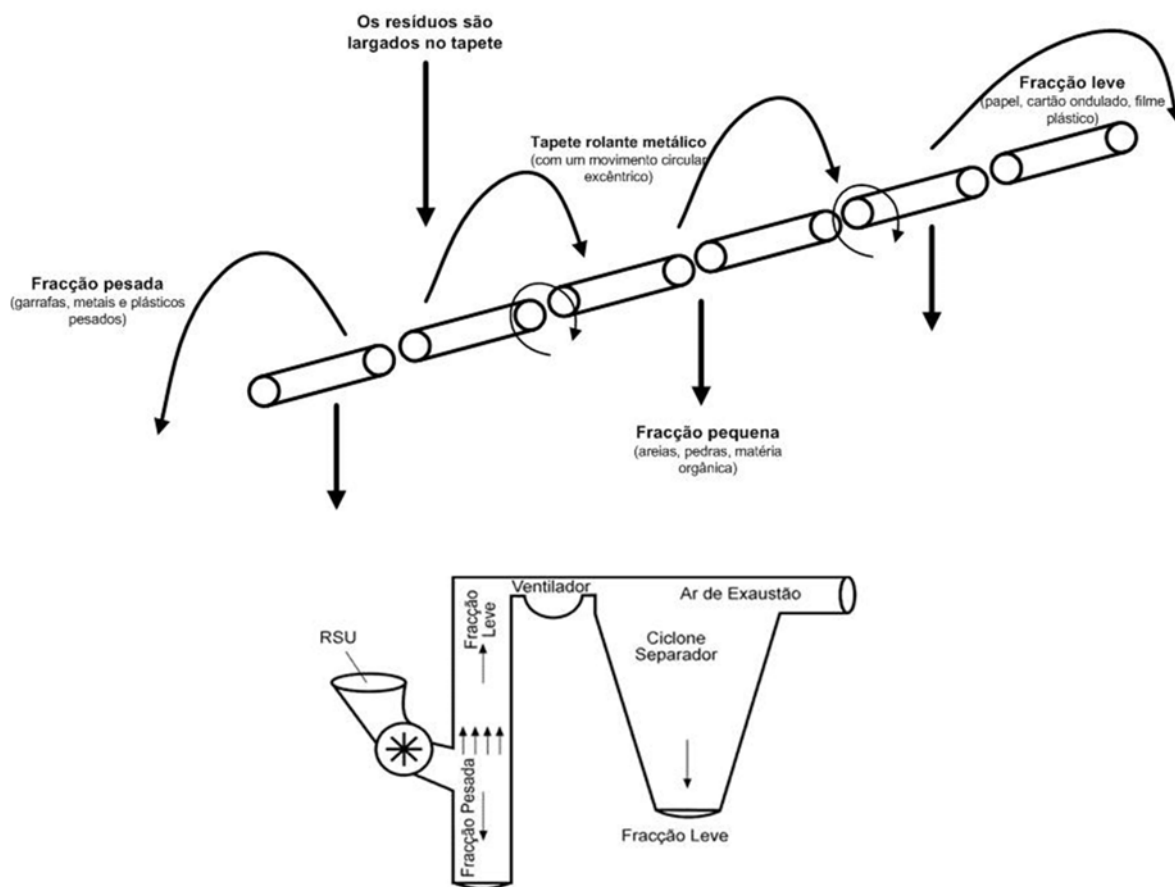


Figura 10 – Tecnologias de separação gravimétrica/densimétrica – separação balística (em cima) e por efeito do ar (em baixo).

Fonte: <http://compost.css.cornell.edu>

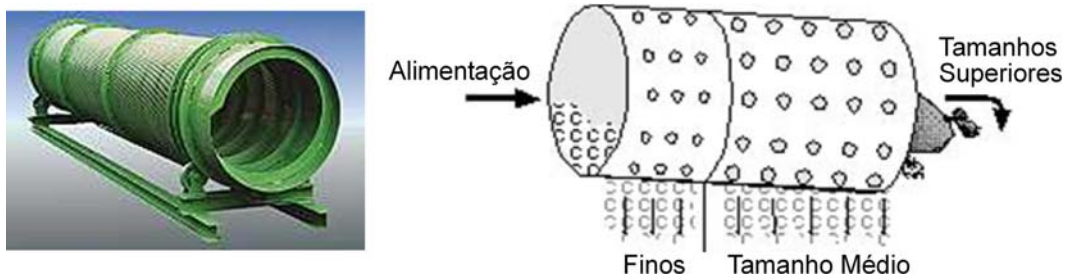


Figura 11 – Tecnologias de crivagem e peneiração – tambor rotativo ou *trommel*.

Fontes: <http://www.rudnick-enners.com> e <http://compost.css.cornell.edu>

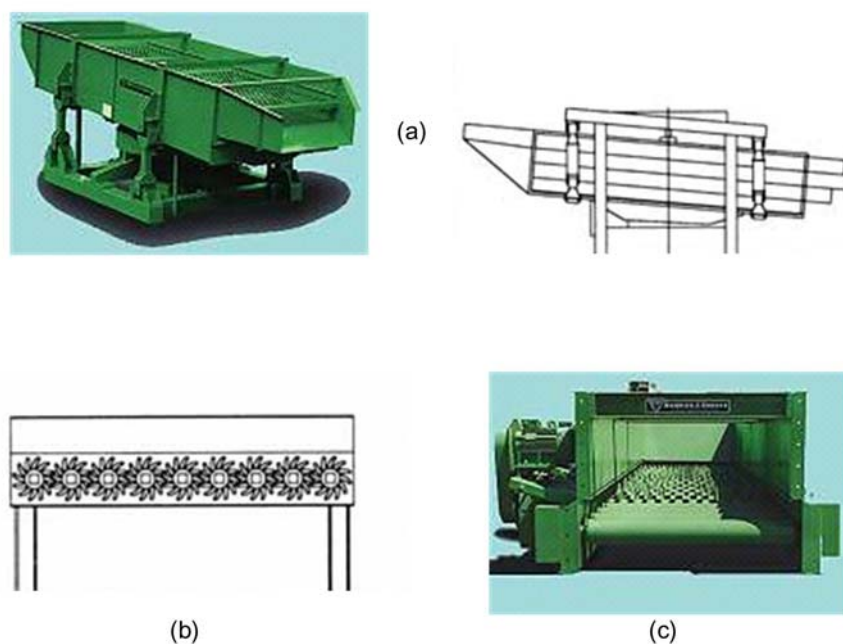


Figura 12 – Tecnologias de crivagem e peneiração – (a) crivo oscilante, (b) crivo de estrelas, (c) crivo de discos.

Fontes: <http://www.vecoplanllc.com>, <http://www.rudnick-enners.com>

Redução de tamanho das partículas

Nesta fase do processo têm lugar operações que visam a redução da granulometria do produto com o intuito de, por um lado, aumentar o seu grau de homogeneização e, por outro lado, de facilitar as fases de separação seguintes, no caso de existirem. As operações principais são:

- Destroçamento – em destroçador de rotor simples, de veio duplo ou de veio quádruplo (ver Figura 13);
- Trituração – trituração com parafuso e a trituração com maxilas (ver Figura 14);
- Moagem – com o moinho de martelos (alimentado horizontal ou verticalmente) e o moinho de esferas (ver Figura 15).

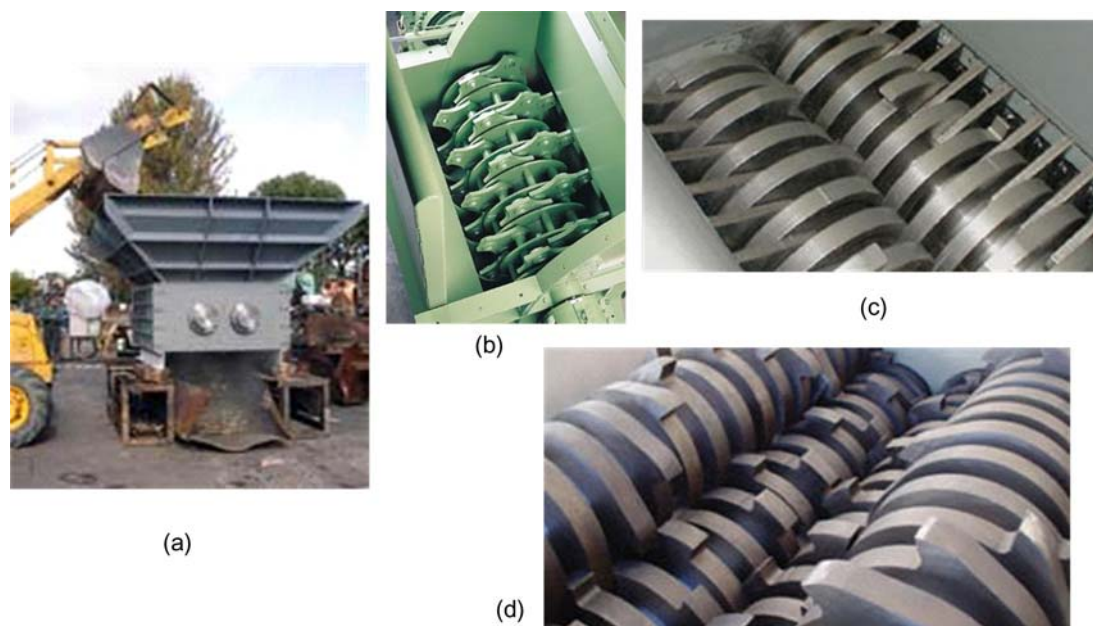


Figura 13 – Tecnologias de redução de tamanho – (a) Destroçador, (b) Pormenor do veio simples, (c) Duplo e (d) Quádruplo.

Fontes: <http://www.dosco.co.uk>, <http://www.bollegraaf.com> e <http://www.ssiworld.com>

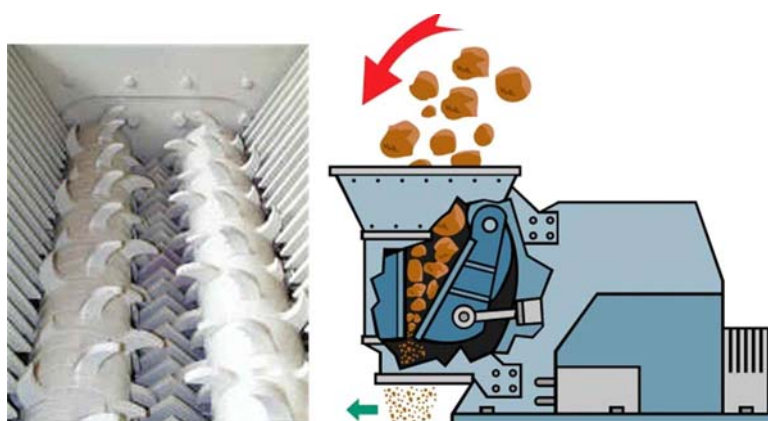


Figura 14 – Tecnologias de redução de tamanho – Trituração com parafuso (esquerda) e com maxilas (direita).

Fontes: <http://www.foamequipment.com/> <http://www.mcq.org>

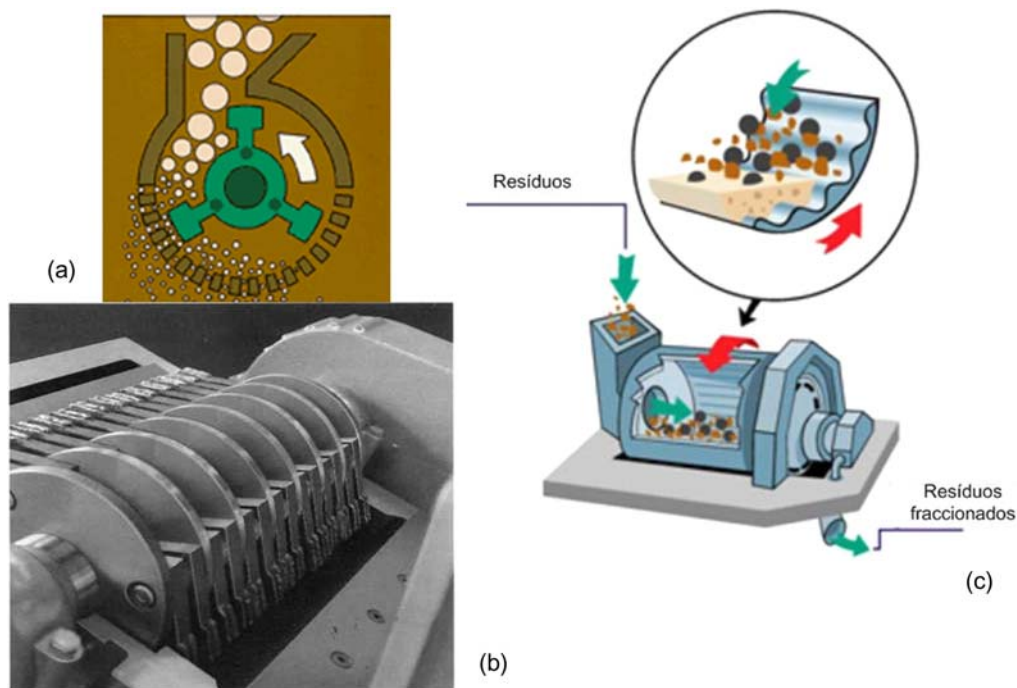


Figura 15 – Tecnologias de redução de tamanho – (a) e (b) Moinho de martelos, (c) Moinho de esferas.

Fontes: <http://www.process-controls.com>, <http://www.herbold.com> e <http://www.mcq.org>

Secagem, homogeneização e densificação

Estas fases nem sempre são utilizadas. A secagem destina-se à redução do teor de humidade do produto e pode ser conseguida por recurso a secadores ou, ainda, utilizando a compostagem. Após a secagem e dependendo do destino final do CDR segue-se a sua homogeneização e densificação.

O aumento da densidade do produto pode ser feito recorrendo à compressão do material em grânulos que podem ser *pellets* ou *briquettes* (ver sub capítulo 4.1) dependendo do tamanho final. A Figura 16 apresenta o esquema inerente à peletização.

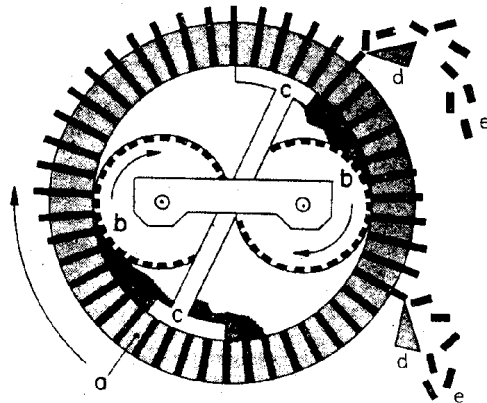


Figura 16 – Esquema da peletização.

Fonte: <http://www.fao.org>

Embalamento e armazenamento

O embalamento e armazenamento do CDR exigem alguns cuidados de segurança, dado que este pode ser inflamável sob determinadas condições ambientais.

Por exemplo, ocorreram recentemente alguns incêndios no Japão devido ao armazenamento de CDR, sendo o mais grave, o de Mie Prefecture em 19 de Agosto de 2003, que resultou na morte de duas pessoas.

A gaseificação do CDR ocorre devido ao aumento brusco de temperatura causado pela oxidação da matéria orgânica, com o ar que a rodeia, estando este aumento de temperatura relacionado com o raio da pilha cilíndrica onde o CDR é armazenado. Na Figura 17 exemplifica-se o processo de explosão de um gás inflamável.

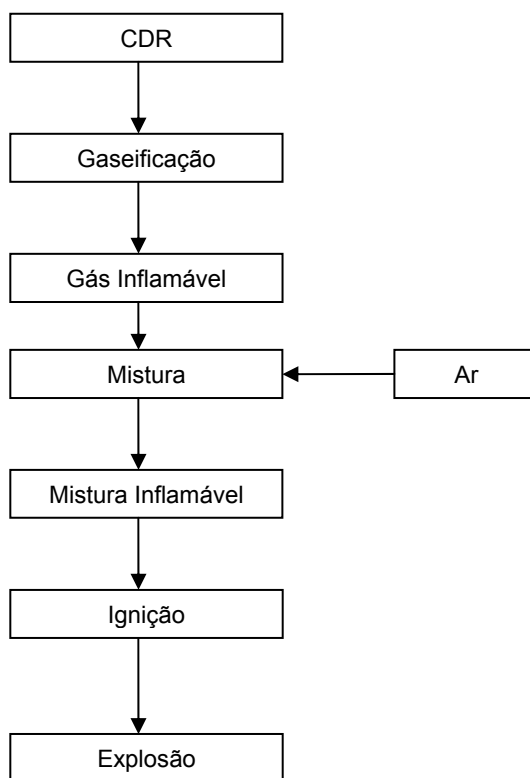


Figura 17 – Etapas associadas à ocorrência de explosão devida ao armazenamento de CDR.
Fonte: Gao e Toshisuke (2006).

Existem diferentes tipos de embalagem e armazenagem de CDR como sejam os fardos cúbicos, paralelepípedicos ou cilíndricos revestidos com plástico e colocados a céu aberto (ver Figuras 18 e 19).



Figura 18 – Exemplificação dos diferentes tipos de embalagem e armazenagem do CDR. Fardos cúbicos (esquerda), Pilhas cilíndricas (ao centro) e Fardos paralelepípedicos (direita).

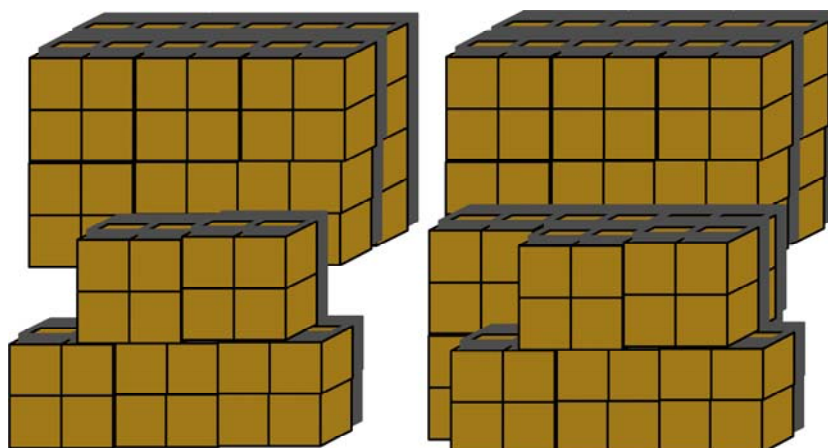


Figura 19 – Exemplo de armazenamento.

A armazenagem deverá processar-se respeitando as distâncias e alturas de segurança entre as diferentes filas de fardos.

Um estudo elaborado por Gao e Toshisuke (2006), concluiu que a relação entre o raio da pilha de armazenagem e a temperatura crítica (temperatura máxima para que o aumento brusco de temperatura não ocorra) no seu interior é dada pela forma apresentada na Figura 20.

O gráfico da Figura 20 permite obter uma estimativa para o correcto dimensionamento da zona de armazenagem do CDR.

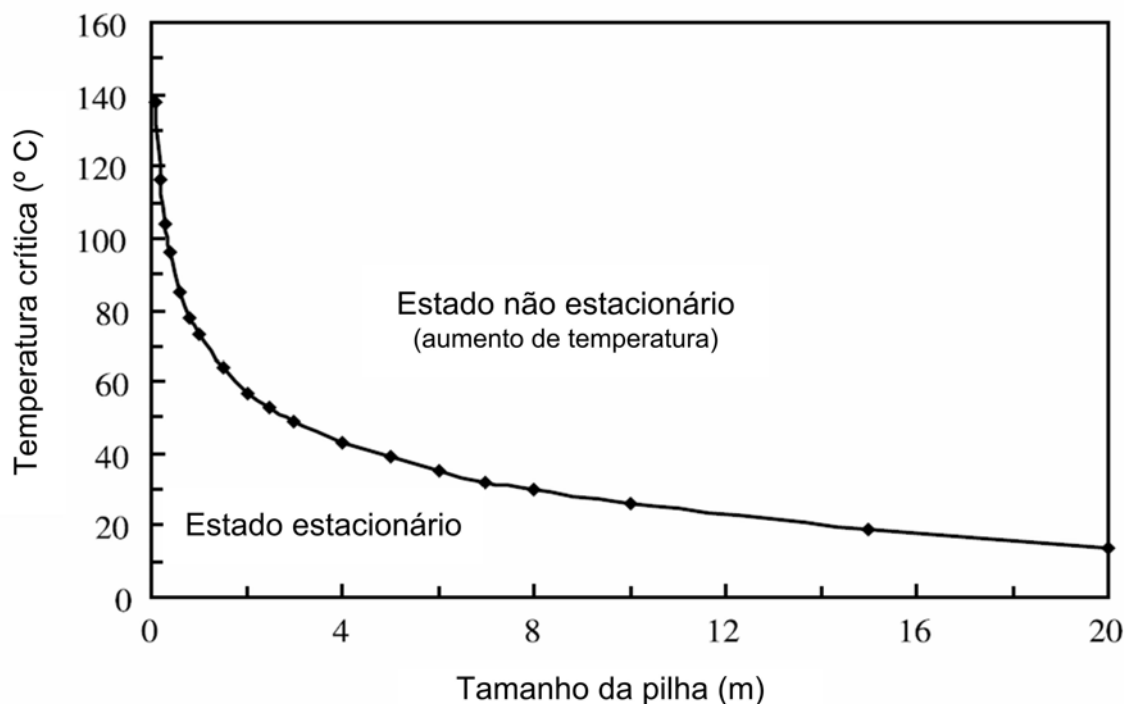


Figura 20 – Relação entre o raio da pilha e a temperatura crítica.
 Fonte: Gao e Toshisuke (2006).

Arquitectura das linhas de produção de CDR

A qualidade do CDR obtido é altamente influenciada pela sua caracterização inicial bem como pela quantidade de processos utilizada para o seu processamento e, ainda, pelo modo como estas estão ordenadas.

O projecto correcto de uma unidade de produção de CDR é uma tarefa delicada devido a vários factores. O principal é que a composição exacta dos resíduos sólidos urbanos é difícil de prever e altera-se com o tempo. Os factores que influenciam estas flutuações prendem-se com o facto de o RSU apresentar variações sazonais em termos de quantidade e qualidade (por exemplo: altura de festas e feriados implica aumento de resíduos e alteração da composição, destinos turísticos têm alturas do ano em que a produção de RSU aumenta exponencialmente).

Saliente, ainda, que existem alterações da composição dos resíduos que são introduzidas pela dinâmica associada à política de gestão de resíduos. A título de exemplo analise-se o impacto do cumprimento das metas europeias de reciclagem de embalagens. Neste caso, e dado o contexto

português, o cumprimento das metas preconizadas na Directiva Embalagens implicam um aumento do esforço de reciclagem. Tal aumento terá, naturalmente, que ocorrer ao nível da separação na fonte mas, conforme transmite o PIRSUE, também irá ocorrer por introdução do tratamento prévio de todos os resíduos previamente à sua deposição.

De modo análogo poderá ser vista a questão das metas de valorização orgânica. As UTMB a funcionar em Portugal têm metas de recolha selectiva de RUB, o que irá implicar uma alteração da composição do RSU na origem. Deste modo, a produção de CDR a partir de RSU implica uma concepção cuidada, e a mais flexível possível em termos das linhas, afim de ser possível obter maior rendimento do processo.

Não obstante, o CDR apresenta várias vantagens como combustível em relação ao RSU não tratado. Os principais benefícios são o maior poder calorífico, a maior homogeneidade da sua composição físico-química, a facilidade de armazenamento e transporte bem como uma menor emissão de poluentes associada à sua combustão (Chang *et al.*, 1998; Caputo e Pelagagge, 2002).

Como regra geral, uma linha de tratamento de RSU deve iniciar-se com um destroçador ou com um crivo pois, de outro modo todos os equipamentos a jusante serão menos eficientes. Conquanto, iniciar uma linha com um destroçador poderá provocar bloqueios frequentes devido aos componentes difíceis de destroçar e que não tenham sido previamente seleccionados por crivos, triagem manual, separadores magnéticos ou densimétricos (Caputo e Pelagagge, 2002).

Não é aconselhável colocar mais do que duas vezes o mesmo equipamento numa linha de produção de CDR, na medida em que o custo acrescido não se justifica pelo pequeno incremento de eficiência. Os equipamentos de crivagem e peneiração são uma excepção pois aperfeiçoam e complementam a função dos destroçadores, trituradores e moinhos e devem ser colocados sempre a jusante de tais operações (Caputo e Pelagagge, 2002).

A presença simultânea de um moinho e de um destroçador não é uma redundância dado que o moinho melhora a eficiência do destroçador que nem sempre é eficaz com materiais mais rijos e de maiores dimensões. Contudo, se os resíduos não tiverem sido previamente destroçados a produtividade do moinho diminui e o seu consumo de energia aumenta. Em qualquer caso, um moinho deverá ser sempre precedido por uma separação magnética ou separação densimétrica de forma a evitar uso excessivo devido à presença de desperdícios metálicos.

No caso da existência de uma linha de compostagem, deverão tomar-se medidas para que os componentes inorgânicos da linha de CDR (vidros e metais) não contaminem o composto. Assim

faz sentido que uma linha se inicie com uma selecção ou triagem de modo a evitar que o vidro ou metais destroçados entrem no processo de compostagem. Além disso, o primeiro destroçador deverá ser colocado a jusante de uma combinação triagem manual/separação magnética ou corrente de *Eddy*/triagem manual para preliminarmente ser separado o vidro. Para este fim, a combinação separação magnética/corrente de *Eddy* seria inadequada. Acresce ainda que uma triagem manual não pode operar com resíduos já destroçados (Caputo e Pelagagge, 2002).

Todos os processos apresentados até aqui não são especificamente desenvolvidos para efeitos do processamento de RSU mas resultam da adaptação para o efeito de equipamentos utilizados noutros ramos da indústria. Assim, é expectável que a sua eficiência de separação/redução de tamanho não seja tão alta como seria pretendido. Há ainda a acrescentar o facto das dimensões das máquinas estarem normalizadas pelo que uma combinação correcta das diferentes operações unitárias nem sempre é fácil. Tal significa que se deve ter em atenção o limite prático de capacidade da maquinaria e, em caso de maiores capacidades de processamento, a solução passa por linhas paralelas sendo que, pode haver perda da economia de escala. Não obstante, erros na concepção e arquitectura das linhas conduzem muitas vezes a menores produtividades e menor qualidade do produto final, o que se traduz em penalidades económicas (Caputo e Pelagagge, 2002).

4.4 EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO DE CDR A PARTIR DE RSU

A quantidade de CDR produzida por tonelada de RSU varia, sendo influenciada por factores como o tipo de recolha, processo de tratamento e requisitos de qualidade para o CDR (Gendebien *et al.*, 2003). De acordo com a mesma fonte, a taxa de produção de CDR a partir de RSU varia entre 23 e 50% em massa de resíduo processado. Estes valores são confirmados por outras fontes, por exemplo, FICHTNER UK (2004).

Em Portugal existem em funcionamento, à data, 4 UTMB que processam RSU. Da análise do seu desempenho verifica-se que, na fase de pré-tratamento mecânico, são em média gerados 533 kg de rejeitados/tonelada de RSU processado. Sendo a fracção de rejeitados aquela com maior potencial para a produção de CDR verifica-se que, no caso português, a taxa de geração de CDR a partir de RSU se avalia nos 50% (CEBQ/IST, 2006). Há no entanto que referir que este é um CDR com determinadas características. Apresenta-se sobre a forma de *fluff*, ainda não se encontra totalmente estabilizado do ponto de vista biológico e tem algum teor em humidade. Deste modo será expectável uma taxa de geração menor se se considerar que será necessário adicionar ainda algumas operações a estas linhas, para que o produto final seja de maior qualidade e de mais fácil armazenamento e transporte (e portanto com maior valor acrescentado).

De acordo com o BREF sobre Tratamento de Resíduos (BREF WT, 2005), o balanço material da produção de CDR pode ser feito com os dados da Tabela 7.

Tabela 7 – Balanço material da produção de CDR a partir de RSU.
Fonte: BREF WT, 2005

Produto combustível (ex: CDR)	Matéria orgânica	Resíduos não combustíveis com base inorgânica	Metais	Água evaporada e CO ₂	Outros
Valores em kg/100 kg de resíduo processado					
55-50	20		5	20-25	
53*		Vidro: 4 Minerais: 4 Finos: 4	Ferrosos: 4 Não ferrosos: 4		Pilhas: 0,05

*15<PCI (MJ/kg)<18

O BREF faz ainda referência às eficiências verificadas em algumas instalações de produção de CDR na Europa. Conforme decorre da análise da Tabela 8, a quantidade de CDR obtida a partir do RSU está dependente do tipo e extensão do tratamento a que foi sujeito. As elevadas diferenças na eficiência entre um simples TM (3,4) e um TMB (1,2) reflectem a perda de massa por eliminação da humidade intrínseca do resíduo a que acresce alguma bio transformação aeróbia da matéria orgânica com emissão de CO₂ (1), ou uma compostagem completa, com uma separação prévia eficiente de fracções não combustíveis (2).

Tabela 8 – Balanço mássico de algumas unidades de produção de CDR na Europa.
Fontes: BREF WT (2005); Glorius *et al.* (2005).

	Tipo de instalação (ano de arranque)	Tipo de CDR produzido	Resíduos processados kt/ano	CDR produzido kt/ano	Eficiência %	Gás exaustão m ³ /h
1	TMB (2002)	Fracção com elevado poder calorífico, em fardos	110	19,5	18	120000
2	TMB (2000)	<i>fluff</i>	63,1	30,7	49	45000
3	TM (1997)	<i>fluff</i>	22,7	17,4	77	não especificado
4	TM (2002)	não especificado	19,4	16,3	84	não especificado

4.5 CUSTOS DA PRODUÇÃO DE CDR

Procurou analisar-se, no âmbito deste estudo, quais os custos envolvidos na produção de CDR. No entanto, verificou-se que não existem muitos dados disponíveis na literatura da especialidade.

Tal prende-se com vários factores:

1. Ausência de uma definição concreta de CDR;
2. Existência de CDR provenientes de vários fluxos, que se reflecte ao nível dos custos de processamento;
3. No caso específico da produção de CDR a partir de RSU, dada a sua fraca qualidade face a outros, provenientes de fluxos específicos com elevados poderes caloríficos, o CDR surge como co-produtos do composto, por exemplo, pelo que os custos da produção de CDR estão incluídos nos da produção de composto. Analogamente, os benefícios da venda de CDR são difíceis de apurar dado que irão abater os custos finais da produção de composto.

Ainda assim, Caputo e Pelagagge (2002) fizeram uma análise algo extensa dos custos envolvidos no projecto e exploração das linhas de produção de CDR bem como exequibilidade económica e o risco financeiro associado às instalações de produção de CDR. Estes autores concluíram que:

- Para a produção de um CDR com um valor mínimo de PCI de 15 MJ/kg¹ é necessário um estudo prévio para a correcta arquitectura e concepção da linha de produção de CDR, com vista à maior eficiência possível em termos mássicos aos menores custos possíveis.
- A adição de pneus ou outros materiais com elevado PCI à corrente de RSU é um pré requisito fundamental para a obtenção do CDR com as características desejadas.

De forma a comparar diferentes tipos de linhas de produção de CDR do ponto de vista económico Caputo e Pelagagge (2002) calcularam os custos directos de produção estimando o custo de amortização horário do equipamento mais as despesas com a energia consumida. Ainda que não seja o custo total de investimento, é uma ferramenta válida para a comparação dos diferentes métodos de produção dado que varia com a arquitectura das linhas. Os custos do investimento foram amortizados num período de 10 anos.

¹ Característica determinada pela norma italiana de produção de CDR, mas que também resulta das exigências dos consumidores finais do produto.

Operações unitárias mais dispendiosas

Verifica-se que os maiores custos imputados a uma linha de produção de CDR estão associados a operações de triagem manual e redução de tamanho com moinho de martelos, devido ao preço da mão-de-obra e ao custo de construção dos moinhos para material de grandes dimensões. Outra operação de elevado custo é a de secagem por recurso a um secador devido ao consumo de combustível, mas raramente utilizado a não ser em sinergia com outra unidade industrial ou aproveitando os gases quentes da combustão.

Nestas circunstâncias, a triagem manual deve ser evitada, o que também é aconselhável do ponto de vista da segurança e higiene. No entanto, esta é uma escolha bastante dependente do grau de separação na fonte dos resíduos processados (Caputo e Pelagagge, 2002).

Variação dos custos com o tipo de CDR produzido

Tendo em conta a composição do RSU considerada na Tabela 9, Caputo e Pelagagge (2002) estimaram os custos da produção de CDR com e sem a incorporação de *chips* de pneus.

Tabela 9 – Composição física do RSU assumida para a estimativa de custos de produção de CDR.

Fonte: Caputo e Pelagagge (2002).

Componente	%	Base seca (kg/kg RSU)	Humidade (kg/kg RSU)	Cinzas (kg/kg RSU)	PCI (MJ/kg)
Ferro	1,5	0,0135	0,0015	0,0135	0
Alumínio	1,0	0,009	0,001	0,009	0
Vidro	5,0	0,045	0,005	0,045	0
Papel	27,0	0,216	0,054	0,0108	8,8
Plástico	14,0	0,126	0,014	0,0063	26,3
Outros resíduos inorgânicos	0,5	0,004	0,001	0,004	0
Resíduos orgânicos	51,0	0,204	0,306	0,0204	6,3

No caso da produção de *fluff* somente a partir de RSU os custos variam entre 9,48 e 21,18 €/t_{CDR}, conforme se exemplifica nas figuras 21 e 22 onde se apresentam os respectivos diagramas de blocos.

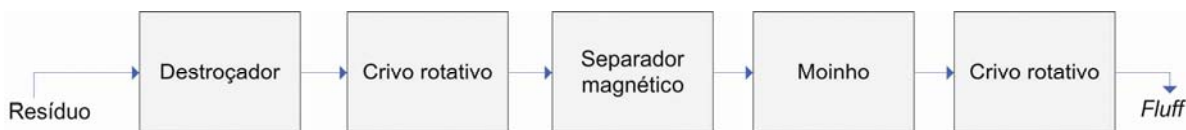


Figura 21 – Arquitectura da linha de produção de CDR com custo associado de 9,48 €/t.

Fonte: Caputo e Pelagagge (2002).

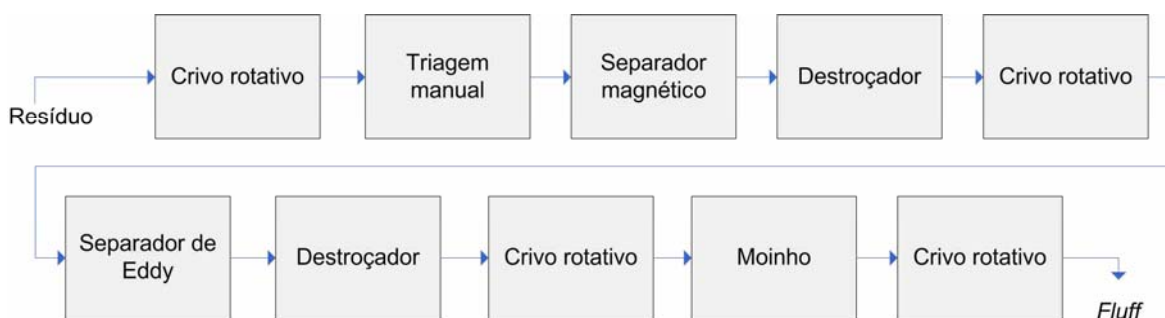


Figura 22 – Arquitectura da linha de produção de CDR com custo associado de 21,18 €/t.

Fonte: Caputo e Pelagagge (2002).

No primeiro caso (Figura 21) a linha de produção de CDR é simples e sem triagem manual, sendo o *fluff* produzido de tamanho médio e com um PCI da ordem dos 13 MJ/kg. No segundo caso a linha de produção é mais elaborada, contando com a presença de etapas de triagem manual, de moagem e com separação de metais ferrosos e não ferrosos, que conduzem a um *fluff* de menores dimensões e com um PCI da ordem dos 15 MJ/kg (para o cálculo da composição e PCI do CDR produzido foram assumidas as eficiências dos equipamentos disponíveis no Anexo A).

No caso da produção de *fluff* de RSU com incorporação de *chips* de pneus os custos variam entre 6,12 e 15,60 €/t CDR utilizando a mesma configuração das linhas de produção de CDR. Subsidiariamente, o PCI do *fluff* produzido passa para 18 MJ/kg e 20 MJ/kg (Figuras 21 e 22 respectivamente) aquando da adição de 10% de *chips* de pneus.

Tabela 10 – Características e custos de produção do CDR com incorporação de *chips* de pneus.

Fonte: Caputo e Pelagagge (2002).

Chips de pneus incorporados (%)	Humidade (%)	PCI (MJ/kg)	Custo de produção (euro²/t CDR)		
			<i>Fluff</i>	Densificado	<i>Pellet</i>
30	7,5	17,0	7,54	8,21	8,88
40	6,9	17,7	6,82	7,42	7,42
50	6,4	18,2	6,12	6,65	6,65

Para a produção de CDR em *pellets*, Caputo e Pelagagge (2002) apenas estimaram os custos de produção a partir de RSU com incorporação de *chips* de pneus na medida em que este é o produto com maior valor acrescentado e de PCI, que poderá carecer de densificação afim de facilitar o transporte e armazenamento. Analisando a Tabela 10 verifica-se que o custo diminui com o grau da incorporação de pneus, sendo 8,8 €/t CDR aquando de uma incorporação de 30% e 6,65 €/t CDR no caso de incorporação de 50% de *chips* de pneus, se for considerada a linha de produção esquematizada pela Figura 21. Pode ainda observar-se que os custos de transformação de um CDR tipo *fluff* num CDR densificado ou em *pellets* é semelhante e função do teor de humidade do material de partida.

Há que realçar que os valores sumariados na Tabela 10 apenas reflectem os custos de operação, não estando contabilizados os custos de investimento.

4.6 AVALIAÇÃO SUMÁRIA DO IMPACTE AMBIENTAL DE UTILIZAÇÃO DE CDR vs FRACÇÃO RESTO

A co-incineração não se apresenta como solução para a valorização energética da totalidade dos resíduos. A construção de novas instalações dedicadas deverá ser tomada em conta num futuro próximo. A questão que se coloca é se o investimento deve incidir em unidades de valorização energética de CDR ou de RSU.

De forma a responder a essa questão em 2005 foram publicados dois estudos efectuados por investigadores italianos (Consonni, 2005a, 2005b), cujo principal objectivo era compreender qual seria a melhor estratégia para a valorização energética da fracção não reciclável do RSU. Nestes

² Valor base = Euro (2002)

estudos foram considerados quatro circuitos alternativos que se encontram esquematizados na Figura 23.

Note-se que, em qualquer uma das soluções, é sempre considerado que ao resíduo inicial se retirou previamente a fracção reciclável (cerca de 35% em massa) de forma a respeitar a hierarquia de gestão dos resíduos.

Uma vez que no sistema italiano tanto as eficiências de recolha selectiva como de reciclagem são mais elevadas devido ao sistema de recolha de “secos e molhados”, é expectável que a composição do CDR produzido em Portugal possa vir a ter uma composição similar à da fracção resto do RSU considerado no estudo italiano (ver Tabela 11).

De forma a comparar as quatro estratégias acima descritas foi efectuada uma análise de ciclo de vida, onde a unidade funcional escolhida foi a quantidade, em massa, de resíduo a ser tratada.

Os indicadores de impactes foram avaliados e seleccionados de acordo com a metodologia CML (Centre of Environmental Science, Leiden University) tendo sido escolhidos devido à sua importância (Consonni, 2005b):

- Potencial de Aquecimento Global ou *Global Warming Potential* (GWP): que tem em conta as emissões de gases de efeito de estufa (CO_2 , CH_4 , N_2O), cujos factores de caracterização são baseados no modelo desenvolvido pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e referidos para uma unidade temporal de 100 anos (GWP100). Os GWP são expressos em kg de CO_2 equivalente por kg de emissão.
- Potencial de Toxicidade Humana ou *Human Toxicity Potential* (HTP): que inclui uma vasta gama de substâncias tóxicas, cujos factores de caracterização são calculados com o modelo matemático USES-LCA que descreve o seu destino, exposição e efeitos num horizonte temporal infinito. O HTP é expresso em kg de 1,4-diclorobenzeno equivalente por kg de emissão.
- Potencial de Acidificação ou *Acidification Potential* (AP): que tem em conta as emissões de NO_x , SO_x e Amónia, sendo expresso em kg de SO_2 equivalente por kg de emissão.
- Potencial da Criação de Ozono Fotoquímico ou *Photochemical Ozone Creation Potential* (POCP): calculado segundo o modelo de trajectória da UNECE e expresso em kg de etileno por kg de emissão.
- Volume para Aterro ou *Landfill Volume* (LV): que embora não incluído na metodologia CML, pretende representar a quantidade de resíduos destinados a aterro: fracção orgânica estabilizada, inertes e cinzas, sendo expresso em m^3 por tonelada de resíduo.

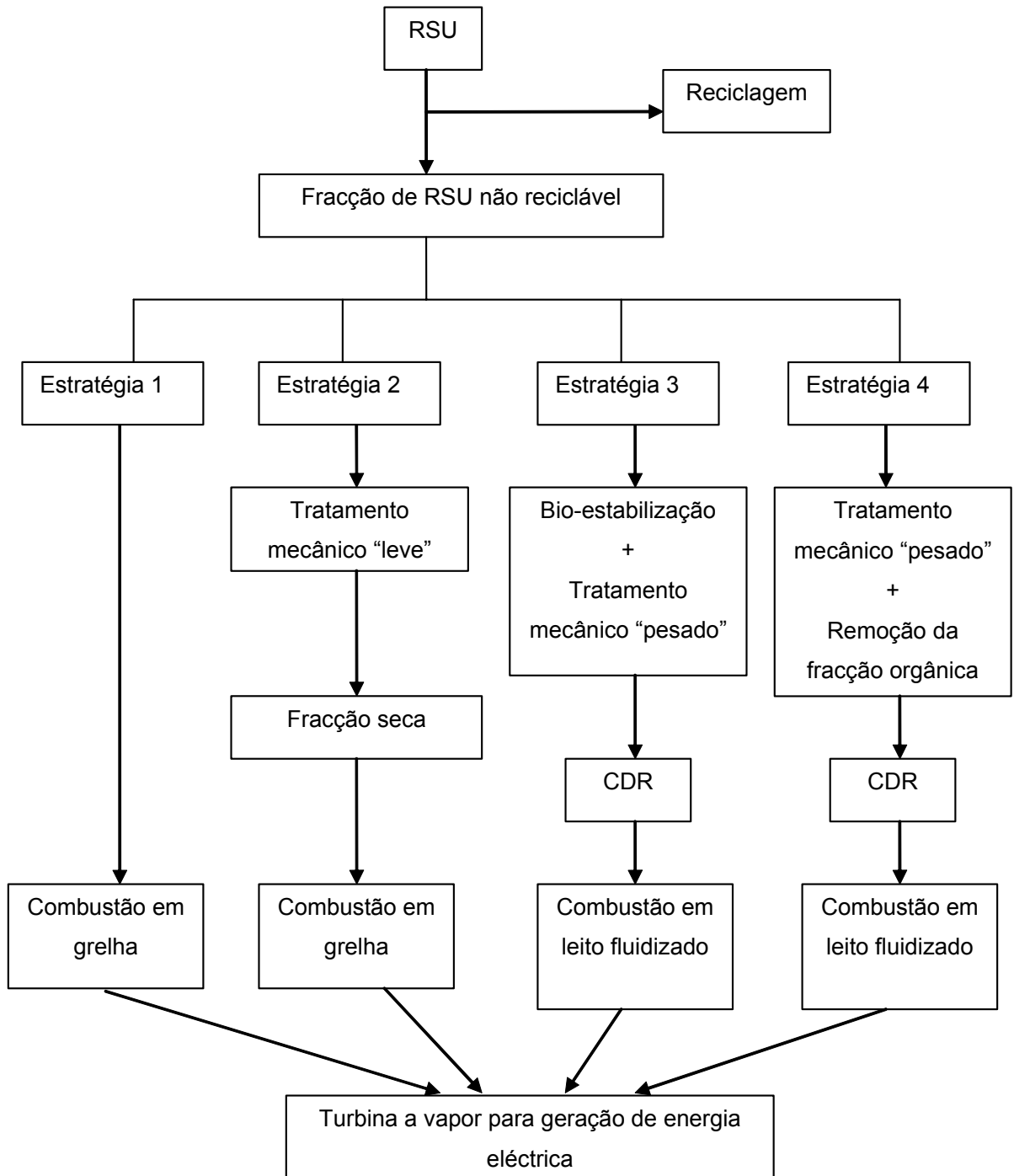


Figura 23 – Estratégias possíveis para a valorização energética dos RSU.

Fonte: Consonni (2005a).

Tabela 11 – Composição do resíduo considerado para avaliação do impacto ambiental.

Fonte: Consonni (2005a).

Constituinte	Fracção mássica (%)	PCI (MJ/kg)
Papel e Cartão	24,5	13,22
Madeira	6,0	13,87
Plástico	19,0	26,18
Vidro e Inertes	3,5	0
Metais	3,5	0
Fracção Orgânica	31,5	1,719
Finos	12,0	4,395
Resíduo não reciclável	100,0	10,11

Os resultados obtidos, representados na Figura 24, foram normalizados, sendo cada indicador de impacto dado em relação à melhor ou pior estratégia, que corresponde ao valor -100% ou +100%, respectivamente.

Os resultados obtidos revelam que a estratégia 1 (sem qualquer tratamento) e a estratégia 2 (com tratamento mecânico leve) se apresentam mais atractivas do que a produção de CDR, na acepção da norma italiana, devido a melhores indicadores de impactes (Consonni, 2005b).

Em termos económicos foi também possível concluir que qualquer estratégia com pré-tratamento é sempre mais desfavorável relativamente à estratégia 1 (ver Figura 23), ou seja, o melhoramento da qualidade do combustível não é compensado pelo aumento dos custos da sua produção (Consonni, 2005b).

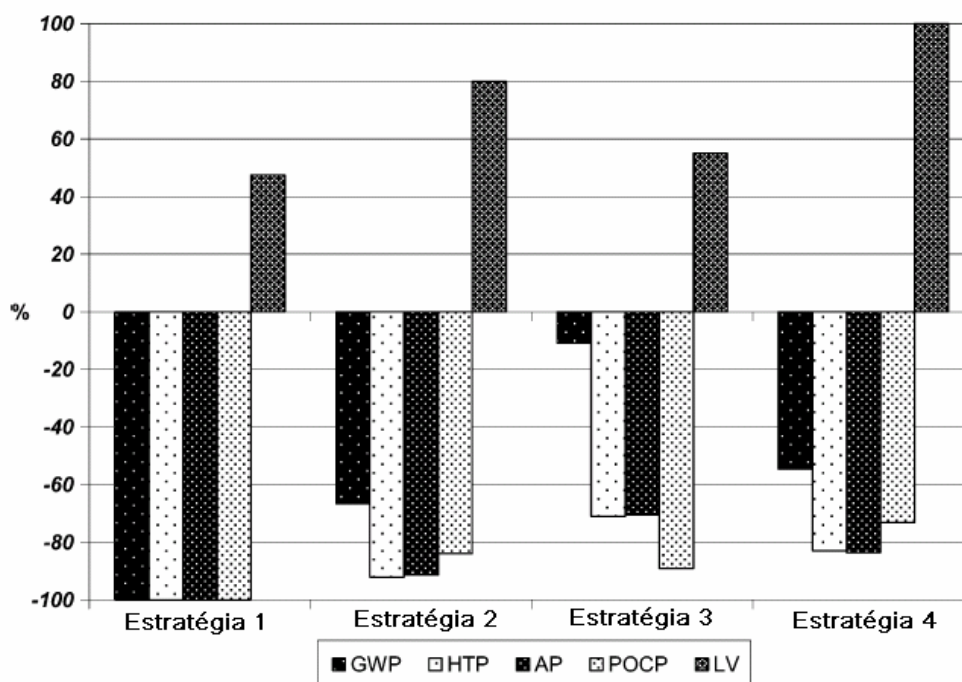


Figura 24 – Resultados da análise de ciclo de vida para as 4 estratégias consideradas.

Fonte: Consonni (2005b).



5 TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA A COMBUSTÃO DE COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS

Este capítulo descreve sumariamente as principais tecnologias existentes para a combustão de combustíveis sólidos, sendo essencial para a compreensão do sub-capítulo 6.2, no qual se incluem alguns dos exemplos mais notáveis de unidades que utilizam CDR em vários locais do mundo.

No presente capítulo são abordadas sucessivamente a combustão de partículas em suspensão, a combustão de partículas em grelha, a combustão de partículas em leito fluidizado e, finalmente, a gaseificação. Em princípio, o CDR pode ser utilizado em qualquer destas tecnologias, sendo-lhe, porém, exigido requisitos específicos, de acordo com a tecnologia, em particular, em termos de PCI e granulometria.

5.1 COMBUSTÃO DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO

Do ponto de vista industrial, os sistemas de queima de combustíveis sólidos mais comuns são os que recorrem à combustão de combustíveis sólidos, essencialmente carvão, sob a forma de pequenas partículas em suspensão numa corrente de ar. A Figura 25 apresenta um esquema simplificado de uma caldeira típica de uma central termoelétrica que recorre à referida tecnologia. Neste tipo de caldeiras, os queimadores encontram-se geralmente localizados numa das paredes laterais da câmara de combustão. O carvão é previamente pulverizado em partículas da ordem dos micrómetros, sendo transportado pneumáticamente para os queimadores.

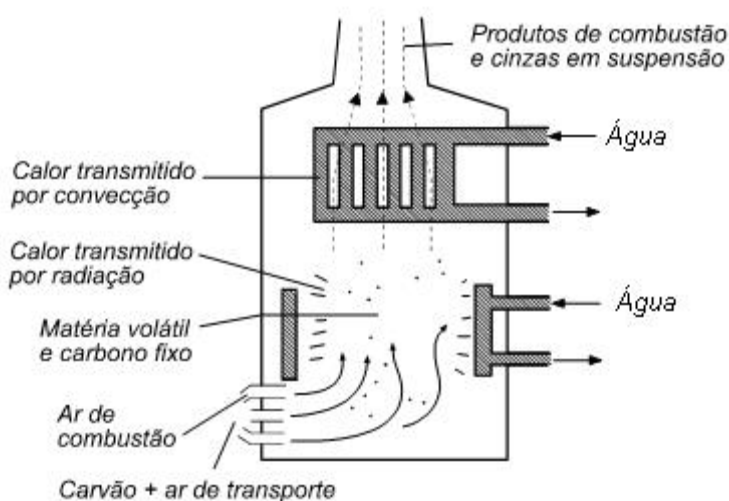


Figura 25 – Esquema de uma caldeira com combustão de partículas em suspensão.

Um aspecto de grande importância na operação de caldeiras que recorrem à combustão de partículas em suspensão é a estabilidade da chama. Com efeito, não é possível operar em segurança uma caldeira de uma central termoelétrica na ausência de garantias absolutas relativamente à estabilidade da chama. Por exemplo, durante os períodos de funcionamento das caldeiras a cargas inferiores à carga nominal, é prática comum recorrer-se a queimadores auxiliares, alimentados a fuelóleo ou gás, para assegurar a estabilidade da chama principal.

Do que ficou exposto é fácil concluir que a utilização de CDR nesta forma (pulverizado) será certamente pouco interessante do ponto de vista económico atendendo aos elevados custos associados à sua produção.

Uma alternativa interessante às caldeiras do tipo da representada na Figura 25 são os fornos rotativos, os quais também recorrem à combustão de partículas em suspensão, sendo, porém, menos exigentes em termos da granulometria do combustível.

A principal aplicação dos fornos rotativos é no fabrico de cimento. O cimento é um material inorgânico na forma de um pó fino, que resulta da mistura de clínquer com outras substâncias, tais como o gesso e escórias, em quantidades que dependem do tipo de aplicação e das características procuradas para o cimento.

O clínquer – principal constituinte do cimento – é produzido por transformação térmica a elevada temperatura de calcário, marga e argila em fornos constituídos por um tubo rotativo, montado segundo uma inclinação que pode variar entre 2,5 e 5%, com uma velocidade de rotação entre 1,5 e 2,5 rpm, e um comprimento de aproximadamente 85 m. Os fornos são internamente revestidos de material refractário que confere protecção ao tubo rotativo e reduz as perdas térmicas. A Figura 26 mostra esquematicamente um forno rotativo usado para produção de cimento.

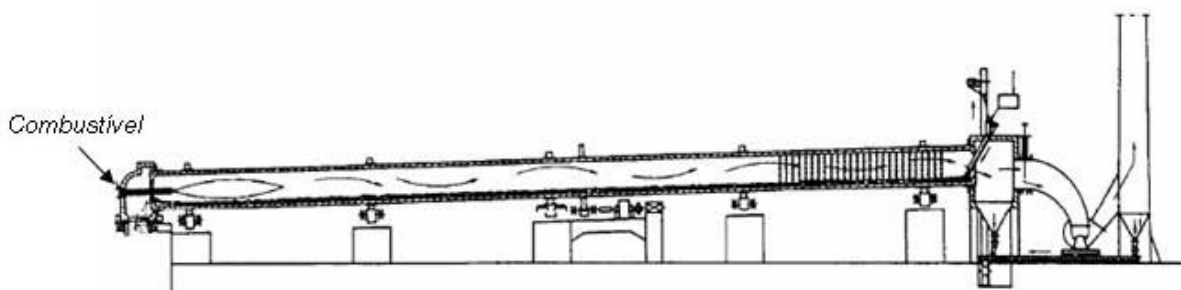


Figura 26 – Esquema de um forno rotativo.
Fonte: BREF CLMI (2001).

O processo de cozimento é a etapa crucial na produção de clínquer, uma vez que lhe estão associados a qualidade do produto final, os custos e as emissões de poluentes. Para formação do clínquer são necessárias temperaturas na ordem dos 1400 a 1500 °C.

Podem ser usados diversos combustíveis em fornos rotativos para a produção de cimento, nomeadamente, carvão pulverizado, coque de petróleo, fuelóleo e gás natural. Os principais constituintes das cinzas destes combustíveis são a sílica e alumina, que são normalmente combinados com a matéria-prima tornando-se parte do clínquer (BREF CLMI, 2001).

Os combustíveis mais usados na Europa são o coque de petróleo e o carvão. Contudo as elevadas temperaturas atingidas associados a tempos de residência longos no forno pressupõem um elevado potencial para a destruição de substâncias orgânicas, o que torna uma variedade de combustíveis menos dispendiosos, como é o caso do CDR, numa solução particularmente atractiva (BREF CLMI, 2001).

5.2 COMBUSTÃO DE PARTÍCULAS EM GRELHA

A Figura 27 mostra esquematicamente uma caldeira com combustão em grelha móvel (na realidade, a grelha pode também ser fixa e, em ambos os casos, o seu posicionamento pode ser horizontal ou inclinado). Neste processo, o combustível sólido é triturado em pedaços com dimensões variáveis. A caldeira é alimentada por uma tremonha que pode ser carregada por um transportador de correia, e o combustível é, de seguida, transportado para uma das extremidades da grelha. Ao longo da grelha, o combustível é sujeito a uma corrente de ar ascendente. Com este dispositivo, o carbono fixo é queimado na grelha e a matéria volátil no espaço imediatamente acima da grelha. Nalgumas caldeiras deste tipo, somente uma parte do ar (ar primário) é introduzido através da grelha, para reagir com o carbono fixo, sendo a parte restante (ar secundário) introduzido na caldeira acima da grelha para assegurar a queima da matéria volátil. Nestas caldeiras, a taxa de combustão é basicamente controlada pelo caudal de ar fornecido, sendo que quanto maior for o teor de matéria volátil do combustível maior é a quantidade de ar secundário necessária. As partículas finas, cinzas volantes arrastadas pelos gases quentes, são recolhidas em equipamentos apropriados, tais como ciclones e precipitadores electrostáticos, enquanto que as partículas maiores, essencialmente constituídas por cinzas, são descarregadas na extremidade oposta da grelha, relativamente à da alimentação dos sólidos, como se mostra na Figura 27.

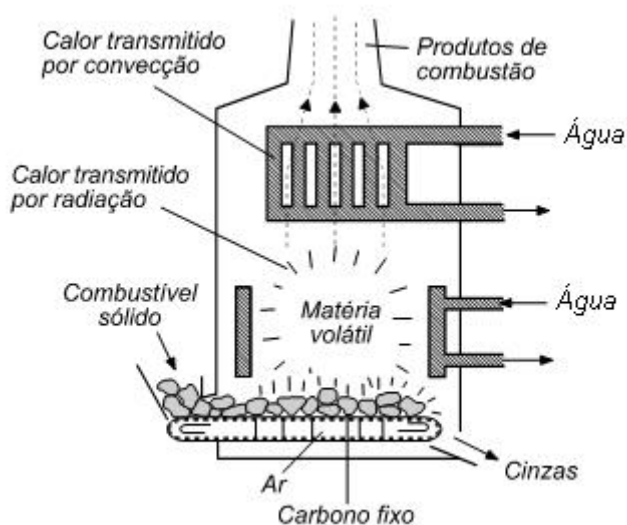


Figura 27 – Esquema de uma caldeira com combustão em grelha móvel.

As caldeiras deste tipo possuem capacidades relativamente pequenas e utilizam como combustível essencialmente resíduos florestais. A queima de combustíveis sólidos em grelha é praticada em Portugal, sendo a central termoelétrica de Mortágua, um dos exemplos mais notáveis. A combustão em grelha é amplamente aplicada na combustão de RSU. Na Europa aproximadamente 90% das instalações de queima de resíduos urbanos recorrem à combustão em grelha (BREF WI, 2005). Em Portugal, a Lipor II e a Valorsul utilizam esta tecnologia, a qual aparenta ser uma tecnologia particularmente atractiva para o caso do CDR.

5.3 COMBUSTÃO DE PARTÍCULAS EM LEITO FLUIDIZADO

A combustão de partículas em leito fluidizado é uma tecnologia particularmente adequada para a queima de combustíveis "pobres", isto é, com altos teores de inertes e baixo PCI, tais como carvões com altos teores de cinzas, resíduos agrícolas e urbanos, entre outros. A Figura 28 mostra esquematicamente uma caldeira com combustão em leito fluidizado. Neste processo, a queima do combustível, triturado em pedaços geralmente com dimensões inferiores a 8 mm, ocorre no seio de um leito de material inerte (areia, cascalho e também cinzas). O material inerte assenta numa base perfurada com muitos orifícios de pequena dimensão, através dos quais é injectado ar a uma velocidade tal que o leito e o combustível se mantêm em movimento permanente (leito fluidizado). Esta tecnologia proporciona intenso contacto entre o combustível e o ar de combustão de forma que quer as matérias voláteis quer o carbono fixo são queimados rapidamente, aquecendo todo o leito. As partículas finas, arrastadas pelos gases quentes, são recolhidas em equipamentos apropriados, tais como ciclones e precipitadores electrostáticos, à

semelhança do que acontece nas caldeiras com combustão de partículas em suspensão ou em grelha, enquanto que as partículas maiores, essencialmente constituídas por cinzas, são geralmente retiradas da caldeira imediatamente acima do leito, como mostra a Figura 28.

Importa ainda notar que, como os tubos de circulação de água estão colocados no leito (ver Figura 28), o contacto térmico com o material em constante movimento proporciona elevadas taxas de transferência de calor sem que seja necessário atingir as elevadas temperaturas exigidas nas caldeiras com combustão de partículas em suspensão ou em grelha. Este tipo de caldeiras opera tipicamente numa gama de temperaturas situada entre 800 e 1000 °C (na realidade, a temperatura de funcionamento da caldeira tem que ser inferior em cerca de 200 °C à temperatura de fusão das cinzas), o que inibe a formação de NO_x a partir do azoto atmosférico – o chamado NO térmico. Ainda no âmbito da formação e emissão de poluentes, esta tecnologia permite a captura eficaz de SO₂ à custa da adição de calcário ao leito. A principal desvantagem desta tecnologia reside nas grandes quantidades de cinzas geradas.

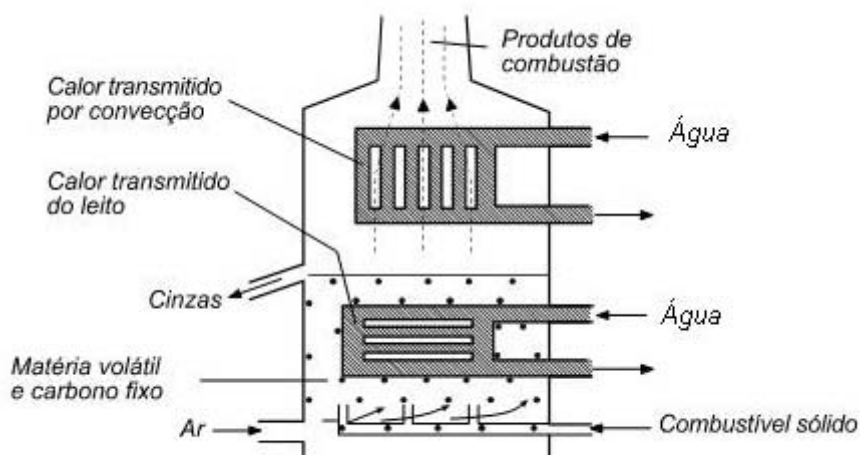


Figura 28 – Esquema de uma caldeira com combustão em leito fluidizado.

Refira-se, ainda, que existem dois tipos de caldeiras com combustão em leito fluidizado, a saber: leito fluidizado borbulhante (convencional) e leito fluidizado circulante. As caldeiras de leito fluidizado circulante possuem maior flexibilidade relativamente à qualidade do combustível. Neste tipo de caldeiras, em contraste com as de leito fluidizado borbulhante, após uma primeira passagem pelo leito, as partículas são recicladas, geralmente através de ciclones, de novo para o leito de forma que a eficiência de queima é maior – em particular, estas caldeiras são capazes de queimar eficientemente combustíveis com elevados teores de cinzas.

A Tabela 12 compara algumas das características principais dos processos de combustão de partículas em suspensão, em grelha e em leito fluidizado.

Tabela 12 – Comparação de algumas das características principais dos processos de combustão de partículas em suspensão, em grelha e em leito fluidizado.

Característica	Processo de combustão		
	Suspensão	Grelha	Leito fluidizado
Eficiência da combustão (%)	99	70-90	90-99
Eficiência térmica global (%)	35-45	25-35	40-55
Excesso de ar (%)	15-50	20-40	10-25
Granulometria do combustível (mm)	< 0.5	12-20	8
Temperatura de operação (°C)	1400-1700	1400-1700	800-1000
Emissões de NO _x	Alta	Alta	Baixa
Captura de SO _x (%)	-	-	80-90
“Turndown”*	5:1	3:1	3:1

* Relação entre a capacidade nominal e condição mínima de operação.

5.4 GASEIFICAÇÃO

A gaseificação é a conversão de um combustível sólido (e.g., biomassa) num combustível gasoso através da oxidação parcial da biomassa a temperaturas elevadas. O combustível gasoso contém normalmente os seguintes elementos (Belgiorno, 2003): CO₂, CO, H₂, CH₄, H₂O, pequenas quantidades de outros hidrocarbonetos, inertes presentes no agente de gaseificação, cinzas e partículas.

A grande vantagem da gaseificação relativamente à incineração advém da possibilidade de obter maiores eficiências eléctricas, dado que em grandes sistemas a geração de energia recorre a ciclos combinados com turbina a gás (Murphy e Mckeogh, 2004). Contudo, de acordo com a literatura da especialidade, a gaseificação apresenta ainda elevados custos.

O processo de gaseificação para ser eficiente exige uma adequada homogeneidade e elevado teor em carbono do combustível. Como tal muitos resíduos incluindo alguns tipos de CDR, não podem ser tratados pelo processo de gaseificação, sendo necessário recorrer a diferentes pré-tratamentos produzindo assim um combustível derivado de resíduos (Belgiorno, 2003).

Os principais tipos de gaseificadores são os seguintes:

- Gaseificador de leito móvel em contracorrente;
- Gaseificador de leito móvel em corrente paralela;
- Gaseificador de leito fluidizado.

Gaseificador de leito móvel em contracorrente

A Figura 29 mostra esquematicamente um gasificador de leito móvel em contracorrente. Neste tipo de gaseificador, o fluxo de combustível sólido ocorre em sentido contrário ao fluxo dos gases. As partículas de combustível sólido entram na parte superior do gaseificador e encontram-se com os gases quentes provenientes da zona inferior e, através de troca de calor sensível, a temperatura em redor das partículas aumenta.

O processo de gaseificação ocorre por etapas, como se mostra na Figura 29. Inicialmente as partículas são secas e, a uma determinada temperatura, os processos de pirólise iniciam-se, gerando os gases que ascendem até à sua superfície. Seguindo no sentido descendente, as partículas encontram-se com os gases de combustão e com o oxigénio, na proporção adequada para manter termicamente o processo. Nestas condições, ocorrem simultaneamente as reacções de oxidação e redução entre o sólido e a mistura gasosa presente. Finalmente, o gás formado nesta zona mistura-se com o produzido na zona superior aquando da pirólise, formando então a mistura final que sai pelo topo do gaseificador.

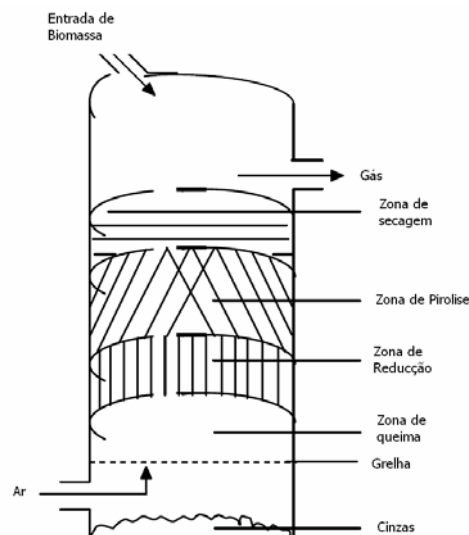


Figura 29 – Esquema de um gasificador de leito móvel em contracorrente.
Fonte: GASNET (2006).

Gaseificador de leito móvel em corrente paralela

A Figura 30 mostra esquematicamente um gasificador de leito móvel em corrente paralela. Este tipo de gasificador é de construção e operação relativamente simples. A sua principal vantagem é a produção de um gás com baixo teor de alcatrão e outros condensados.

Neste tipo de gasificador, o sentido do fluxo da biomassa e dos gases é o mesmo. As mesmas zonas descritas anteriormente para o leito móvel em contracorrente podem também ser distinguidas, embora a ordem em que sucedem seja ligeiramente diferente. As partículas entram no gasificador pela parte superior, sofrendo o processo de secagem e pirólise nas respectivas zonas. Estas zonas são essencialmente aquecidas à custa da radiação e, parcialmente, da convecção provenientes da zona de combustão, onde parte das partículas sólidas é queimadas. Os gases e o alcatrão continuam o seu caminho descendente chegando à zona de oxidação em que, uma parte deles é queimada, proporcionando a energia necessária para a manutenção do processo. Depois da zona de oxidação as restantes partículas e os produtos da combustão passam pela zona de redução onde ocorrem as reacções que dão origem a CO e H₂.

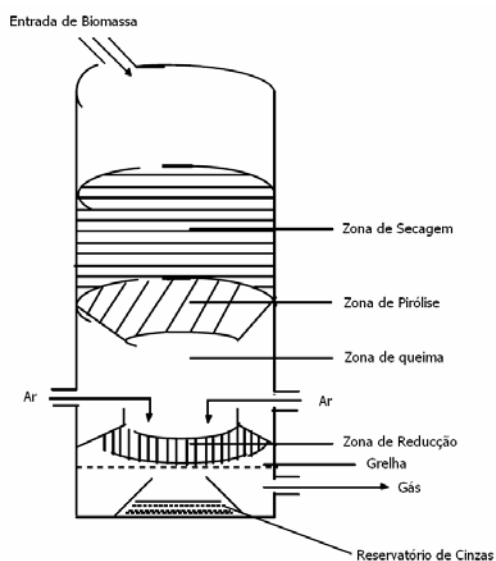


Figura 30 – Esquema de um gasificador de leito móvel em corrente paralela.
Fonte: GASNET (2006).

Gaseificador de leito fluidizado

A Figura 31 mostra esquematicamente um gasificador de leito fluidizado. Neste tipo de gaseificador não existem zonas distintas para que os diferentes processos ocorram. Os processos de secagem, pirólise, oxidação e redução ocorrem simultaneamente em todos os pontos do gaseificador. As partículas de combustível sólido são submetidas a todos os processos em qualquer ponto do gaseificador imediatamente após a entrada, coexistindo com os produtos da pirólise. As cinzas são arrastadas para fora do gaseificador à custa dos gases emergentes. Este tipo de gaseificador necessita de um projecto e operação mais cuidadosos e um controle mais preciso das condições de operação e admissão.

Um tipo de gaseificador amplamente utilizado é o de leito fluidizado circulante, no qual o leito se encontra em condições de rápida fluidização e os sólidos são arrastados, sendo recolhidos e recirculados. Nestas condições, o contacto sólido-gás é melhor que em outros regimes de fluidização. Além disso, a uniformidade alcançada com a temperatura e a composição do gás é maior que no leito fluidizado convencional. Em contrapartida, neste tipo de processo há um aumento de complexidade dos equipamentos e do seu funcionamento, e ainda um aumento de erosão e desgaste devido ao movimento dos sólidos se dar a uma velocidade superior.

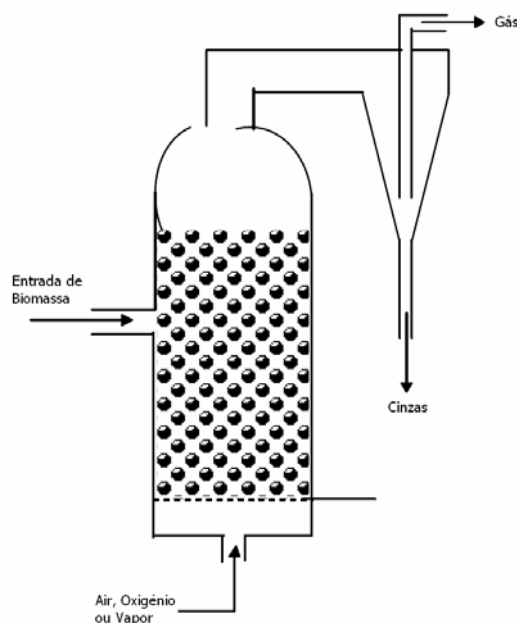


Figura 31 – Esquema de um gaseificador de leito fluidizado.
Fonte: GASNET (2006).

A Tabela 13 compara algumas das características principais dos processos de gaseificação em leito móvel e em leito fluidizado.

Tabela 13 – Comparação de algumas das características principais dos processos de gaseificação em leito móvel e em leito fluidizado.

Fonte: GASNET (2006).

Característica	Processo de Gaseificação	
	Leito móvel	Leito fluidizado
Granulometria do combustível (mm)	10-100	0-20
Teor em cinzas do combustível (%)	< 6	< 25
Temperatura de operação (°C)	800-1400	750-950
<i>“Turndown”</i>	4:1	3:1
Tempo de <i>“start-up”</i>	minutos	horas
Capacidade (MW _t h)	< 2,5	1-50
Teor em alcatrão (g/Nm ³)	< 3	< 5
PCI (MJ/Nm ³)	4,5	5,1

6 ESTADO DA ARTE

6.1 PRODUÇÃO DE CDR

Os países onde a produção de CDR está estabelecida são a Áustria, Finlândia, Alemanha, Itália, Holanda e Suécia. O CDR foi ainda produzido no passado, a partir de RSU, em França e na Dinamarca mas, por razões económicas, esta produção foi cessada (Gendebien *et al.*, 2003), sabendo-se que estes países ainda hoje incineram grande quantidade de RSU. Quanto ao Reino Unido, existe relato de diversas unidades que estiveram activas nos anos 90 e que entraram em remodelação, de forma a superar algumas dificuldades ambientais e técnicas (WRT/Cardiff School of Engineering, 2004).

Na Finlândia, o CDR é produzido a partir de RSU separados na fonte, resíduos do comércio e da indústria e resíduos da construção e demolição. Na Suécia são separadas do RSU as fracções com maior poder calorífico. Na Holanda, o CDR é na sua maioria produzido a partir de plástico e papel separado do RSU. Na Áustria, Alemanha e Itália o CDR é produzido em larga escala em UTMB para resíduos de diferentes fontes (RSU, resíduos de madeira, resíduos do comércio, industriais, lamas de ETAR, etc.). Na Alemanha e Itália existem ainda instalações onde se efectua o processo de estabilização seca. No Reino Unido, o CDR é produzido pelo processo de TMB de RSU e ainda das fracções secas, separadas na fonte, que não podem ser reprocessadas pelas indústrias (Gendebien *et al.*, 2003).

6.1.1 O caso finlandês

A Finlândia incinera, actualmente, aproximadamente 1500000 t de RSU na única incineradora dedicada existente no país. Cerca de 300000 t/ano de CDR são co-incineradas em mais de 20 instalações de média e larga escala com produção de electricidade e calor (Wilén *et al.*, 2004).

O sistema de gestão de resíduos e produção de CDR finlandês é baseado numa prática e eficiente separação na fonte dos resíduos.

Composição dos resíduos

Na Finlândia, o RSU compreende três fracções principais; i) os resíduos domésticos, ii) os resíduos de lojas, escritórios e empresas e, ainda, iii) os resíduos de pequenas indústrias, que estão incluídos na rede de recolha de resíduos. A Tabela 14 resume as principais características da parte combustível destas fracções, como se observa com a tecnologia actualmente disponível,

é obtido um CDR de melhor qualidade a partir de resíduos comerciais, face ao obtido a partir de resíduos domésticos.

Tabela 14 – Propriedades típicas das várias fracções de RSU na Finlândia.

Fonte: Wilen *et al.* (2004).

Parâmetro	Resíduos comerciais	Resíduos da construção	Resíduos domésticos
PCI (MJ/kg)	16-20	14-15	13-16
Humidade (% peso seco)	10-20	15-25	25-35
Cinzas (% peso seco)	5-7	1-5	5-10
Enxofre (% peso seco)	< 0,1	< 0,1	0,1-0,2
Cloro (% peso seco)	< 0,1-0,5	< 0,1	0,3-1,0

Separação na fonte

Diferentes esquemas de recolha selectiva são aplicados em diferentes cidades por razões históricas e locais. Nas zonas urbanas recolhem-se tipicamente papel, biodegradáveis e resíduos secos. Poderá ainda haver a combinação com a recolha selectiva de vidro e metais. Noutras zonas apenas se separam os resíduos secos dos húmidos. Ainda assim, a fracção seca apresenta um conteúdo em biodegradável de quase 30% e cerca de 15% de outras impurezas (cloro, metais alcalinos, alumínio, etc.).

Como já foi referido no sub capítulo 3.1 (Tabela 1), o sistema normativo finlandês introduz 3 classes de CDR, de acordo com a sua qualidade. A Tabela 15 apresenta as características de cada uma das classes. Complementarmente à definição da classe de qualidade do CDR, outras características e valores limite (ex: outras propriedades do combustível, teor em metais pesados, constituintes nocivos, etc.) do combustível podem ser acordadas num contrato celebrado entre o produtor e utilizador, de acordo com um contrato normalizado incluído na especificação padrão.

Processamento do CDR

À semelhança do caso português, a responsabilidade da gestão dos resíduos é do produtor, ou do detentor devidamente qualificado para tal, a quem os resíduos tenham sido entregues para correcta gestão.

É das fracções de resíduos comerciais, industriais e de demolição que é mais fácil remover o conteúdo em impurezas como o alumínio ou o PVC. Este tipo de resíduos pode ser processado obtendo-se um CDR de classe I. Subsidiariamente, o processamento deste tipo de resíduos não requer equipamento complexo. A combinação entre uma eficiente separação na fonte e o processamento simples em fragmentadores, crivos e separadores magnéticos é geralmente o suficiente para a obtenção de um CDR de boa qualidade (Wilén *et al.*, 2004).

Tabela 15 – Classes de qualidade do CDR, de acordo com o manual de garantia de qualidade finlandês.

Fonte: Wilén *et al.* (2004).

Parâmetro	Âmbito de aplicação	Unidade (em peso seco)	Precisão do relato	Classes de qualidade		
				I	II	III
Cloro	¹⁾	% (m/m) ²⁾	0,01	< 0,15	< 0,50	< 1,50
Enxofre	¹⁾	% (m/m) ²⁾	0,01	< 0,20	< 0,30	< 0,50
Azoto	¹⁾	% (m/m) ²⁾	0,01	< 1,00	< 1,50	< 2,50
Potássio e Sódio ³⁾	¹⁾	% (m/m) ²⁾	0,01	< 0,20	< 0,40	< 0,50
Alumínio	¹⁾	% (m/m) ²⁾	0,01	⁴⁾	⁵⁾	⁶⁾
Mercurio	¹⁾	mg/kg	0,1	< 0,1	< 0,2	< 0,5
Cádmio	¹⁾	mg/kg	0,1	< 1,0	< 0,4	< 5,0

- 1) O valor limite refere-se a uma quantidade de combustível de 1000 m³ ou uma quantidade de combustível produzida ou entregue durante um mês, e que deverá ser verificado, pelo menos, com essa frequência.
- 2) % (m/m) refere-se à percentagem em massa.
- 3) Conteúdo total (K+Na) de uma proporção de matéria seca solúvel em água e que permita troca iónica.
- 4) Alumínio metálico não é autorizável, mas é aceite dentro dos limites da precisão de relato.
- 5) O alumínio metálico é removido por separação na fonte e pelo processo de produção de combustível.
- 6) O conteúdo de alumínio metálico é acordado separadamente.

Para o processamento de CDR derivado de RSU são necessárias instalações de processamento mais complexas, sendo a separação dos biodegradáveis e finos essencial. Existem cerca de 20 instalações de recuperação/separação na Finlândia e pequenas instalações onde é feita a fragmentação de resíduos industriais e comerciais que são combustíveis (Wilén *et al.*, 2004).

Produção de CDR a partir de RSU

A produção de CDR a partir de RSU é geralmente, uma operação que requer instalações com maior complexidade. Inclui normalmente operações como a fragmentação, separação magnética, triagem, separação de metais por campos eléctricos, separação pneumática e óptica. O propósito é a separação das impurezas (tipicamente biodegradáveis, vidro, metais, alumínio, PVC) bem como possibilitar a produção de um CDR de boa qualidade, a utilizar em caldeiras de leito

fluidizado com recuperação de energia. Estas instalações apresentam tipicamente uma capacidade anual de 40000 toneladas (Wilen *et al.*, 2004).

O CDR de alta qualidade (classe I) pode também ser produzido a partir de resíduos comerciais. Do seu processamento excluem-se frequentemente as operações de triagem e pré moagem pois os resíduos tem baixo conteúdo em biodegradáveis e finos. A Figura 32 resume o diagrama de processo típico de uma instalação de produção de CDR a partir de resíduos domésticos e comerciais na Finlândia.

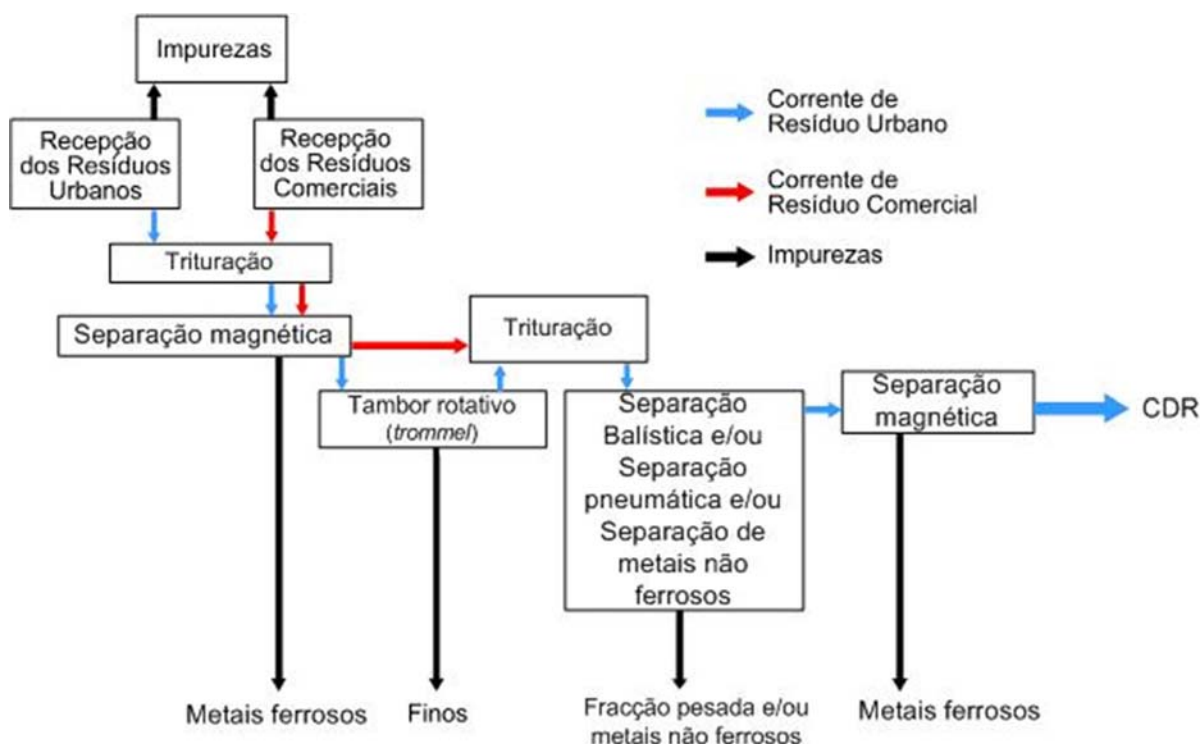


Figura 32 – Diagrama de processo de uma instalação típica de produção de CDR a partir de resíduos domésticos e comerciais na Finlândia.

Fonte: Wilen *et al.* (2004).

Produção de CDR a partir de resíduos comerciais

As instalações de produção de CDR a partir de resíduos comerciais (sobretudo embalagens) são geralmente, do ponto de vista técnico, mais simples do que as instalações que processam resíduos domésticos. A qualidade do CDR produzido é igualmente melhor, normalmente de classe I ou II. Estas instalações incluem geralmente um ou dois fragmentadores, separadores magnéticos e, eventualmente, um separador por campos eléctricos para metais não ferrosos. Estas instalações produzem geralmente pouca quantidade de resíduos últimos e têm uma contribuição

activa na separação para reciclagem, dado que os subprodutos das várias fases de tratamento mecânico são recicláveis (Wilén *et al.*, 2004).

O combustível assim produzido apresenta um valor médio de tamanho de partícula abaixo dos 50 mm, tem um elevado conteúdo energético, de 16 a 20 MJ/kg, e um baixo teor de humidade de 10 a 20% (Wilén *et al.*, 2004).

Produção de CDR a partir de resíduos da construção e demolição (RCD)

No caso presente existe um importante contributo dado pela separação na fonte. Madeira, terra, pedras grandes, resíduos metálicos e perigosos são separados nos estaleiros, com diferentes destinos, de acordo com o diploma legal finlandês para RCD (*Finnish Act on building and construction waste*). Actualmente, os resíduos de madeira, papel e cartão e plásticos de resultantes da construção e demolição são crescentemente utilizados para produção de energia em vez de serem depositados em aterro. Estas fracções são tratadas em instalações específicas, concebidas para este tipo de resíduos, que incluem uma triagem manual, destinada à remoção de pedras, metais (cobre, etc.) e plásticos duros (PVC). Esta triagem precede a fragmentação. Os finos são removidos através de crivos (Wilén *et al.*, 2004).

Produção de pellets a partir dos resíduos

A fracção seca e energética dos resíduos sofre uma fragmentação primária, passa por separação magnética, peneiros e crivos, sofre uma fragmentação secundária, secagem, separação por correntes de ar e segue para o “peletizador”. Por fim têm lugar as operações de arrefecimento e separação de poeiras/partículas (Wilén *et al.*, 2004). A Figura 33 apresenta o caso de uma instalação e a Tabela 16 reúne as especificações do combustível obtido nesta instalação.

Tabela 16 – Propriedades dos *pellets* produzidos na instalação Ewapower, Finlândia.
Fonte: Wilen *et al.* (2004)

Parâmetro	Valor	Unidade
Humidade	<6	% (m/m)
PCI	21	MJ/kg base seca
Conteúdo em cinzas	7-10	% (m/m) base seca
Matéria volátil	80	% (m/m) base seca
Cloro	0,4	% (m/m) base seca
Enxofre	0,13-0,2	% (m/m) base seca
Sódio	0,2	% (m/m) base seca
Potássio	1,7	% (m/m) base seca
Alumínio	0,8	% (m/m) base seca

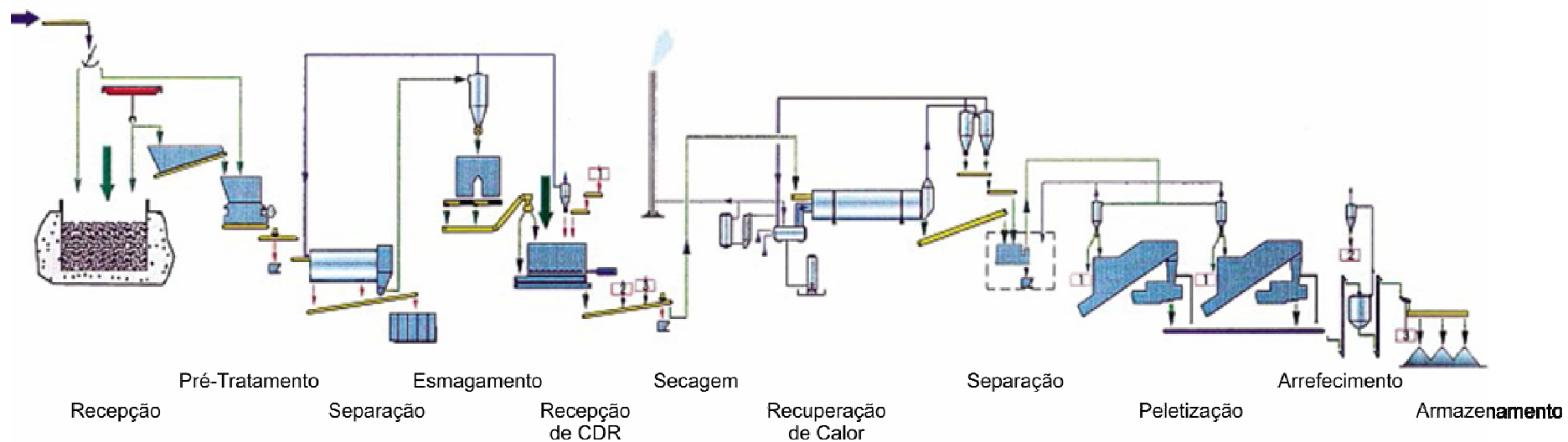


Figura 33 – Esquema do funcionamento da instalação Ewapower Oy, Finlândia.
Fonte: Wilen *et al.* (2004).

Produção de CDR a partir de resíduos industriais

As indústrias da fileira florestal e as indústrias da embalagem produzem algumas fracções não recicláveis como papel, plástico e madeira que são geralmente fragmentados nas próprias instalações e co-incinerados nas instalações associadas. A qualidade deste CDR é geralmente alta, classe I, como resultado de uma boa separação na fonte (Wilén *et al.*, 2004).

6.1.2 O caso italiano

A separação na fonte

Em Itália, o sistema de recolha aposta em três principais fracções: os resíduos recicláveis, os resíduos orgânicos e os resíduos indiferenciados. Assim, a separação na fonte encontra-se simplificada e reduzida a três recipientes. Este sistema é denominado por recolha diferenciada multimaterial (em oposição ao monomaterial onde se individualizam os vários fluxos de materiais como vidro, plástico, papel, etc.) (De Maio e Testai, 2003).

Com a recolha diferenciada multimaterial a gestão dos resíduos na fonte pelo produtor é claramente mais prática e fácil. A existência de apenas dois contentores (não contando com os orgânicos) para pôr resíduos recicláveis e não recicláveis aumenta o sucesso da separação na fonte na medida em que é fácil e intuitiva a separação (De Maio e Testai, 2003).

De acordo com a Agência para a Protecção do Ambiente italiana, foi possível constatar que (De Maio e Testai, 2003):

- Existe uma necessidade irrefutável de fomentar a separação das fracções húmida e seca logo na fonte;
- A actividade de separação e gestão do saco seco indiferenciado (que não é orgânico nem reciclável), quando bem planeada gera valor económico;
- Quanto ao saco de recicláveis, a percentagem de recuperação ascende a 83% face a 17% de CDR com um PCI em torno dos 20 MJ/kg;
- A utilização de CDR com cerca de 20 MJ/kg permite a geração de energia eléctrica à taxa de 1,16 MWh/t_{CDR};
- No mercado dos certificados verdes (energia a partir de renováveis) a utilização de CDR é geradora de mais valias dado que é aplicável uma mais-valia de 100 €/MWh gerado.

Produção de CDR directamente associada à utilização

A *Lomellina Energia Recycling* é uma fábrica localizada em Parona (vila da província de Pavia), a cerca de 30 km de Milão. A central energética iniciou a sua actividade em Julho de 2000, requerendo um investimento de 130 milhões de Euros. Esta instalação é considerada pioneira na Europa pois tem competências nas seguintes áreas:

- Recuperação de matérias recicláveis e produção de CDR.
- Produção de adubos agrícolas.
- Geração de electricidade.

A Figura 34 mostra o diagrama de funcionamento da instalação.

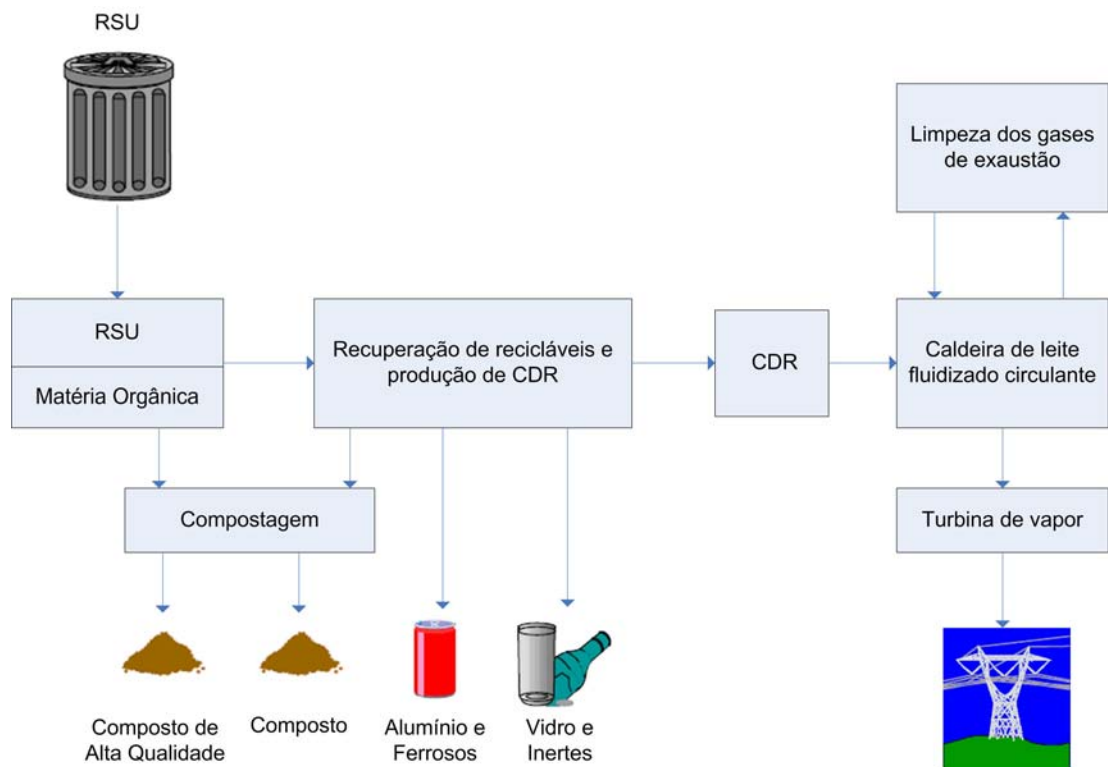


Figura 34 – Diagrama de funcionamento de Lomellina.
Adaptado de Foster Wheeler (2006).

A instalação foi projectada para processar anualmente cerca de 200000 toneladas de RSU, obtendo-se cerca de 120000 t/ano de CDR (ver Figura 34). Tem uma potência útil de 17 MW e vende a electricidade à ENEL através de um contrato válido para 15 anos. Durante os primeiros 8 anos de actividade, a tarifa eléctrica inclui um incentivo, uma vez que a energia produzida através de resíduos é considerada uma fonte renovável. Em adição á venda de electricidade, o RSU é

também uma fonte de lucro pois, um acordo assinado com a província de Pavia, aponta a unidade de Lomellina como a responsável pela gestão do RSU dos 96 municípios da província. Este acordo obriga também os municípios a entregar os seus resíduos a esta empresa de tal forma que, com cada um dos municípios, foram assinados acordos do tipo *put-or-pay*. Este acordo implica que, caso os municípios não entreguem a quantidade acordada, serão forçados a pagar uma multa previamente acordada.

A instalação de preparação do CDR iniciou a sua actividade em Dezembro de 1999, sete meses antes da entrada em funcionamento da central de valorização energética associada, com a função de assegurar destino ao RSU, dada a situação de emergência vivida pelo distrito devida ao encerramento do aterro sanitário. A composição média dos resíduos sólidos urbanos recebidos está resumida na Tabela 17.

Tabela 17 – Composição média do RSU do projecto Lomellina.
Fonte Foster Wheeler (2006).

Material	% mássica
Resíduos alimentares	20
Papel e cartão	27,5
Plásticos	13,5
Têxteis	3,5
Metais	3,5
Madeira	3,5
Resíduos de jardins	7,5
Vidro	8,0
Refugo	5,0
Outros resíduos	8,0
PCI	9,2 MJ/kg

Os resíduos são entregues em camiões de carga e posteriormente despejados em contentores, suficientemente grandes para responder a 3 dias de entregas normais. O sistema de reciclagem e produção de CDR consiste em 3 linhas, cada uma (ver Figura 35) com uma capacidade de 25 t/h de RSU, funcionando em dois turnos com 7 horas cada um, 6 dias por semana. Uma das linhas é independente e pode ser dedicada ao processamento de RUB de recolha selectiva com produção de composto de boa qualidade.

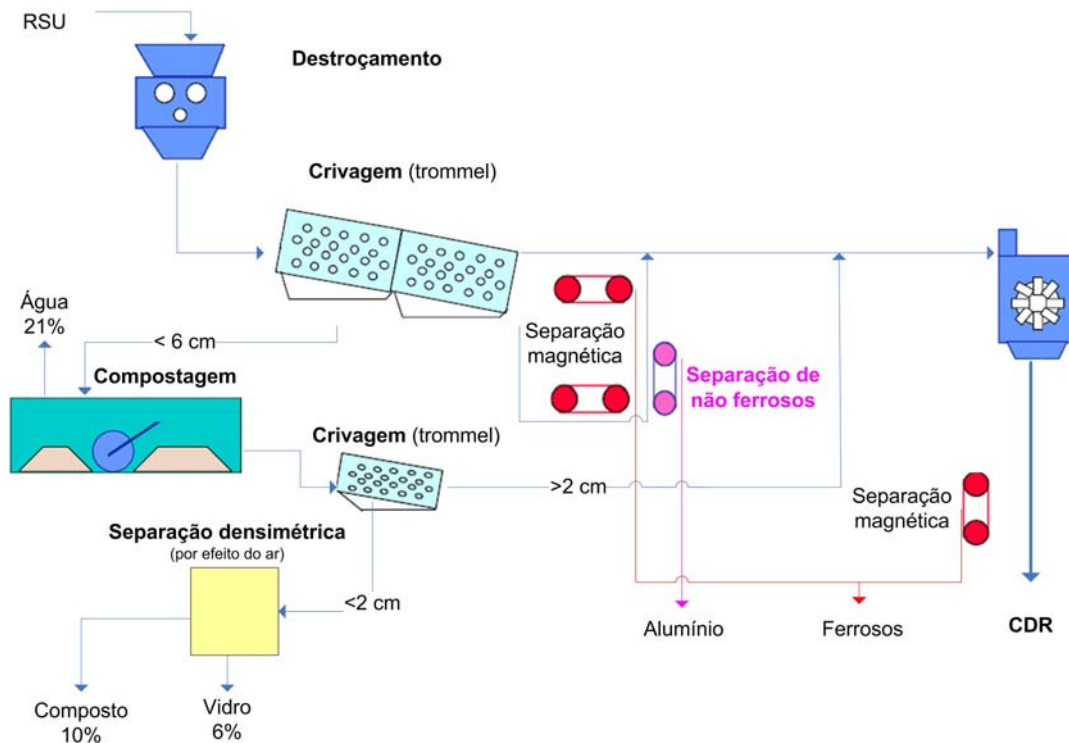


Figura 35 – Esquema de funcionamento das linhas de produção de CDR. Adaptado de Foster Wheeler (2006).

Após o primeiro destroçamento o RSU sofre uma crivagem onde se separam:

- Uma fracção rica em orgânicos (<60 mm);
- Uma fracção rica em metais (60-120 mm);
- Uma fracção rica em combustíveis (>120 mm).

Os moinhos de martelos reduzem o material a tamanhos inferiores a 90 mm e estão localizados fora do edifício de processamento, em *bunkers* com protecção contra incêndios e com sistemas de supressão, de modo a evitar explosões. O CDR é armazenado num edifício à parte, com capacidade de acomodar CDR suficiente para alimentar a caldeira durante 3 dias. No caso de densificação do CDR a capacidade do edifício de armazenamento aumenta para 6 dias. O CDR produzido apresenta as seguintes características (Foster Wheeler, 2006):

- Conteúdo orgânico (material putrescível) 15% em peso, no máximo;
- Tamanho da partícula 98% menor que 90 mm;
- Inertes 2% em peso, no máximo.

A fracção rica em orgânicos é compostada e o processo dura cerca de 1 mês, e ocorre em ambiente depressivo pelo que o ar é tratado com recurso a biofiltros. O estabilizado sofre crivagem

e as partículas maiores que 20 mm, consistindo sobretudo em papel e plástico, são reintroduzidas na corrente de CDR. O composto de baixa qualidade, resultante da estabilização do RSU pode ser armazenado como composto ou introduzido na corrente de CDR (Foster Wheeler, 2006).

Produção de CDR de elevado poder calorífico

Esta é uma das áreas de actuação da Pirelli com 2 instalações de produção de CDR a partir de RSU e com incorporação de pneus usados, borrachas e/ou plásticos.

Tomando o exemplo da instalação I.D.E.A. GRANDA, em Roccavione (Cuneo), esta funciona em parceria com a A.C.S.R., um consórcio municipal que é responsável pela gestão de uma UTMB. A UTMB é responsável pela separação da fracção seca e pelo tratamento da fracção orgânica dos resíduos. Nas instalações da I.D.E.A. GRANDA é produzido CDR de alta qualidade, conforme as Figuras 36 e 37, a partir da fracção seca do RSU (rejeitados e refugos da UTMB), resíduos de plástico não clorados e pneus em fim de vida. O CDR obtido apresenta estabilidade e um PCI perto do do carvão. Este CDR está protegido por patentes no que concerne os seus métodos de produção e utilização, certificados pelos fabricantes de caldeiras e pela Agência Italiana para a Energia e o Ambiente (ENEA) (Pirelli Ambiente, 2005). Este CDR é depois incorporado numa cimenteira, levando à substituição em 8% do seu consumo de coque de petróleo. O diagrama de fluxos de produção deste CDR de alta qualidade encontra-se na Figura 37.

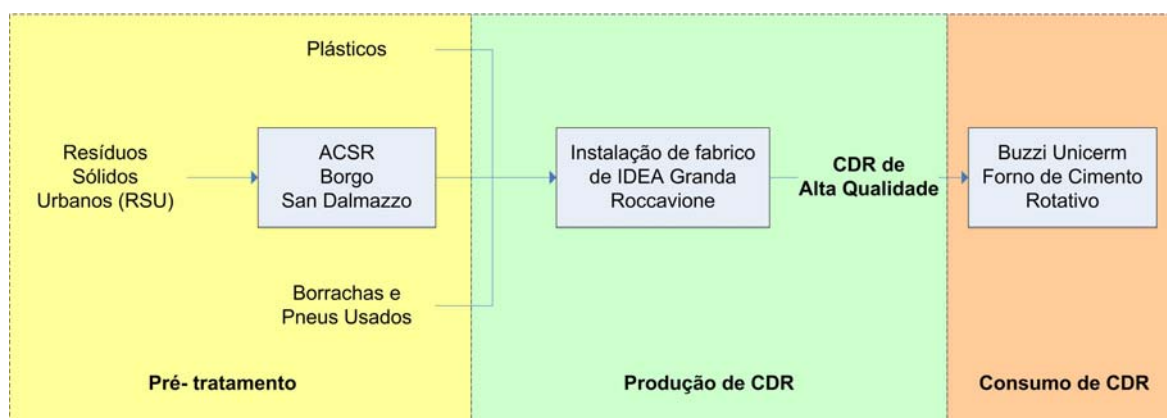


Figura 36 – Funcionamento da unidade I.D.E.A. GRANDA em Roccavione, Itália.

Fonte: Pirelli Ambiente (2005).

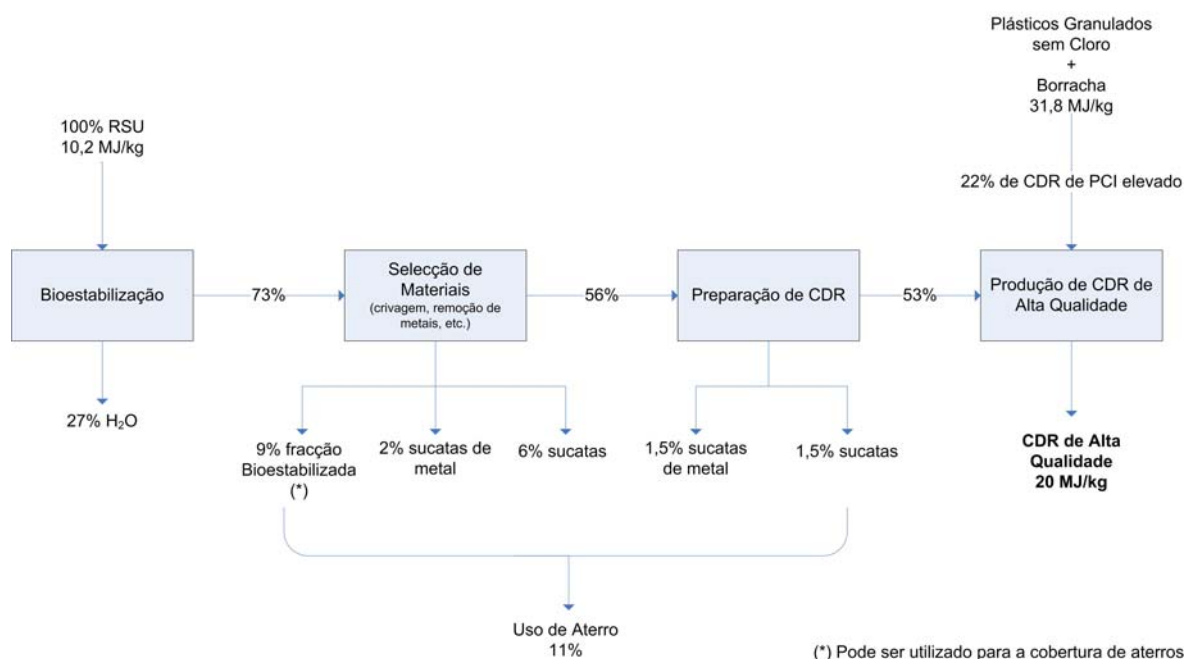


Figura 37 – Diagrama de fluxos da produção de CDR de alta qualidade na unidade I.D.E.A. GRANDA em Rocavione, Itália.

Fonte: Pirelli Ambiente (2005).

Apresenta-se na Tabela 18 as principais características do CDR de alta qualidade comparativamente ao CDR de qualidade normal, cujos métodos de produção e utilização estão também patenteados pela Pirelli Ambiente.

Tabela 18 – Especificações dos tipos de CDR produzidos segundo os processos patenteados pela Pirelli Ambiente.

Fonte: Pirelli Ambiente (2005).

Especificações		CDR (alta qualidade)	CDR (qualidade normal)
PCI	MJ/kg	> 20	> 15,5
Humidade	%	< 18	< 25
Cinzas	%	< 15	< 20
Cloro	%	< 0,7	< 0,9
Enxofre	%	< 0,3	< 0,6

Produção de CDR a partir de RSU

A unidade de Pieve de Corano que é uma unidade de TMB com produção de CDR.

Iniciou a sua operação em 2003 e é explorada da SIEM – Societa Intercomunale Ecologica Mantovana SpA. É uma unidade de compostagem e de produção de CDR com uma capacidade de processamento de 80000 t/ano.

A Figura 38 ilustra o diagrama de fluxos da unidade.

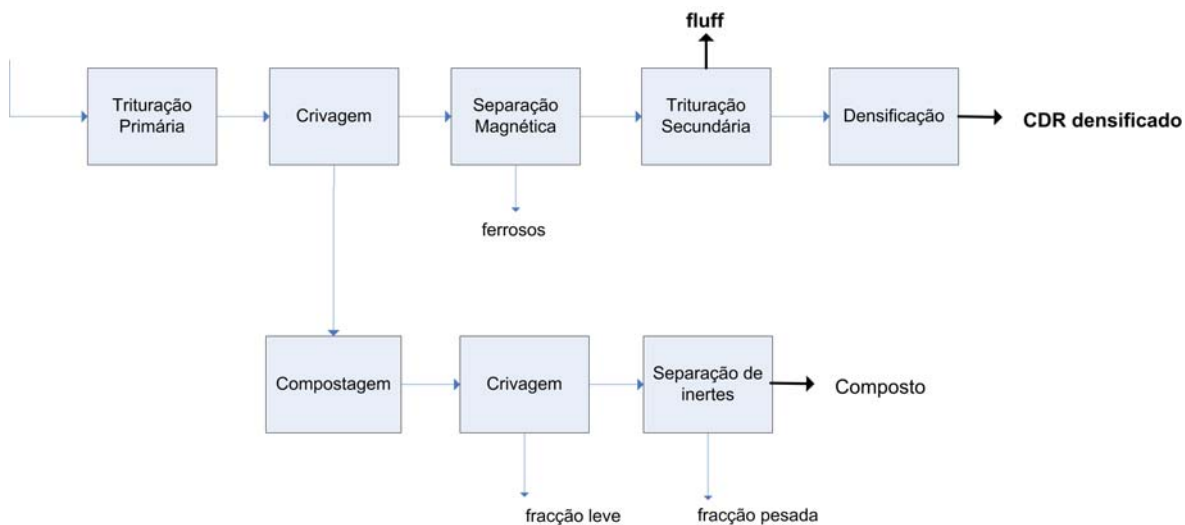


Figura 38 – Diagrama de fluxos da unidade de TMB com produção de CDR em Pieve de Corano, Itália. Adaptado de ECOMASTER (2006).

O RSU é alimentado a um destroçador de veio duplo. O material processado segue para um *trommel*, ou crivo de tambor rotativo, que separa os resíduos em dois fluxos com diferentes tamanhos de partículas. O material de pequenas dimensões, contendo uma grande quantidade de componentes orgânicos segue para compostagem. Simultaneamente, material de maiores dimensões passa por um separador magnético seguindo para um destroçador secundário que é sucedido por um separador de metais não ferrosos.

O material triado é então homogeneizado e comprimido sendo produzido CDR densificado. O seu destino final é a indústria, onde é utilizado como combustível alternativo para a geração de calor e electricidade (ECOMASTER, 2006).

A unidade de Massafra é exclusivamente destinada à produção de CDR densificado. É explorada pela CISA SpA e processa determinados fluxos de resíduos equiparados a urbanos e industriais

não perigosos bem como a fracção leve da triagem do RSU. Iniciou a sua operação em 2003 e apresenta uma capacidade de 90000 t/ano.

A Figura 39 ilustra o diagrama de fluxos inerente da unidade.

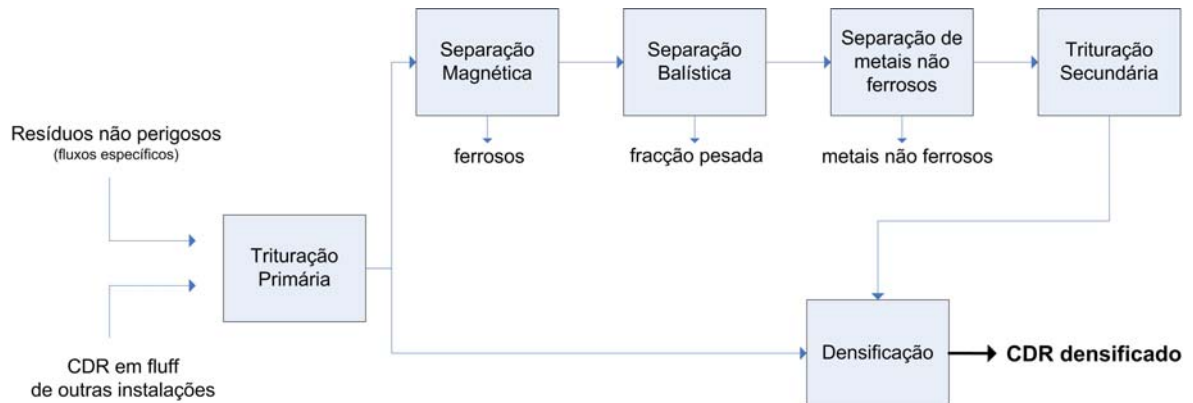


Figura 39 – Diagrama de fluxos da unidade de produção de CDR densificado em Massafra, Itália. Adaptado de ECOMASTER (2006).

Numa primeira fase o material é processado num destroçador de baixa velocidade, a seguir a uma triagem prévia onde os materiais não destroçáveis são removidos. Depois, um separador magnético remove os metais ferrosos e os resíduos seguem para dois separadores balísticos que removem os inertes pesados e separam o material destinado à produção de CDR. Este material é novamente destroçado por dois destroçadores em paralelo. Segue-se a fase de densificação. Esta instalação também recebe RDF produzido noutras instalações para densificar (ECOMASTER, 2006).

6.1.3 O caso alemão

Em 2004, a Alemanha apresentava alguma relutância à construção de novas instalações de combustão dedicada de CDR (FICHTNER UK, 2004). Estavam em construção algumas destas instalações, de forma a cumprir as metas da Directiva Aterros em 2005.

Uma fracção considerável das UTMB alemãs foi projectada com o objectivo de separar a fracção com maior potencial calorífico do RSU produzindo um CDR cujo destino ainda não está assegurado. A indústria cimenteira alemã tem fortes compromissos com outros fluxos de resíduos pelo que a oportunidade da sua exploração para incorporação de CDR se encontra limitada (FICHTNER UK, 2004).

As centrais termoeléctricas a carvão alemãs não estão ainda a absorver quantidades significativas de CDR e existe a sensação de que nunca o farão dados os problemas que se verificam ao nível da corrosão e fuligem nas caldeiras bem como as alterações no nível de qualidade das cinzas (FICHTNER UK, 2004).

Uma possibilidade que a Alemanha explora actualmente é a de conversão de algumas centrais de combustão dedicada de biomassa para a utilização de CDR. Dado que existe alguma falta de biomassa de origem vegetal e que estas instalações estão equipadas para o cumprimento dos requisitos preconizados na legislação sobre co-incineração, não seriam necessárias alterações significativas para a utilização de CDR (FICHTNER UK, 2004).

6.2 UTILIZAÇÃO DE CDR

Os parágrafos seguintes apresentam os exemplos mais notáveis de unidades que utilizam CDR em vários locais do mundo, particularmente na Europa.

6.2.1 Leito fluidizado, Lommelina, Itália

A Lomellina Energia Recycling é uma fábrica localizada em Parona (vila da província de Pavia) na Itália, a cerca de 30 km de Milão, que está associada a uma unidade de produção de CDR, como descrito em 6.1.2..

A unidade de produção de energia consiste numa caldeira de combustão em leito fluidizado circulante. Esta tecnologia foi adoptada devido ao seu bom desempenho em ambientes inertes. A Figura 40 mostra esquematicamente a caldeira e o sistema de limpeza de gases. A capacidade nominal da caldeira é de 19 t/hora de CDR com um PCI de 12,8 MJ/kg sendo, todavia, possível operar com combustíveis com PCI entre 10,5 -16,7 MJ/kg.

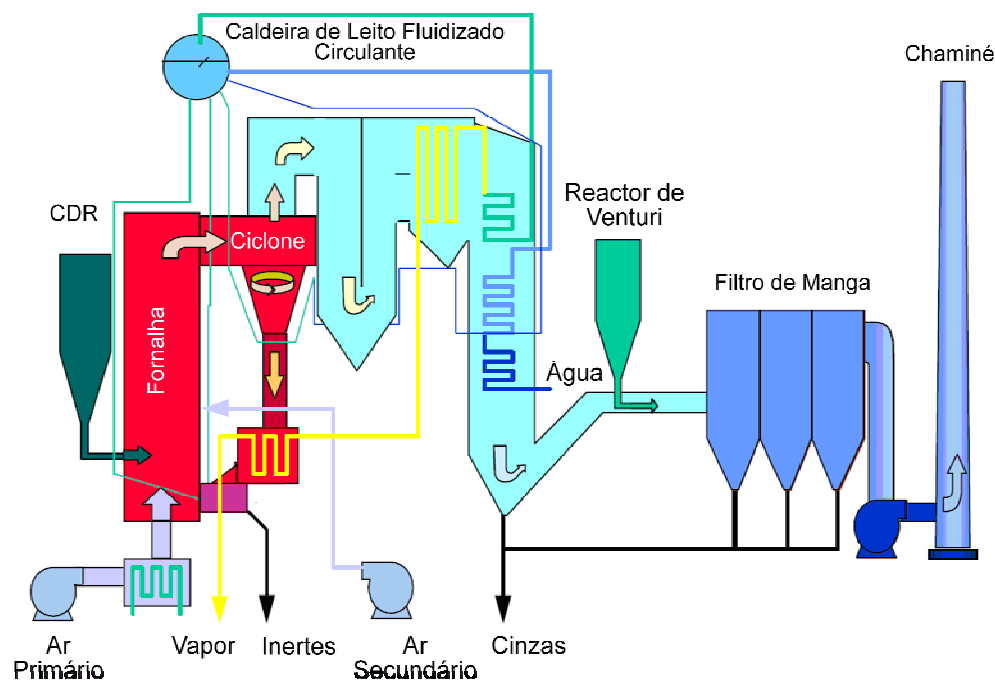


Figura 40 – Esquema da caldeira e do sistema de limpeza de gases da unidade de Lomellina. Adaptado de Foster Wheeler (2006).

6.2.2 Leito fluidizado, Valdemingomez-Madrid, Espanha

A unidade de incineração de Valdemingomez, nos arredores de Madrid (Figura 41), cuja entrada em funcionamento ocorreu em 1997, é composta por 3 linhas idênticas, cada uma com capacidade de 220 t/dia para um CDR com um poder calorífico de 14,65 MJ/kg. As caldeiras de leito fluidizado borbulhante conduzem à produção de vapor e electricidade conforme se apresenta na Tabela 19.

Tabela 19 – Características da produção da unidade de Valdemingomez.

Fonte: Tirmadrid (2006).

Produção de vapor total	123 t/h
Temperatura do vapor	425 °C
Pressão de vapor	47 bar
Electricidade produzida	29 MW
Electricidade exportada	23 MW

O custo da central foi de 100 milhões de Euros dos quais 80% foram aplicados na estação de tratamento térmico e os restantes 20% na recuperação de resíduos. Os custos de operação e manutenção anuais, incluído o envio das cinzas para aterro são de 10,7 milhões de Euros, o que corresponde a um custo específico de 24.2 € por tonelada de RSU (Granatstein, 2004).

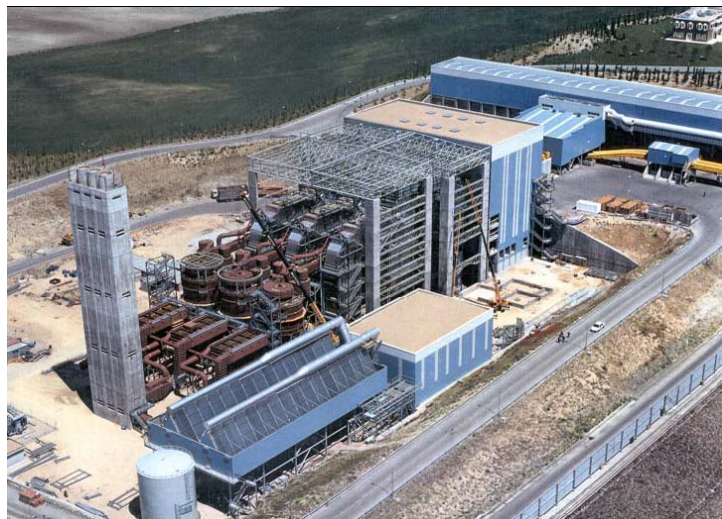


Figura 41 – Vista aérea da unidade de Valdemia Gomez na sua fase final de construção.
Fonte: Tirmadrid (2006).

6.2.3 Leito fluidizado, Dundee, Escócia

A Dundee Energy Recycling foi a primeira instalação do Reino Unido a utilizar a tecnologia de leito fluidizado borbulhante para tratamento térmico de resíduos (Figura 42). A tecnologia foi fornecida pela Balfour Beatty/Kvaerner EnviroPower em Abril de 2000 (Granatstein, 2004).

Esta instalação tem uma capacidade de processamento de, aproximadamente, 120000 t/ano de RSU separado na fonte proveniente dos concelhos de Dundee e Angus (270000 habitantes) e alguns resíduos hospitalares do Greater Glasgow Health Board. O RSU é pré processado, obtendo-se um CDR isento de metais ferrosos e não ferrosos, recuperados, enquanto que os resíduos hospitalares são processados e tratados isoladamente (Granatstein, 2004).

A instalação possui duas caldeiras de 17 MW cada, dimensionadas para um caudal de CDR de 8 t/h com um PCI médio de 10 MJ/kg, permitindo obter eficiências térmicas da ordem de 89%, com produção de vapor a 40 bar e 400 °C.

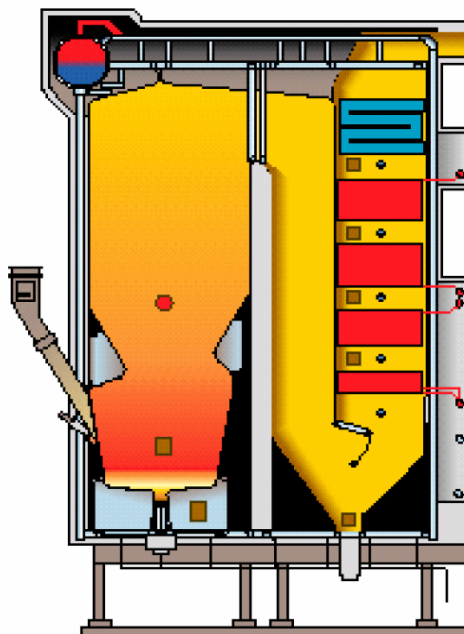


Figura 42 – Caldeira de leito fluidizado da unidade de Dundee.
Fonte: Kvaerner (2004).

A turbina de condensação foi fornecida pela empresa Austrian Energy & Environment e a sua instalação incluiu a opção de exportar futuramente o vapor para um processo industrial próximo. O gerador da ABB tem uma potência de 10,5 MW_e, sendo 2,2 MW_e utilizados para consumo próprio e os restantes 8,3 MW_e exportados para a rede. O custo de construção da instalação foi de 44,4 milhões de Euros e os custos específicos de manutenção e operação são de 24,8 €/t (Granatstein, 2004).

6.2.4 Leito fluidizado, Valene, França

A *Valene Waste Recovery Facility* fica situada em Valene, França e é propriedade da *Generis*. A unidade foi concebida em 1993, após se concluir que o uso contínuo dos aterros era inaceitável do ponto de vista ambiental.

Esta unidade é constituída por 3 incineradores e utiliza caldeiras de leito fluidizado borbulhante do tipo L4F patenteadas pela CERHAR e construídas pela TMC. A Tabela 20 apresenta alguns dados de funcionamento da incineradora.

Tabela 20 – Características da produção da unidade de Valdene.

Fonte: Granatstein (2004).

Pressão de vapor	39 bar
Temperatura do vapor	390 °C
Caudal de vapor por caldeira	34,5 t/h
Eficiência eléctrica	17,7% (até 1999) 24,7% (depois de 2001)
Electricidade produzida (1999)	7,4 MW

O custo total desta central foi de 39,7 milhões de Euros, tendo 13,5 milhões sido financiados pelo ADEME. Os custos de operação e manutenção, em 1999, eram de 99 €/t de RSU, mas com as modificações efectuadas em 2001 os custos passaram a 60 €/t de RSU (Granatstein, 2004).

6.2.5 Co-combustão, Lahti, Finlândia.

Um exemplo interessante de co-combustão é a unidade de cogeração de Kymijäry, a qual produz electricidade e calor para a cidade de Lahti na Finlândia. Tendo funcionado com carvão, como combustível principal, e gás natural até 1997 foi instalado um gaseificador de biomassa/CDR.

O processamento de CDR foi iniciado também em 1997 por uma companhia municipal de tratamento de resíduos (Päijät-Hämeen Jätehuolto). O combustível composto por 5-15% de plásticos, 20-40% de papel, 10-30% de cartão e 30-60% de madeira, sendo também adicionados pneus usados. A gaseificação é feita num gaseificador de leito fluidizado fornecido pela Foster Wheeler. A temperatura de operação do reactor situa-se tipicamente entre os 800 e 1000 °C, dependendo do combustível (Wilén *et al.*, 2004).

Para a utilização de combustíveis especiais, como é o caso do CDR, a grelha de distribuição do ar e o sistema de extracção de cinzas foram desenhados em separado, devido à possibilidade de existência de impurezas sólidas.

O gás produzido pelo gaseificador (Figura 43) é alimentado através de um pré aquecedor para dois queimadores situados abaixo dos queimadores de carvão, como se pode observar na Figura 44. Durante o ano de 1998, o combustível utilizado possuía uma humidade excessiva (45 a 58%) e, como consequência deste facto, o gás produzido tinha um baixo valor de PCI, cerca de 1,6-2,4 MJ/Nm³. A Tabela 21 mostra a percentagem volúmica dos constituintes do gás.

Tabela 21 – Composição média do gás produzido na unidade de Lahti.

Fonte: Ranta e Wilen (2002).

Componente do gás	Quantidade (%)
CO ₂	12,9
CO	4,6
H ₂	5,9
C _x H _y	3,4
N ₂	40,2
H ₂ O	33,0

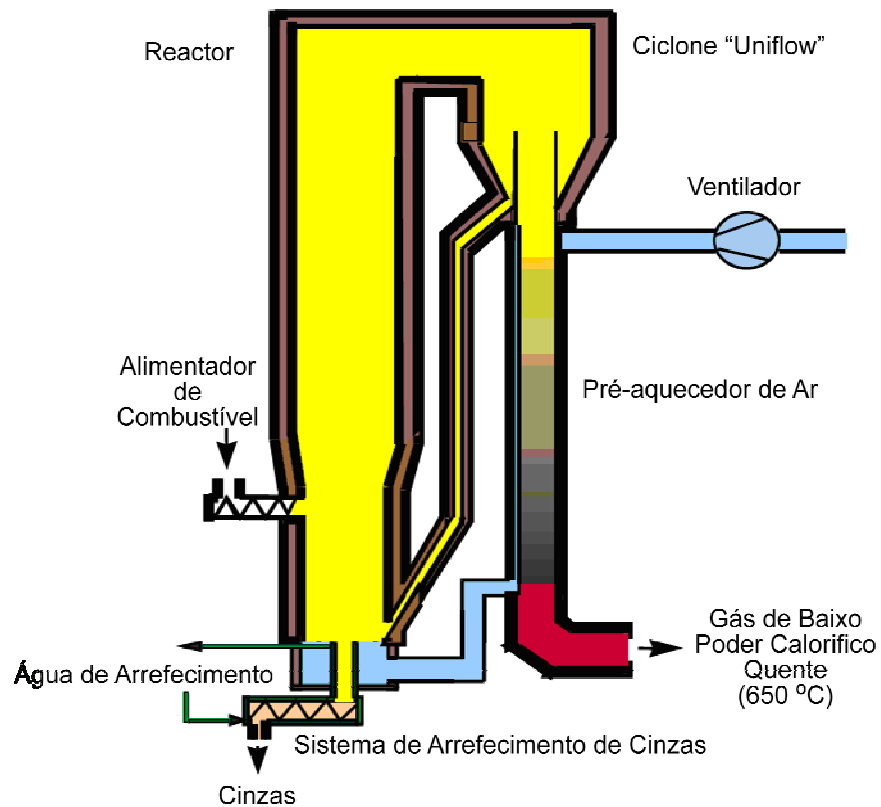


Figura 43 – Gaseificador de leito fluidizado da unidade de Lahti.

 Fonte: Wilen *et al.* (2004).

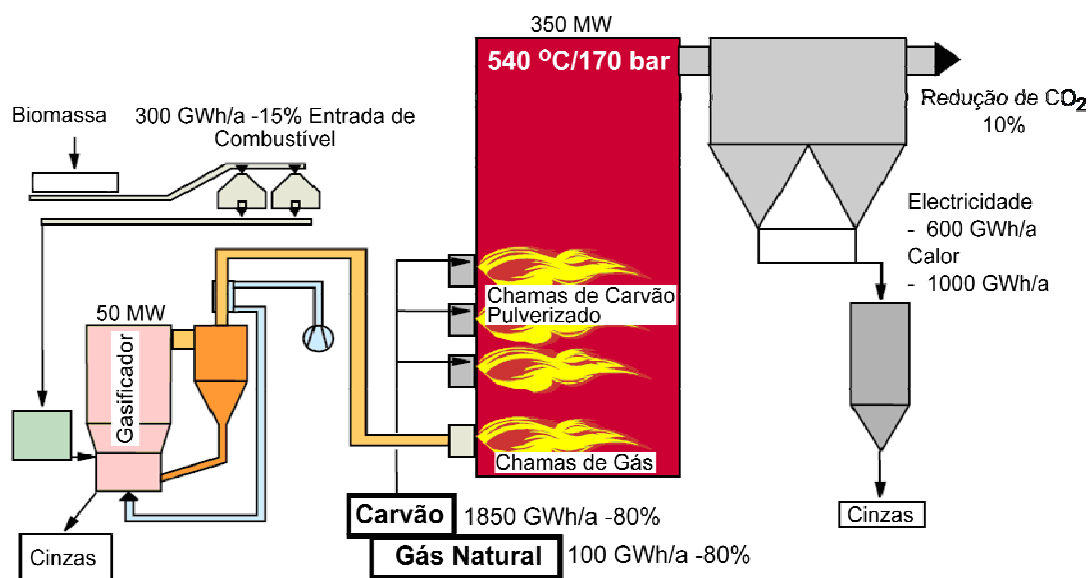


Figura 44 – Esquema geral da unidade de Lahti.
Fonte: Ranta e Wilen (2002).

O investimento inicial foi de 12 milhões de Euros. O projecto recebeu um apoio de cerca de 3 milhões de Euros, suportado pelo programa THERMIE da UE.

6.2.6 Co-incineração, Weisweiler, Alemanha

De forma a incentivar o uso de CDR na Grécia estão a ser feitos ensaios numa Central Termoeléctrica de Carvão, em Weisweiler (Figura 45), a cerca de 50 km de Colónia, na Alemanha, ao abrigo do projecto RECOFUEL financiado pela UE. Esta central, propriedade da RWE, possui 6 unidades com uma capacidade total de 2060 MW_e. Destas, duas com uma potência de 600 MW_e cada, utilizam actualmente lamas da produção de papel (Kakaras, 2005).

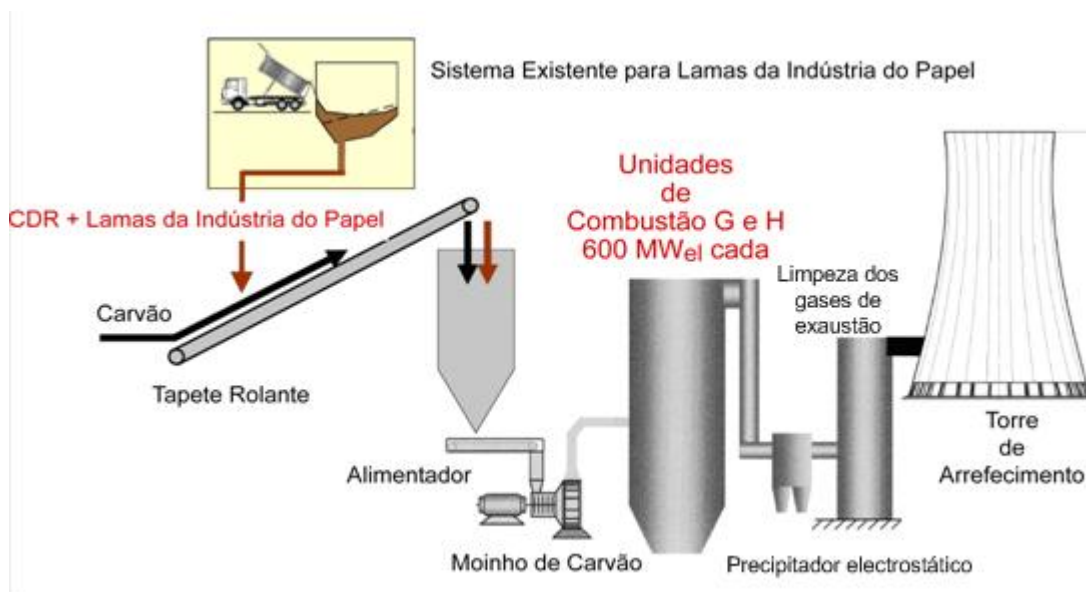


Figura 45 – Esquema da unidade de Weisweiler.
Fonte: Kakaras (2005).

Os testes foram agendados em duas etapas. A primeira, de apenas 24h foi preparada e conduzida em Julho de 2004. Este primeiro teste centrou-se principalmente no manuseamento do combustível, no seu armazenamento e na sua alimentação à caldeira, tendo dado também as primeiras indicações em relação à ignição, eficiência global da combustão e nível de emissões.

A quantidade de CDR utilizada em relação à potência térmica foi inicialmente de 2% sendo posteriormente aumentada até 8,5%, de forma a ser possível detectar algumas restrições mesmo durante a curta duração do teste (Kakaras, 2005).

O CDR é produzido pela REMONDIS (coordenadora do projecto RECOFUEL). Esta empresa produz dois tipos de CDR de alta qualidade, a saber: o BPG[®], derivado de resíduos industriais, e o SBS[®], derivado de RSU. A produção de SBS[®] é baseada em métodos de separação positiva, onde apenas uma pequena quantidade de resíduo é utilizada – cerca de 30% (em massa) do RSU. Este método garante que a qualidade do combustível é adequada.

Os testes de 2004 decorreram sem nenhum problema grave de operação, tendo sido registadas as seguintes observações: (Kakaras, 2005):

- Em relação ao descarregamento do SBS[®], a ausência de vento no dia dos testes facilitou o processo. Contudo, para uma correcto descarregamento deverá ser construído um pára-vento, uma vez que o CDR é do tipo *fluff*.

- Foram observados alguns entupimentos no sistema de transporte para o alimentador, devido à baixa densidade do SBS[®] (100 kg/m³ inicialmente e 250 kg/m³ depois de comprimido).
- Durante o teste foi também observado um ligeiro aumento na produção de energia, uma vez que o poder calorífico da mistura foi aumentado.
- Não foram verificadas alterações nas emissões de poluentes.
- Depois do teste foram observadas algumas deposições de alumínio no moinho de carvão, o que se deveu ao teor em alumínio do SBS[®].

Embora este teste tenha dado indicações positivas quanto ao uso de SBS[®], foi necessário efectuar testes adicionais de maior duração, tentando investigar, entre outros, o fenómeno da corrosão. À data da realização do presente relatório ainda não foram publicados os resultados desses testes adicionais.

6.2.7 Gaseificação, Grève-en-Chianti, Itália

Nos anos 90 foi implementada uma unidade de gaseificação de CDR em Grève-en-Chianti em Itália (Figura 46), a qual foi fundada pelos municípios em redor da cidade de Florença. A instalação está equipada com dois gaseificadores de leito fluidizado circulante, cada um de 15 MW alimentado 100 toneladas de CDR por dia.

Os dois gaseificadores funcionam alternadamente com para alimentar a caldeira. Uma vez que a quantidade de gás produzida é superior à utilizada pela caldeira, o excesso é transportado para uma fábrica de cimento próxima, através de gasodutos. Embora economicamente a produção de electricidade seja mais favorável, as vendas de gás fornecem flexibilidade operacional e, ao mesmo tempo, asseguram o uso das *pellets* produzidas.

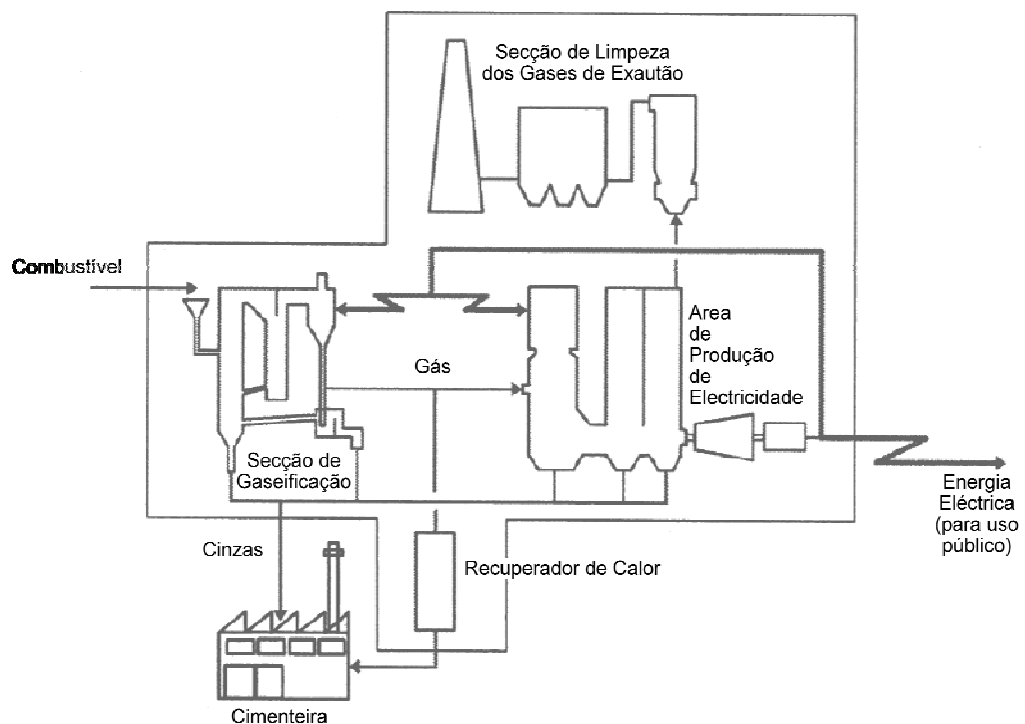


Figura 46 – Esquema unidade de gaseificação de CDR em Grève-en-Chianti.
Fonte: Granatstein (2003).

O CDR é produzido numa unidade em Case Passerini, construída com o propósito de alimentar Greve. Aqui os *pellets* são armazenados em 4 silos de aço com capacidade para 80 toneladas. A Tabela 22 resume as principais características do CDR consumido nesta unidade italiana.

Tabela 22 – Características das *pellets* de CDR.

Fonte: Granatstein (2003).

Característica	Valor
Diâmetro (mm)	10-15
Comprimento (mm)	50-150
Densidade típica (kg/m ³)	500-700
PCI (MJ/kg)	17,2
Matéria volátil (%)	71,1
Humidade (típica) (%)	6,5
Carbono fixo (%)	11,4
Enxofre (%)	0,5
Cloro (%)	0,4-0,6
Total de não combustíveis (%)	11

A Tabela 23 apresenta as principais características do gás produzido pelo gaseificador e utilizado para produção de energia.

Tabela 23 – Características do gás combustível produzido em Greve-en-Chianti.

Fonte: Granatstein (2003).

Componente	Volume (%)	% do PCI
CO ₂	15,65	0
N ₂ +ar	45,83	0
CO	8,79	34,9
H ₂	8,61	22,5
CH ₄	6,51	12,8
C _x H _y	4,88	29,7
H ₂ S	48,61 ppm	0,05
H ₂ O	9,48	0
Outros	0,14	Desprezável
Total	100	7,53 MJ/Nm ³

Desde a sua abertura, a unidade de Gréve já operou durante cerca de 5000 horas, produzindo 6200 MWh de energia eléctrica. Em adição, foram produzidos cerca de 4 milhões de Nm³ de gás

para a fábrica de cimento. A eficiência de conversão dos gaseificadores variou entre 85 e 95%, com um consumo de 2-3,9 t/h de *pellets* de CDR.

O investimento inicial foi de aproximadamente 20 milhões de Euros. Contudo, problemas ao nível da caldeira ditaram a compra de uma nova caldeira e de um sistema avançado de limpeza de gás, que custaram 9,7 milhões de Euros.

Para a potência nominal de 6,7 MW_e, e assumindo 5% da produção para alimentação dos dispositivos auxiliares, obtém-se um custo específico de investimento de cerca de 4666 Euros/kW. Embora o custo específico seja elevado, devem ser feitas duas considerações. Em primeiro lugar, se a caldeira e o sistema de limpeza de gás tivessem sido projectados convenientemente, os custos seriam inferiores. Em segundo lugar, os custos assumidos têm em conta um gaseificador suplente que, embora não necessário, deverá passar a funcionar regularmente quando se instalar um sistema de ciclo combinado (turbina a gás e turbina a vapor) e, assim, produzir uma maior quantidade de energia, baixando o custo específico (Granatstein, 2003).

A Tabela 26 resume as principais características das instalações apresentadas acima, incluindo custos.

6.2.8 Co-incineração em cimenteiras

Os dados disponíveis na literatura relativamente à utilização de CDR em cimenteiras são escassos certamente devido a razões de competitividade nesta fileira industrial em que o custo da energia é decisivo. Em particular, não foi possível encontrar detalhes sobre nenhum caso específico de utilização de CDR em cimenteiras europeias.

Saliente-se que, de acordo com a Associação Europeia de Cimenteiras (CEMBUREAU), os seus membros consomem anualmente o equivalente a 25 milhões de toneladas de carvão pelo que se conclui que o potencial de utilização de CDR por parte das cimenteiras europeias é elevado.

Embora algumas destas unidades fabris se tenham inicialmente mostrado relutantes em recorrer a combustíveis de substituição, como é o caso do CDR, sobretudo devido a potenciais impactes na produção e qualidade dos seus produtos finais, rapidamente se aperceberam que a única forma de competir com empresas que utilizam combustíveis de substituição era também introduzi-los no seu consumo energético (Archer *et al.*, 2005b).

Assim, de acordo com dados de Julho de 2003 (Gendebien *et al.*, 2003), a Tabela 24 lista o número de utilizadores por país e respectivas quantidades utilizadas de CDR derivado de RSU, no qual se incluem os refugos das unidades de triagem/reciclagem de plástico, papel e cartão, em cimenteiras.

Tabela 24 – Cimenteiras europeias utilizadoras de CDR derivado de RSU.

Fonte: Gendebien *et al.* (2003).

País	Nº de Utilizadores	Quantidade de CDR (t/ano)
Bélgica	1	15000
Dinamarca	1	2600
Itália	5	300000
Holanda	1	7000*

* Pellets produzidos a partir de refugos das unidades de triagem/reciclagem de plástico, papel e cartão

Atente-se, agora, na Tabela 25, a qual lista o número de cimenteiras, por país, utilizadoras de CDR derivado de resíduos industriais não perigosos.

Tabela 25 – Cimenteiras europeias utilizadoras de CDR derivado de resíduos industriais não perigosos.

Fonte: Gendebien *et al.* (2003).

País	Nº de Utilizadores
Áustria	10
Bélgica	9
Dinamarca	1
Finlândia	1
França	23
Alemanha	31
Itália	5
Luxemburgo	1
Holanda	1
Portugal	1
Espanha	11
Suécia	3
Reino Unido	9

As Tabelas 24 e 25 parecem revelar que as cimenteiras se mostram mais receptivas ao uso de CDR derivado de resíduos industriais comparativamente ao CDR derivado de RSU provavelmente porque o primeiro apresenta maior facilidade de manuseamento e maior PCI (Archer *et al.*, 2005b).

De acordo com os dados da WBCSD (2005) verificou-se, em 2001, que num consumo de cerca de 3500 kt de combustíveis sólidos de substituição nas cimenteiras, apenas 1% é relativo a CDR (ver Figura 47). No entanto, se analisarmos a origem dos outros combustíveis de substituição facilmente se verifica que estes, actualmente, poderão ser integrados no conceito mais lato e, simultaneamente específico de CDR se, previamente processados em conjunto, garante da sua qualidade segundo as normas já apresentadas.

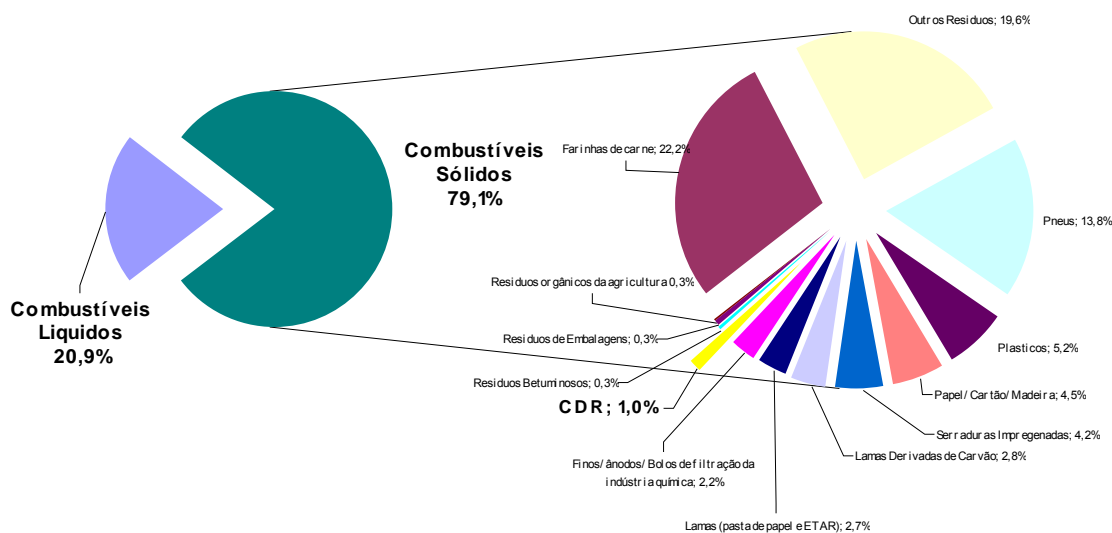


Figura 47 – Tipologia dos resíduos que integravam os combustíveis sólidos de substituição na indústria cimenteira europeia em 2001.

Fonte: WBCSD (2005).

Refira-se, finalmente, que no Japão foi possível apurar que a cimenteira de Tsukumi na ilha de Kyushu utiliza CDR como combustível de forma a reduzir não só o consumo de combustíveis fósseis como também as emissões de CO₂ (Maekawa, 2002).

É interessante constatar que o Ministério do Ambiente Japonês proibiu a construção de novas incineradoras com capacidades inferiores a 100 t/dia por forma a incentivar o uso de CDR e reduzir as emissões de dioxinas (Maekawa, 2002).

Tabela 26 – Principais características das instalações consideradas.

Localização da Central	Tecnologia	Combustível	PCI	Produção de Energia	Custo de Construção	Custos operacionais	Ano de referência	Motivação para a sua construção
Lomellina Itália	Leito fluidizado circulante	120000 t _{CDR} /ano	12,8 MJ/kg	17 MW _e	130 M€	Não disponíveis	2000	Encorajamento por parte das directivas europeias Preço do combustível
Grève-en-Chiati Itália	Gaseificador de leito fluidizado	100 t _{CDR} /dia por gaseificador	17,2 MJ/kg	1,24 MW _e + 4x10 ⁶ Nm ³ de gás	29,6 M€	Não disponíveis	1998	Recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos
Lahti Finlândia	Gaseificador de leito fluidizado	CDR representa 15% da carga térmica	1,6-2,4 MJ/Nm ³	1100 GWh _e + 1200 GWh _t	12 M€ (inclui apenas o custo das modificações)	Não disponíveis	1998	Utilização de uma fonte de combustível inesgotável.
TirMadrid Espanha	Leito fluidizado borbulhante	260000 t _{CDR} /ano	14,65 MJ/kg	29 MW _e	100 M€	24,2 €/t	1997	Redução da quantidade de resíduo encaminhado para aterro Lucros da venda de energia
Dundee Escócia	Leito fluidizado borbulhante	120000 t _{CDR} /ano	10 MJ/kg	10,5 MW _e	44 M€	24,8€/t	2000	Redução de emissões, de forma a conseguir corresponder aos novos limites
Valene França	Leito fluidizado borbulhante	71000 t _{CDR} /ano	n.d.	7,4 MW _e	39,7 M€	60 €/t	Valores esperados para 2001	Redução da quantidade de resíduo encaminhado para aterro Lucros da venda de energia

M€ = milhões de Euros

7 O CASO PORTUGUÊS: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CDR

7.1 PRODUÇÃO DE CDR - SITUAÇÃO ACTUAL

Em Portugal, não existe ainda produção de CDR a partir de RSU. No entanto existem 4 UTMB em funcionamento, cujo resíduo processados é RSU indiferenciado. A sua existência visa sobretudo a valorização da fracção orgânica dos resíduos, existindo paralelamente uma melhoria do esforço de reciclagem da região que é servida na medida em que os resíduos são sujeitos a um tratamento prévio à deposição em aterro. As unidades são:

- Central de compostagem da Amave, situada no norte de Portugal, na zona do Vale do Ave;
- Central de compostagem da AZC (anterior Cova da Beira), situada no centro interior de Portugal, na zona do Fundão;
- Central de compostagem da AMTRES, situada na região de Lisboa, na zona de Oeiras/Cascais;
- Central de compostagem da AMARSUL, situada na região de Lisboa, na zona de Setúbal.

A Figura 48 mostra a sua localização e respectiva área de intervenção.

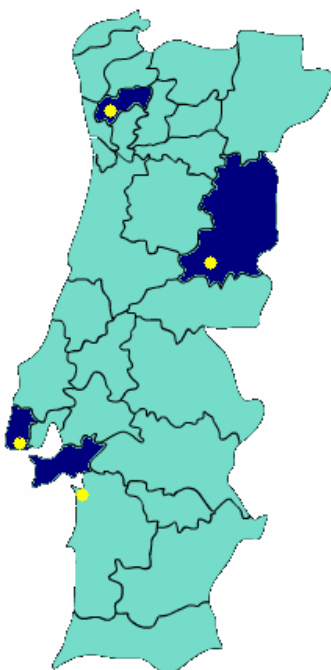


Figura 48 – Centrais de compostagem em exploração em Portugal Continental, processando RSU de recolha indiferenciada.

Analisando os diagramas de fluxos apresentados nas Figuras 49 a 52, verifica-se que os processos utilizados são similares aos processos utilizados nas unidades de produção de CDR com prévia estabilização biológica, *i.e.*, processo de estabilização seca (ver capítulo 4) no caso da Amave, e TMB no caso das restantes unidades, com produção de CDR a partir de RSU com baixo teor de matéria orgânica.

As fracções de rejeitados obtidos em cada um dos processos são actualmente enviados para aterro mas constituem a base para um futuro CDR.

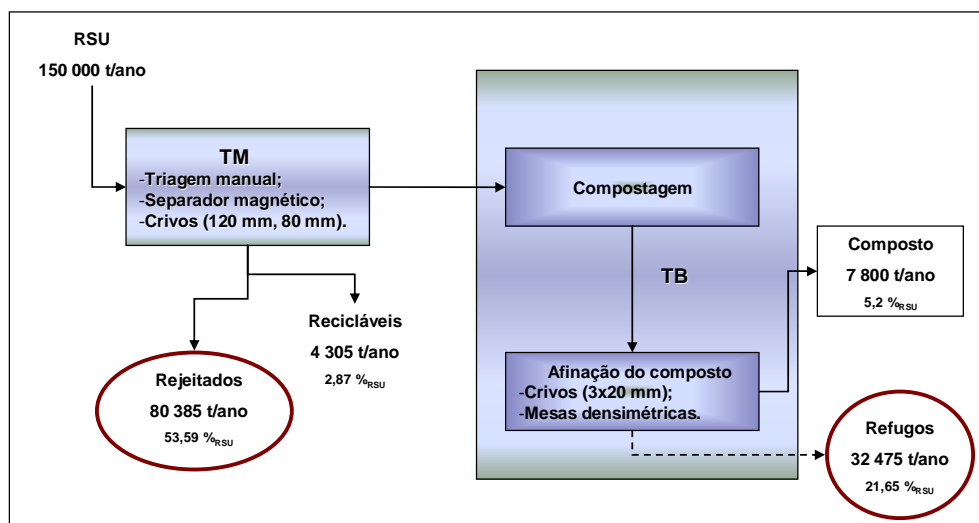


Figura 49 – Diagrama simplificado da UTMB da AMTRES.
Fonte: CEBQ (2006).

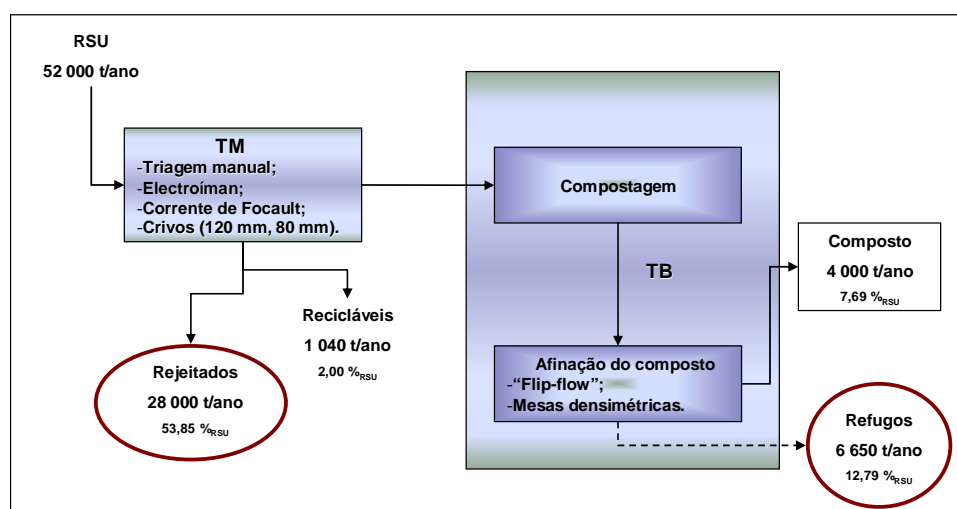


Figura 50 – Diagrama simplificado da UTMB da AMARSUL.
Fonte: CEBQ (2006).

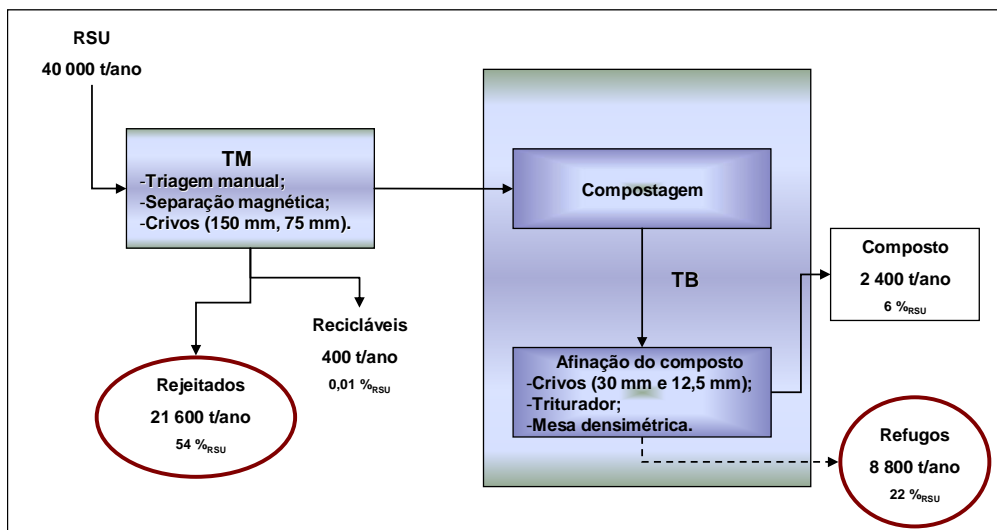


Figura 51 – Diagrama simplificado da UTMB da COVA DA BEIRA.
Fonte: CEBQ (2006).

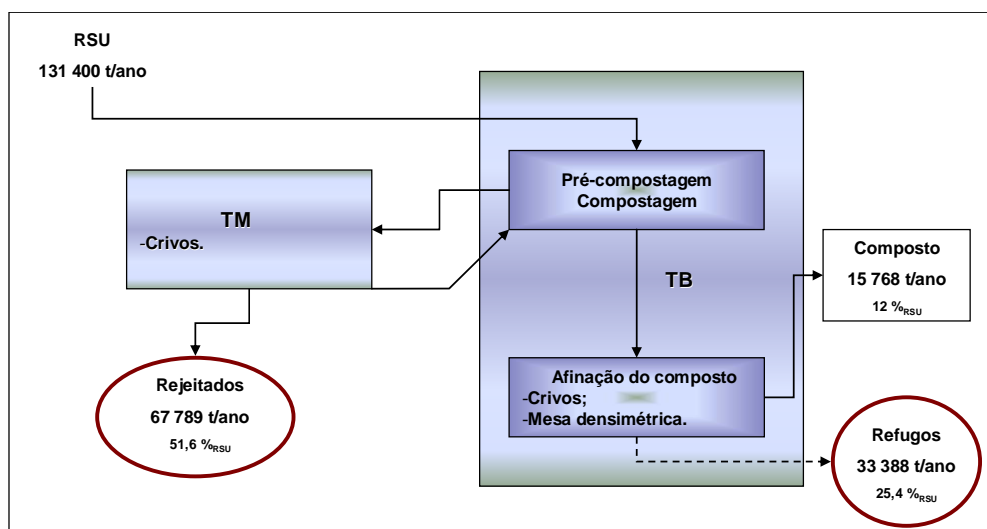


Figura 52 – Diagrama simplificado da UTMB da AMAVE.
Fonte: CEBQ (2006).

7.2 PRODUÇÃO DE CDR – SITUAÇÃO FUTURA

A produção de CDR estimada nos cenários a seguir apresentados baseou-se nos pressupostos que de seguida se enunciam.

7.2.1 Produção de RSU em Portugal Continental

Para a avaliação da viabilidade da utilização de CDR de RSU em Portugal foi necessário estimar a produção de RSU nos próximos anos, de forma a poder estimar o potencial de produção de CDR.

Considerou-se que existirá, nos próximos anos, um aumento da produção de RSU que poderá ser modelado segundo um cenário moderado (ou conservativo) ou linear (de crescimento).

O cenário conservativo tem em conta um contexto de crescimento económico moderado, acompanhado com um esforço de redução da produção de resíduos, pelo que se espera que as quantidades de RSU a gerar no período 2007-2013 sejam da mesma ordem de grandeza da quantidade actualmente gerada.

O cenário de crescimento linear apenas faz sentido num contexto de franco desenvolvimento económico, mas que simultaneamente não tem em conta esforços para a redução dos quantitativos a gerar.

A Tabela 27 resume os quantitativos esperados de RSU a produzir em Portugal Continental no período 2007-2013, segundo os dois modelos de crescimento.

Tabela 27 – Quantitativos de RSU esperados para Portugal Continental no período 2007-2013.

Previsão de crescimento da produção de RSU (10 ⁶ t)		
Ano	Cenário conservativo	Cenário de crescimento
2007	4,70	4,93
2008	4,72	5,01
2009	4,73	5,08
2010	4,75	5,15
2011	4,77	5,22
2012	4,78	5,29
2013	4,80	5,37

Dada a actual situação económica mundial, bem como a própria situação nacional, e tendo em conta as acções actualmente em curso para a diminuição da geração de resíduos, levadas a cabo pelos sistemas de tratamento de resíduos (no contexto da prevenção, conforme consagrado no artigo 1º da lei-quadro dos resíduos, DL 239/97) julgou-se pertinente a adopção do cenário de crescimento conservativo da produção de RSU para a elaboração de futuros cenários de produção de CDR.

7.2.2 Hierarquia de gestão de resíduos

Conforme consagrado no preâmbulo do PIRSUE como vector basilar da estratégia integrada de gestão de resíduos, a deposição em aterro apenas se destina a *resíduos últimos*, previamente sujeitos a tratamento.

A produção de CDR apresenta-se como uma solução, não só para os rejeitados e refugos das UTMB, mas também para garantir o tratamento prévio à deposição em aterro, na medida em que permite a valorização da fracção combustível do RSU e as tecnologias adoptadas para a sua produção permitem a selecção de fluxos recicláveis conduzindo ao incremento dos esforços de reciclagem.

Neste sentido, previamente à elaboração de cenários de produção, analisaram-se as restantes soluções existentes a nível nacional como a reciclagem de embalagens, a valorização de resíduos orgânicos e a valorização energética.

Composição do RSU

Complementarmente foi tida em conta uma composição física do RSU, a qual se encontra especificada na Tabela 28.

Tabela 28 – Composição física dos resíduos adoptada para os cenários.

Componente	Percentagem
Orgânicos putrescíveis	40
Papel cartão	16
Vidro	6
Plástico	12
Metal	2
Têxteis	8
Finos	10
Outros	6

Esta composição resulta de média das composições do RSU gerado em zonas urbanas e rurais, do litoral e do interior de Portugal Continental nos anos de 2004 e 2005.

Reciclagem de embalagens

Teve-se em conta o cumprimento das **metas de reciclagem de embalagens** previstas para 2011. Estas metas prevêem a reciclagem de, no mínimo 55% dos resíduos de embalagem gerados (segundo a Directiva 2004/12/CE, artigo 6º, ponto 1, alínea d) e ponto 7).

Estima-se que os resíduos de embalagem representam 33% do RSU (o que vai ao encontro dos dados reportados no triénio 2003-2005 à EU (fonte: INR) pelo que a consideração desta meta para o RSU se harmoniza com exposto no Comunicado do Conselho de Ministros de 9 de Fevereiro de 2006 que refere que cerca de 19% do RSU apresentam potencial efectivo de valorização.

Considerou-se um esforço crescente de reciclagem com um incremento de 5% em cada ano. A Tabela 29 resume os quantitativos de resíduos de embalagens a valorizar no período de análise deste estudo.

Tabela 29 – Quantidade de resíduos de embalagem a reciclar de forma a cumprir as metas preconizadas.

Ano	Resíduos de Embalagem a reciclar (kt)	Taxa de reciclagem
2007	548	35%
2008	629	40%
2009	711	45%
2010	793	50%
2011	875	55%
2012*	878	55%
2013*	881	55%

* Provavelmente novas metas serão aplicáveis.

Desvio de RUB de aterro

No que se refere ao cumprimento das **metas de desvio de RUB de aterro** previstas no horizonte 2006-2016, as quais apenas permitem a deposição em aterro, até Janeiro de 2009, de 75% da matéria orgânica que era depositada em 1995, e de Janeiro de 2009 a Janeiro de 2016 de 50% da matéria orgânica que era depositada em 1995, foi feita uma breve análise das suas implicações no cenário de gestão de resíduos em Portugal Continental.

Tal análise baseou-se na ENRRUBDA e nas medidas nela preconizadas. Assim teve-se em conta a definição de resíduos biodegradáveis que inclui não só os resíduos putrescíveis (geralmente denominados orgânicos) mas também a fracção de papel cartão. Como tal, a fracção de RUB no

RSU, tendo em conta a composição física apresentada na Tabela 28, cifra-se em 56% do RSU. Na medida em que esta análise é apenas feita para o espaço de Portugal Continental, foram calculadas as quantidades limite de RUB a depositar em aterro tendo esse factor em conta. Acresce ainda que se considerou ao longo da elaboração dos cenários, que existe uma fracção do RSU que é directamente enviada para aterro (10%) e que, por factores vários, não é passível de receber qualquer tratamento prévio, tendo sido contabilizada a quantidade de RUB presente nesta fracção.

Em conclusão considerou-se que o cumprimento das metas preconizadas na ENRRUBDA obriga ao desvio de aterro das quantidades de RUB apresentadas na Tabela 30.

Tabela 30 – Quantidade de RUB a desviar de aterro em Portugal Continental tendo em conta que 10% do RSU vai directamente para aterro sem qualquer tratamento prévio e excluindo as zonas autónomas.

Ano	RUB a desviar de aterro (kt)
2007	1100
2008	1120
2009	1130
2010	1700
2011	1710
2012*	1720
2013*	1730

De acordo com a ENRRUBDA, considera-se desvio de RUB de aterro a sua valorização energética, orgânica e material. Assim sendo analisaram-se os instrumentos existentes e a construir que permitem este desvio.

Para tal avaliação consideraram-se as futuras unidades de TMB (ver Anexo B). Sabe-se no entanto que a sua construção está atrasada pelo que não foram adoptados os valores presentes na ENRRUBDA, tendo havido necessidade da sua reavaliação. Complementarmente considerou-se que qualquer nova instalação, à semelhança de qualquer outra instalação industrial não arrancará a 100% da sua capacidade. Pressupondo então que existe um período de aprendizagem para o funcionamento optimizado da instalação considerou-se que no primeiro ano de funcionamento as unidades apenas funcionariam a 50% da sua capacidade, que no segundo ano funcionariam a 75% da sua capacidade e que, no terceiro ano veriam o seu funcionamento optimizado e portanto operariam a 100% da sua capacidade. A existência de um período de aprendizagem é um factor comum a toda a indústria e, crê-se que seja oportuno considerá-lo na medida em que paragens são espectáveis, sobretudo em reactores biológicos, resultado de múltiplos factores. Por outro lado, com certeza que a maioria das unidades não arrancará no

primeiro dia do ano pelo que a quantidade valorizada no ano de arranque será menor do que a capacidade anual instalada.

Este período de aprendizagem é também função do facto de a ENRUBDA prever a alimentação das instalações com RUB provenientes de recolha selectiva. Sabe-se que o sistema de recolha selectiva de orgânicos não é de fácil implementação no contexto português pelo que não só por problemas de ordem técnica se prevê o funcionamento não otimizado das TMB, mas também por falta de alimentação. Por exemplo, se fosse considerada uma alimentação das TMB a partir de RUB somente de recolha indiferenciada, ou mesmo parcialmente de recolha indiferenciada e de recolha selectiva crê-se que o período de aprendizagem seria diminuído e poder-se-ia esperar que, no primeiro ano a instalação funcionasse a 75% da sua capacidade e no segundo ano de operação visse o seu funcionamento totalmente otimizado, operando a 100% da sua capacidade.

No que apenas diz respeito a valorização orgânica em unidades de TMB, pode observar-se na Figura 53 a capacidade total anual instalada em cada um dos anos, a capacidade que será efectivamente utilizada e a capacidade que é anulada pelo facto das unidades estarem em fase de arranque.

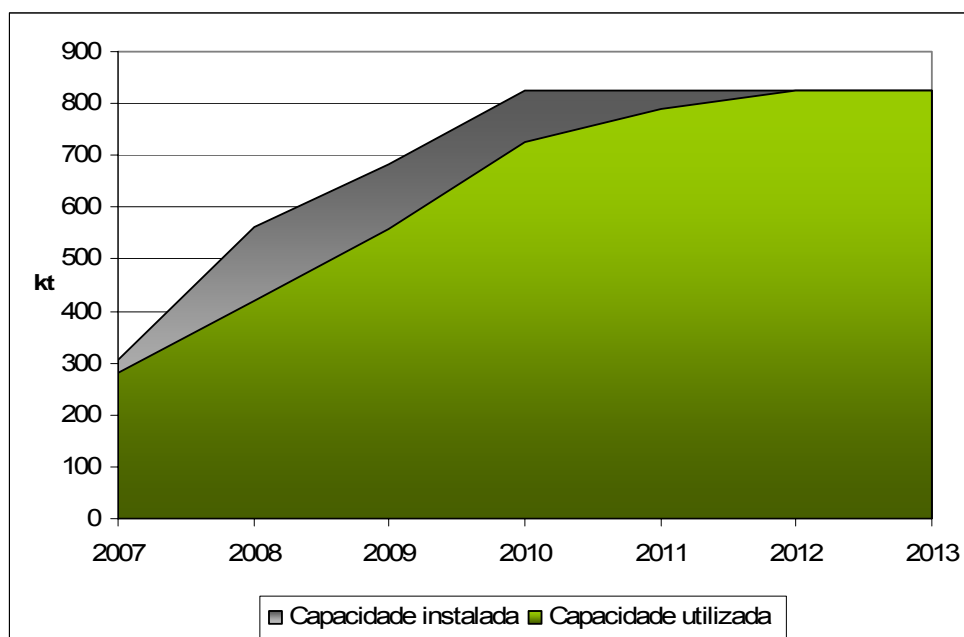


Figura 53 – Capacidade e valorização orgânica instalada em Portugal Continental no período 2007-2013 face à capacidade efectivamente utilizada.

No que se refere a outros instrumentos de desvio de RUB de aterro considerou-se a **valorização material**, de acordo com o cumprimento de metas de reciclagem de resíduos de embalagens de papel/cartão, tendo sido adoptados os seguintes considerando da ENRRUBDA:

- Os resíduos de embalagem de papel cartão representarem 8% do RSU;
- Os aumentos crescentes de esforço de reciclagem desfasados de um ano.

Foi feita a reapreciação dos quantitativos de reciclagem de resíduos de embalagens de papel cartão desviados de aterro por recurso à reciclagem, dado que a ENRRUBDA considerava um incremento com o qual apenas em 2012 se atingiriam as metas que a Directiva Embalagens preconiza para Portugal em 2011. A Tabela 31 resume os quantitativos esperados.

Tabela 31 – Quantidade de RUB desviados de aterro por reciclagem de embalagens de papel cartão tendo em conta as metas preconizadas na Directiva Embalagens.

Ano	Resíduos de embalagem de papel/cartão a reciclar (kt)	Taxa de reciclagem
2007	192	51%
2008	202	54%
2009	211	56%
2010	220	58%
2011	229	60%
2012*	244	64%
2013*	259	68%

* Provavelmente novas metas serão aplicáveis.

Quanto à **valorização energética** de RSU com uma capacidade constante (ver capítulo 8) e igual à actualmente apresentada pelas duas centrais de valorização energética de resíduos existentes em Portugal Continental (Lipor II e Valorsul). Sendo a capacidade total instalada de 390 GJ/h na Lipor II e 660 GJ/h na Valorsul, o que se traduz em, aproximadamente, 1000 kt_{RSU}/ano com PCI de 7,8 MJ/kg. Assim, o desvio de RUB possível será de cerca de 564 kt/ano.

Em suma, e tendo em conta o acima exposto, verifica-se que no período em análise, os instrumentos disponíveis não permitirão o cumprimento das metas de desvio de RUB de aterro conforme previsto na Directiva Aterros e na ENRRUBDA. Tal deve-se sobretudo ao atraso na construção das TMB, importantes instrumentos para o cumprimento destas metas.

A Figura 54 permite analisar quais os principais instrumentos disponíveis para o desvio de RUB e a falta de capacidade instalada para o cumprimento das metas estabelecidas.

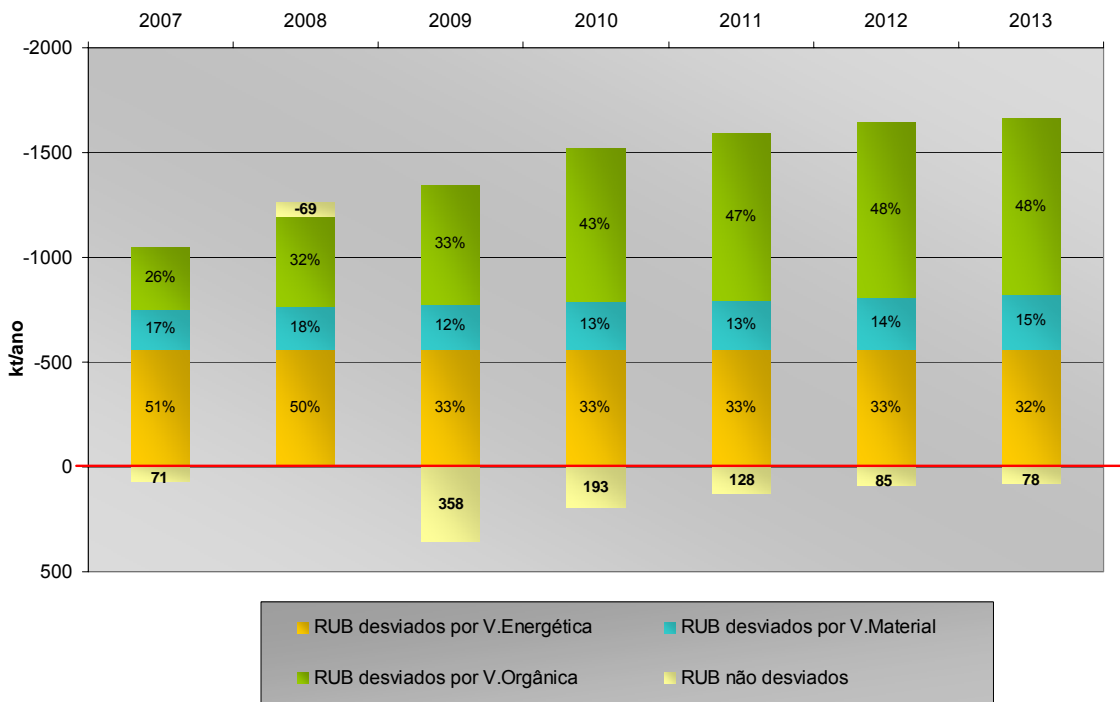


Figura 54 – Breve análise do desempenho de Portugal Continental face às metas de desvio de RUB de aterro no período 2007-2013 tendo em conta que as UTMB valorizam RUB provenientes de recolha selectiva.

Pode verificar-se que o cumprimento das imposições previstas para o período 2009-2016 pela Directiva Aterros (que impõe que 50% da matéria orgânica depositada em aterro em 1995 seja desviada) se avizinha de difícil cumprimento, sendo expectável que **em 2009 ainda cerca de 350 kt de RUB sejam indevidamente depositadas em aterro.**

Há que referir que esta análise teve em conta que as instalações seriam alimentadas a RUB de recolha selectiva o que diminui, de algum modo, a eficiência das mesmas.

A título de exemplo analise-se o desempenho de Portugal Continental se as UTMB fossem alimentadas, neste período temporal com RUB de recolha indiferenciada. A Figura 55 mostra o desvio de RUB de aterro que é possível atingir nesse caso, verificando-se que a estratégia em análise poderia minimizar a quantidade de RUB indevidamente colocada em aterro, nos anos de 2009 e 2010.

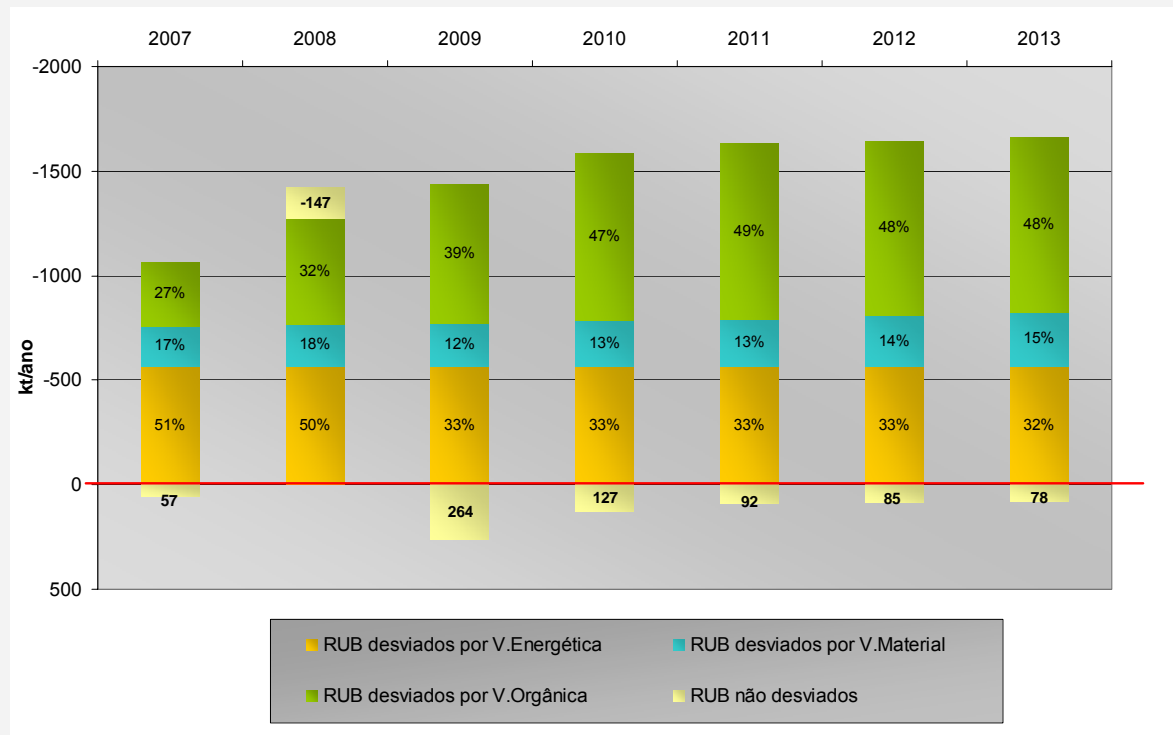


Figura 55 – Breve análise do desempenho de Portugal Continental face às metas de desvio de RUB de aterro no período 2007-2013 tendo em conta que as UTMB valorizam RUB provenientes de recolha indiferenciada.

Neste caso verifica-se que existiria uma melhoria do desempenho de Portugal Continental face às metas de desvio de RUB de aterro. Em 2009 a quantidade expectável de RUB depositada indevidamente em aterro seria da ordem das 260 kt.

Valorização energética de RSU

Considerou-se, que a capacidade de valorização energética de resíduos se manteria constante no período de análise (ver capítulo 8) e igual à actualmente apresentada pelas duas centrais de valorização energética de resíduos existentes em Portugal Continental (Lipor II e Valorsul). Sendo

a capacidade total instalada de 380 GJ/h na Lipor II e 660 GJ/h na Valorsul, o que se traduz em, aproximadamente, 1000 kt_{RSU}/ano com PCI de 7,8 MJ/kg.

7.2.3 Análise integrada da gestão de resíduos em Portugal Continental de 2007 a 2013

Assim, e face ao quantitativo de resíduos expectável no período em análise verifica-se, de acordo com a Figura 56, que existe uma fracção considerável (40-60%) de resíduos cujo destino final não está assegurado, adiante designada por fracção restante, apresentando potencial para a produção de CDR, cuja viabilidade de consumo e produção se analisa nos pontos seguintes.

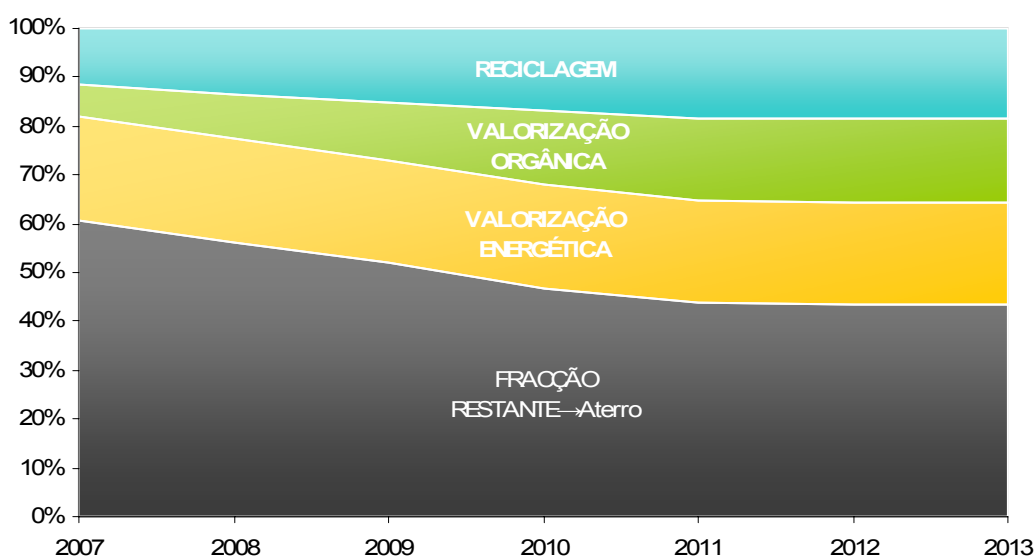


Figura 56 – Análise integrada das soluções previstas para o tratamento e gestão do RSU no período 2007-2013.

7.3 POTENCIAIS UTILIZADORES DE CDR

No contexto português, à semelhança do que se passa no resto da Europa, distinguem-se como potenciais utilizadores de CDR as instalações que:

- 1) Do ponto de vista tecnológico apresentam condições para a sua combustão;
- 2) Do ponto de vista ambiental cumprem o DL 85/2005 de 28 de Abril relativo à incineração e co-incineração de resíduos (ou que, não cumprindo, seja viável do ponto de vista técnico e económico, a sua implementação);
- 3) Utilizam combustíveis fósseis e portanto poderão beneficiar das mais valias associadas à sua substituição por combustíveis de origem renovável.

Assim, identificaram-se os seguintes sectores como potenciais utilizadores de CDR:

- Cimenteiras
- Produção de energia – centrais termoeléctricas
- Papel e pasta
- Cerâmicas
- Outras unidades de cogeração

No entanto, a produção de CDR em Portugal surge como parte da estratégia integrada de gestão de RSU. Acresce, ainda, que esta estratégia se enquadra no cumprimento de várias metas a que o País se propôs enquanto Estado-membro da EU. Assim, o CDR não surge só como uma necessidade de mercado pelo que devem ser considerados outros potenciais utilizadores de CDR:

- as actuais centrais de valorização energética de RSU;
- novas instalações de valorização energética dedicadas a CDR.

Assim, para a elaboração dos cenários inventariaram-se de um modo sumário unidades de queima existentes em Portugal Continental que reunissem condições para a utilização do CDR.

Não obstante a capacidade técnica destas instalações para a utilização do CDR, crê-se que seria pertinente a análise do seu interesse no produto.

Assim, procedeu-se ao contacto directo com as empresas representativas dos diferentes sectores, afim de apurar qual o seu interesse na utilização de CDR enquanto combustível de substituição. No que se refere às pequenas instalações contactou-se a COGEN – Associação Portuguesa de Cogeração, no sentido de esta poder mediar o contacto com as empresas suas associadas e, assim, se avaliar o seu interesse no CDR.

Não foi estabelecido contacto com a CELPA – Associação da Indústria Papeleira, com a AIMMP – Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal, nem com a APICER – Associação Portuguesa da Indústria Cerâmica, nem com siderurgias e vidreiras.

A Tabela 32 sintetiza o interesse, numa primeira abordagem, das empresas no CDR.

Tabela 32 – Grau de interesse na utilização de CDR das empresas contactadas.

Empresas contactadas	Grau de interesse demonstrado	
PEGOP	☹️	☹️ Reticente quanto à viabilidade do produto ou à da à sua utilização por parte da unidade
EDP	☹️	
PORTUCEL	😊/☹️	😊 Interessado e disponível para incorporação de CDR
SECIL	😊	
CIMPOR	😊/☹️	☹️ Desinteressado na utilização de CDR
LIPOR II	😊/☹️	
VALORSUL	😊/☹️	? Não foi possível apurar o interesse
Outros (via COGEN)	☹️	
Outros (via APICER)	?	
Outros (via AIMMP)	?	
Outros (via CELPA)	?	

Como é possível observar na Tabela 32 o sector da produção de energia encontra-se reticente à utilização de CDR, pelo menos num cenário a curto prazo. As principais razões apontadas são de cariz técnico que implicam investimento económico (necessidade de adaptações dos equipamentos para o consumo e, ainda, para o cumprimento das premissas ambientais).

A posição reticente dos associados da COGEN prende-se com o desconhecimento das potencialidades do CDR como combustível de substituição. Acresce, ainda, a actual situação económica nacional que inviabiliza investimentos associados à diversificação dos combustíveis a utilizar nas caldeiras, bem como a posição expectante das implicações económicas que trarão o PNALE II e a transposição da Directiva relativa a Cogeração (2004/8/CE) para o direito nacional.

No caso da CIMPOR, ainda que familiarizada com a temática houve alguma apreensão causada pela burocracia inerente ao uso destes produtos, a qual é muitas vezes inibidora da sua utilização.

Verifica-se que os sectores mais receptivos ao CDR são sectores já familiarizados com a utilização de resíduos, na sua maioria já em conformidade com a legislação ambiental vigente.

A avaliação subsequente do potencial de utilização de CDR teve em conta apenas os sectores receptivos à sua utilização. Foram ainda consideradas, as centrais de biomassa que irão ser construídas, as quais poderão ter um grau de incorporação de outros resíduos (que não biomassa) até 10% (DGGE, 2006).

A Tabela 33 sintetiza as instalações existentes (e a existir) e a sua capacidade aproximada de incorporação de CDR. A Figura 57 mostra a sua distribuição pelo país. As novas centrais de biomassa não estão contempladas na figura na medida em que ainda não está decidida a sua localização final. Conquanto, tudo aponta para que estas se venham a localizar no interior do país.

Tabela 33 – Descrição das instalações capazes de incorporar CDR.

Empresa	Localização	Consumo possível CDR (t/ano)		Tecnologia	Combustível Actual
		2007-2010	2010-2013		
PORTUCEL	Setúbal	10%(MW) ^a		Leito Fluidizado	Biomassa
LIPOR II	Porto	44 000		Grelha	RSU
VALORSUL	Lisboa	75 000		Grelha	RSU
CIMPOR	Souselas	170000	170000 - 350000	F. de Clínquer	Vários
	Alhandra				
	Loulé				
SECIL	Alcobaça	120000	120000 - 300000	F. de Clínquer	Vários
	Maceira-Liz				
	Outão				
Novas Centrais de Biomassa	Várias		10%(MW) ^b	?	Biomassa
ADP	Sines Estarreja		250000	Leito Fluidizado	?
			290000		
Novas linhas Inc	Porto		150000	?	CDR
	Lisboa		200000		
TOTAL		429 000	1 180000 -1 774 000		

^a O que corresponde a cerca de 20000 t/ano de CDR com PCI~13MJ/kg.

^b O que corresponde a cerca de 35 000 t/ano de CDR com PCI~13MJ/kg. Entrada em funcionamento prevista até 2010.

Considerou-se uma menor capacidade de incorporação por parte das cimenteiras por vários factores. Numa primeira análise as cimenteiras dispõem actualmente de outros combustíveis de substituição pelo que deverá ser considerado um período de menor disponibilidade para CDR. Por exemplo, no caso da SECIL, esta encontra-se actualmente a eliminar passivos ambientais e conta só em 2008 terminar essa fase. Complementarmente, deve ser considerado um período de habituação do mercado ao CDR, isto é, aquilo que se poderá considerar uma fase de adaptação, fundamentalmente marcada por uma fase de adequação da qualidade dos produtos ao circuito e condições de utilização. Assim sendo e num cenário conservador deverá ser tida em conta esta fase de adaptação do mercado a um novo produto.

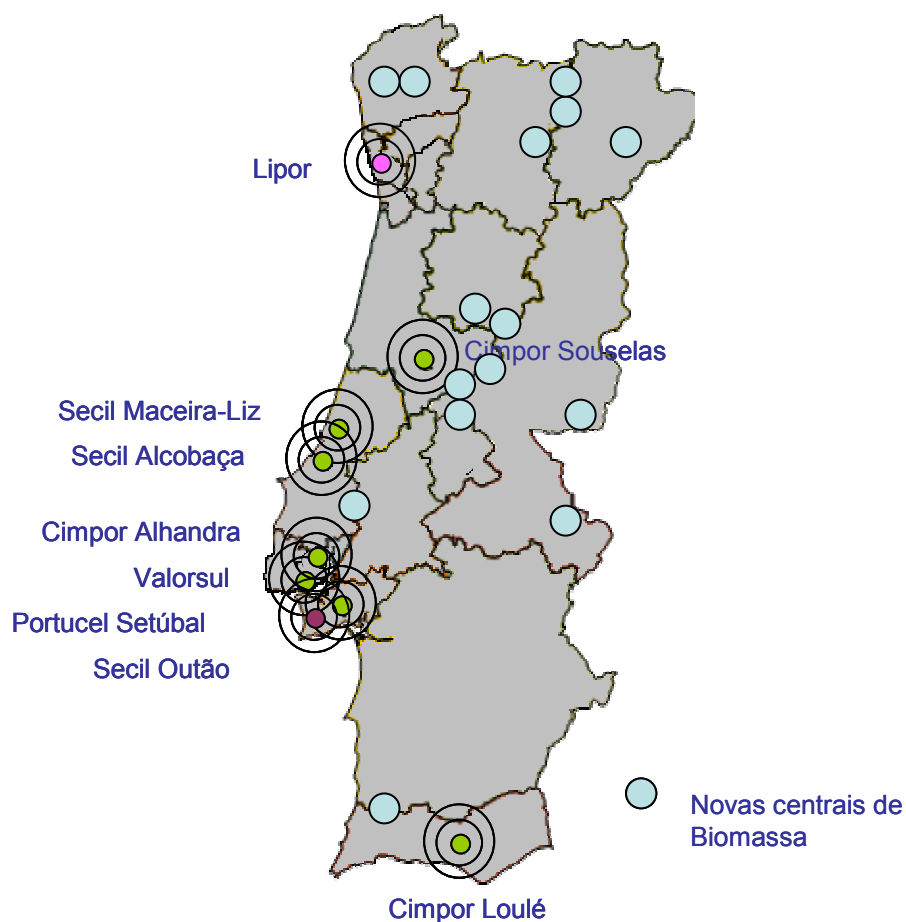


Figura 57 – Localização das instalações capazes de incorporar CDR.

7.3.1 Cenários de produção de CDR

Conforme decorre deste estudo, o CDR é obtido a partir da fracção não renovável e não biodegradável dos resíduos, sejam eles de origem urbana ou industrial.

Actualmente Portugal assiste a uma mudança de paradigma no que concerne a gestão de resíduos, passando de uma situação em que o destino dos resíduos era maioritariamente o aterro (a valorização energética apresenta alguma expressão, mas apenas decisiva nas grandes zonas urbanas de Lisboa e Porto) para uma situação em que se assiste a um crescente esforço de reciclagem e, simultaneamente, se avança para uma maior representatividade da valorização orgânica.

Estas opções de gestão de resíduos, tal qual como estão concebidas, representam uma solução para cerca de 40% do RSU.

Em concordância com o consagrado no PIRSUE, Portugal pretende ainda ir mais longe e prevê-se que os aterros se destinem apenas a resíduos cuja valorização nas várias formas não seja possível, *i.e.*, os resíduos últimos. Decorre então deste objectivo que seja planeado o modo mais exequível de assegurar o tratamento do RSU, previamente à sua deposição em aterro.

A reciclagem assenta maioritariamente na premissa de que é necessária uma maior separação na fonte (de forma a que esta tenha maiores taxas de sucesso e menores custos associados), e a valorização orgânica, conforme prevista na ENRRUBDA, assegura o tratamento de um fluxo específico, resultado de separação na origem.

Quanto à valorização energética, é destinada à totalidade do RSU (orgânicos incluídos) e, do modo como está concebida, em termos espaciais e do ponto de vista de fluxo de resíduos, permite com sucesso que sejam cumpridas as metas de reciclagem e de desvio de RUB de aterro.

Assim, as opções previstas para a gestão do RSU em Portugal no período 2007-2013 não preconizam o tratamento mecânico do RSU indiferenciado pelo que não prevê que haja produção de CDR.

Tendo presentes os métodos de produção de CDR (ver capítulo 4), este só poderiam ser produzidos nas UTMB. Estando prevista a alimentação das UTMB só com RUB de recolha selectiva (incluindo as actuais UTMB que processam RSU e que passarão a processar RUB de recolha selectiva), os rejeitados dos fluxos de RUB recolhidos deste modo são expectáveis em pequenas quantidades e apresentam um baixo poder calorífico, pelo que não deverão ser

considerados como CDR, dado que não se apresentam como potenciais combustíveis de substituição.

Em suma, a produção de CDR poderá vir a ser considerada como opção para o tratamento do RSU indiferenciado (60% do RSU em Portugal Continental), previamente à sua deposição em aterro, na medida em que permite a separação de mais algumas fracções recicláveis, valorizáveis energética e organicamente, resultando apenas rejeitados sem qualquer possibilidade de tratamento que vão ao encontro da definição dos resíduos últimos.

Potencial de produção de CDR

- **O potencial de RSU disponível para produção de CDR em Portugal Continental ronda as 2400 kt em 2007 e as 1600 kt em 2013, tendo em consideração um cenário conservativo de aumento de produção de RSU e cumprimento das diferentes metas.**

Saliente-se que tais valores apenas permitem aferir qual o potencial de produção, não a quantidade de CDR que poderá efectivamente ser produzida.

Cenários de produção de CDR

Dado que a produção de CDR poderá apresentar-se como uma solução viável para assegurar o tratamento dos resíduos antes da sua deposição em aterro, importa analisar quais as quantidades de resíduos para as quais não está previsto qualquer tipo de tratamento nesse sentido. Como já foi dito, crê-se que não é possível (pelo menos num futuro próximo e tendo em conta as infra-estruturas e a logística existente) assegurar o tratamento à totalidade dos resíduos, sendo expectável que uma pequena fracção seja, por motivos vários, enviada directamente para aterro sem qualquer tratamento prévio (10%).

A Tabela 34 resume os quantitativos esperados no período 2007-2013 num cenário conservativo de produção de RSU e tendo em conta as opções previstas para a gestão de resíduos no que se refere a valorização orgânica e material.

Tabela 34 – Quantitativos de resíduos esperados no período 2007-2013 para Portugal Continental e principais soluções de gestão previstas.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
RSU produzido (kt)	4700	4720	4730	4750	4770	4780	4800
RECICLAGEM (kt)	550	630	710	790	880	880	880
VALORIZAÇÃO ORGÂNICA (kt)	290	430	570	730	800	840	840
VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA (kt)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
ATERRO DIRECTO (kt)	470	470	470	480	480	480	480
FRACÇÃO RESTANTE (kt)							
Aterro?	2390	2180	1980	1750	1620	1590	1600
CDR?							

A produção de CDR implica a existência de infra-estruturas para tal. Neste sentido consideraram-se duas hipóteses:

- 1. Construção de novas unidades de produção de CDR;**
- 2. Aproveitamento das UTMB existentes e previstas, alterando a proveniência dos RUB a valorizar, de recolha selectiva para recolha indiferenciada, parcialmente ou na totalidade.**

1. Construção de novas unidades de produção de CDR

Este cenário apenas poderá ser válido a partir de 2009, num contexto optimista, na medida em que terá que ser tido em conta o período temporal necessário para a construção das novas instalações. Neste contexto importa analisar, quais as regiões do país em que é mais premente a necessidade de assegurar tratamento ao RSU.

Tal análise foi feita para o ano 2012, ano para o qual se prevê que a totalidade das UTMB estará a funcionar a 100% da sua capacidade. A Figura 58 resume a distribuição espacial do RSU produzidos e sem pré-tratamento assegurado.

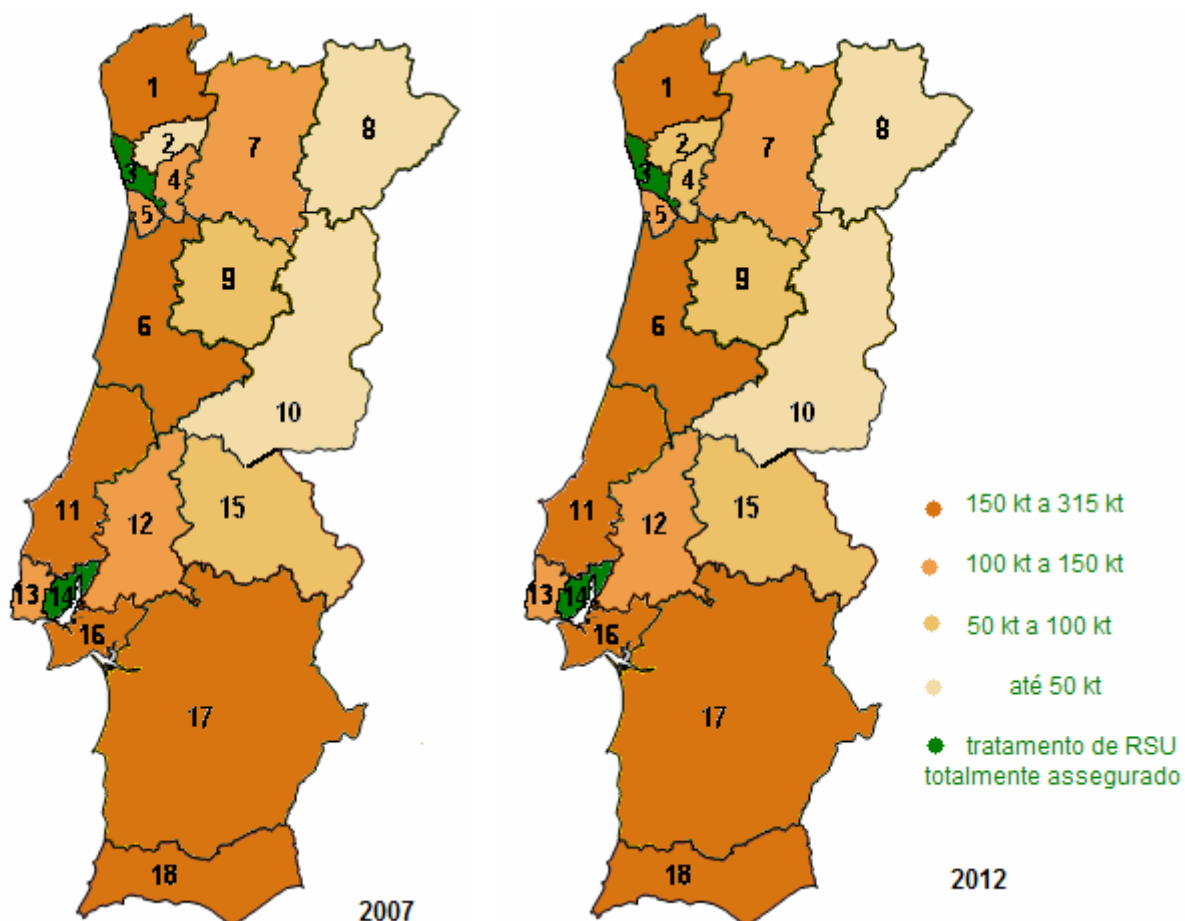


Figura 58 – Distribuição espacial do RSU cujo tratamento prévio à deposição em aterro não está previsto. Situação base em 2007 e situação estimada para 2012, quando a totalidade das UTMB estará a funcionar.

Conclui-se que sem recurso a novas instalações a situação esperada para 2007 será em tudo semelhante à esperada para 2012.

Verifica-se que as zonas com maior quantidade de RSU sem qualquer tratamento prévio são o Minho, a Beira Litoral, a península de Setúbal, o Alentejo (se for visto como um todo) e o Algarve. Nestas zonas, os quantitativos de RSU em causa perfazem 57% do total nacional.

Avançando com este cenário e supondo que o País será dotado de infra-estruturas suficientes para o tratamento do RSU indiferenciado através da produção de CDR, diferentes quantidades deste combustível poderão ser esperadas, resultado das linhas a instalar e da qualidade a exigir ao produto.

Conforme descrito no sub-capítulo 4.5, diferentes eficiências mássicas de produção de CDR a partir de RSU, bem como diferentes custos estão envolvidos na produção de CDR. Considerando que o CDR a produzir seria do tipo *fluff*, com um grau de qualidade não muito alto, por exemplo classe 3 em PCI, as quantidades de CDR expectáveis seriam da ordem de 900 kt anuais, conforme se depreende da análise da Tabela 35. Complementarmente adoptaram-se os elementos descritos no diagrama de fluxos da unidade da AMAVE (Figura 52) como exemplo de uma unidade simplificada de bioestabilização e produção de CDR de classe 2/3 conforme descrito no capítulo 4.

Tabela 35 – Estimativa dos quantitativos de CDR (classe 3 em PCI de acordo com a CEN 343) expectáveis a partir de RSU.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
RSU disponível para CDR (kt)	Cenário		1980	1750	1620	1590	1600
CDR de classe 2/3 em PCI (kt) <i>Fluff</i>			990	870	810	800	800
Resíduos últimos para aterro (kt)	não aplicável		500	440	400	400	400

Tendo em conta a capacidade de utilização de CDR prevista para este período conforme a Tabela 33, constata-se que será de esperar que uma oferta adequada à procura prevista tendo em consideração que os novos consumidores privados poderão também incorporar CDR de RIB com mais valia energética e dinamizadores do consumo de CDR de RSU, e que não são alvo deste estudo.

2. Aproveitamento das UTMB existentes e previstas

Este cenário foi considerado por vários factores:

- É exequível a curto prazo;
- Não se opõe ao cumprimento das metas de desvio de RUB de aterro (embora colida com a premissa que diz respeito à proveniência de RUB a valorizar);
- Permite desde já começar a assegurar o tratamento prévio à deposição em aterro, reduzindo assim o volume de resíduos a encaminhar para aterro;
- Torna viável desde já a aplicação das novas estratégias de gestão de resíduos consagradas no PIRSUE, sem que haja um período de 2 a 3 anos de quebra entre a concepção e a operação destas estratégias.

- É um cenário em que a quantidade de CDR a produzir será crescente com o tempo, permitindo iniciar um mercado para a valorização deste produto sem criar períodos de “alta” e baixa” na oferta, o que se poderá traduzir num maior sucesso do mercado destes produtos. Acresce, ainda, o facto deste cenário de crescimento linear de produção de CDR facilitar a optimização na produção deste combustível;
- Possibilita o aproveitamento do *know-how* que já existe em termos de processamento de RSU indiferenciado;
- Facilita o processo de aprendizagem associado à operação das novas UTMB e permite que, paralelamente, caso sejam implementadas novas instalações produtoras de CDR, se possa, de um modo continuado estruturar a transição da alimentação das UTMB de RUB provenientes de recolha indiferenciada para RUB de recolha selectiva;

Assim sendo, este cenário foi explorado tendo em conta que:

1. As unidades que actualmente processam RSU indiferenciado permaneceriam a operar desse modo (AMAVE, AZC ex-Cova da Beira, AMTRES e AMARSUL – Setúbal), isto é, que se produzam cerca de 170000 toneladas de CDR;
2. As unidades que actualmente processam RUB de recolha selectiva permaneceriam desse modo (Lipor e VALORSUL);

Análise da situação se 50% da capacidade anual das novas UTMB for utilizada para processar resíduos de recolha indiferenciada

A Figura 59 ilustra as alterações expectáveis no período 2007-2012 se se proceder a estas alterações. Verificou-se, durante a elaboração deste cenário que, **no caso específico da AMTRES** a nova unidade de Mafra a processar RUB de recolha selectiva mantendo a unidade de Trajouce a processar RSU se apresenta como uma alternativa viável para assegurar o tratamento prévio à deposição em aterro da maioria do RSU gerido.

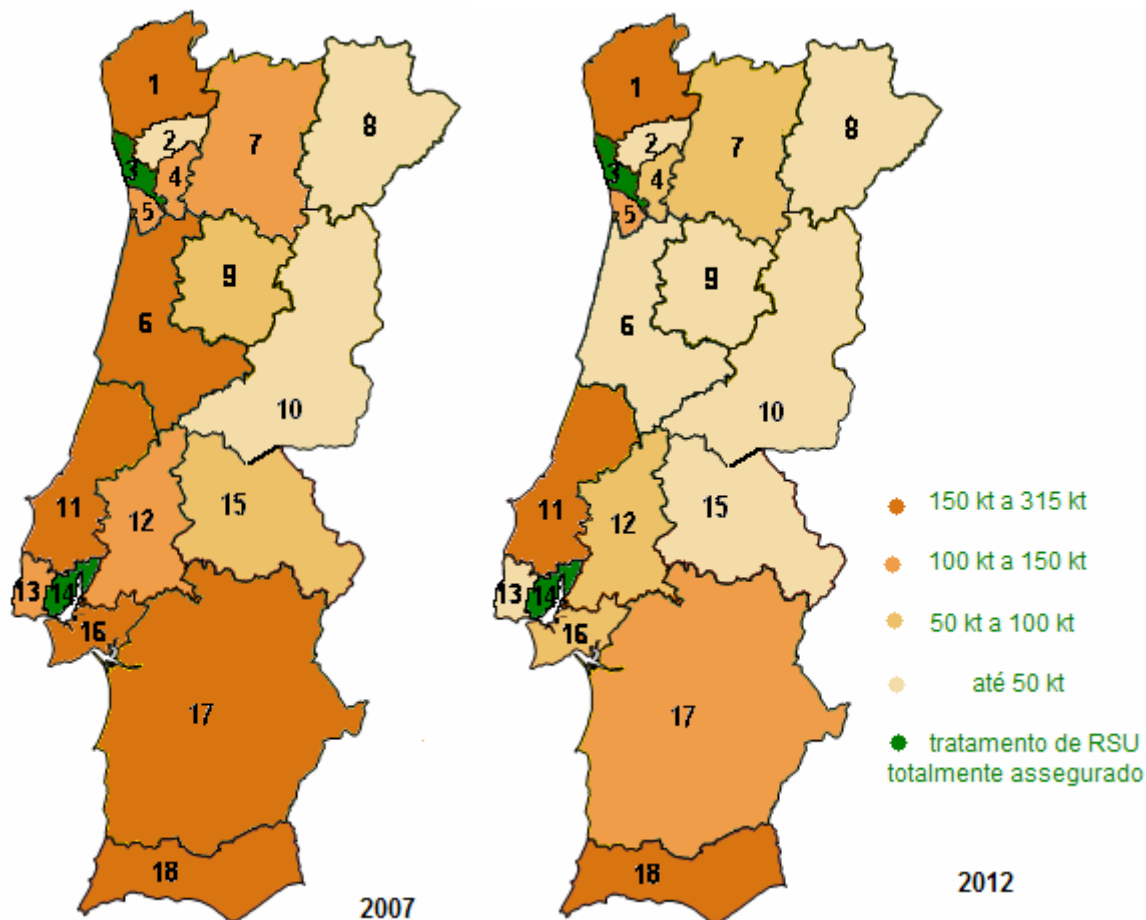


Figura 59 – Distribuição espacial do RSU cujo tratamento prévio à deposição em aterro não está assegurado. Situação base em 2007 e situação estimada para 2012 se as novas UTMB forem alimentadas com 50% do RUB proveniente de recolha indiferenciada, face a 50% de RUB de recolha selectiva.

Neste cenário verifica-se que a utilização e a exploração das várias potencialidades das UTMB, nomeadamente a fase de tratamento mecânico, permite uma alteração do panorama nacional no que concerne o tratamento do RSU previamente à sua deposição.

É notório o benefício que decorre desta opção sobretudo nas zonas Norte e Centro bem como na península de Setúbal e Alentejo.

Ainda assim, verifica-se que o Minho, a zona do Oeste e o Algarve carecem de unidades capazes de assegurar tratamento mecânico do RSU.

Complementarmente, é expectável produção de CDR se tal cenário for aplicado. A Tabela 36 resume as quantidades esperadas de CDR bem como a representatividade de tais quantitativos face ao potencial de CDR existente em Portugal Continental.

Tabela 36 – Quantidades esperadas de CDR nas UTMB (à excepção da Lipor e Valorsul) considerando uma alimentação de 100% de RUB de RSU nas UTMB da AMAVE, AMARSUL, AZC e AMTRES e de 50% de RUB de RSU nas restantes.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
CDR de classe 2 ou 3 em PCI (kt) <i>Fluff</i>	173	229	290	354	372	372
Representatividade face ao potencial de CDR	15%	21%	29%	40%	46%	47%

Verifica-se um total de CDR crescente com o tempo mas, ainda assim, aquém da procura de mercado. No entanto, permite já o aproveitamento de algum do potencial de produção de CDR apresentado pelo país, enquanto facilita e permite a concepção mais elaborada de um plano para as novas infra-estruturas a construir, já com algum conhecimento da produção de CDR e do mercado existente para este produto.

Não obstante este cenário procurou-se ir mais longe e analisar as zonas com maior carência de tratamento do RSU previamente à sua deposição em aterro. Neste sentido, para as zonas onde o quantitativo de RSU a gerir é superior a 50 kt anuais avaliou-se o efeito de aumentar a alimentação das UTMB com RUB de recolha indiferenciada.

Análise da situação se nas zonas com quantitativos de RSU superiores a 50 kt anuais for aumentada a quantidade de RUB de recolha indiferenciada

Do sumário das condições adjacentes à elaboração deste cenário mais complexo decorrem as seguintes considerações:

1. As unidades que actualmente processam RSU indiferenciado permaneceriam a operar desse modo (AMAVE, AZC ex-Cova da Beira, AMTRES Trajouce e AMARSUL Setúbal);
2. As unidades que actualmente processam RUB de recolha selectiva permaneceriam desse modo (Lipor e VALORSUL);
3. A nova unidade da AMTRES em Mafra seria alimentada com RUB unicamente provenientes de recolha selectiva;
4. Incremento da alimentação de RUB de recolha indiferenciada às novas UTMB com excepção das associadas ao Nordeste Transmontano, Planalto Beirão e Beiras.

A Figura 60 resume os resultados esperados se tal cenário fosse aplicado.

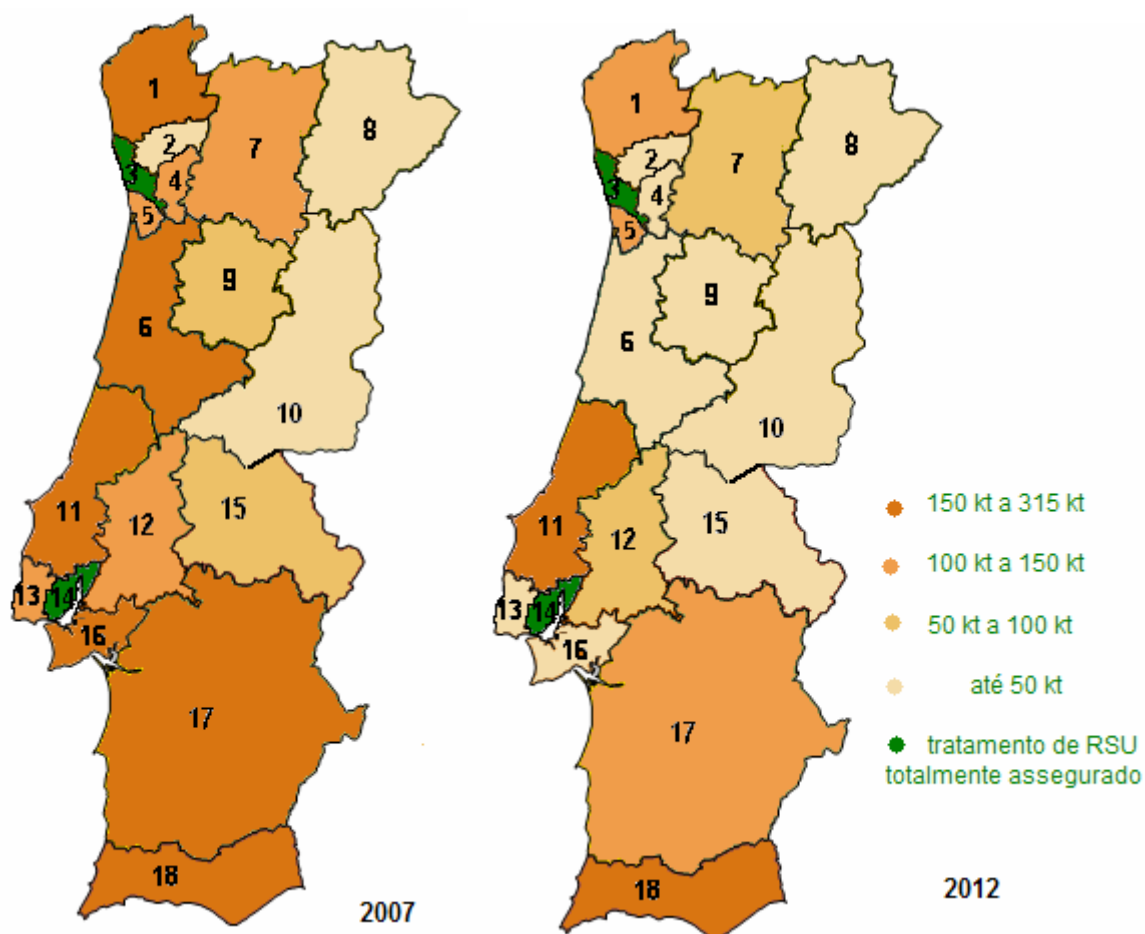


Figura 60 – Distribuição espacial do RSU cujo tratamento prévio à deposição em aterro não está previsto. Situação base em 2007 e situação estimada para 2012 se algumas das novas UTMB forem alimentadas com 50% do RUB proveniente de recolha indiferenciada, e outras UTMB forem totalmente alimentadas com RUB proveniente de recolha indiferenciada.

Verifica-se que este cenário, face ao anterior, permitiria a melhoria do desempenho nas zonas do Minho (sem, no entanto se apresentar, como uma solução), do Vale do Sousa e da Península de Setúbal.

Ainda que não seja notório o benefício nas zonas do Sul do Douro, Oeste, Alentejo e Algarve, existe obviamente uma redução do RSU sem tratamento assegurado.

No que respeita a quantidade de CDR esperada, esta corresponderia a um aumento de cerca até 14% no aproveitamento do potencial de CDR.

Tabela 37 – Quantidades esperadas de CDR nas UTMB (à exceção da Lipor e Valorsul) considerando uma alimentação de 100% de RUB de RSU nas UTMB da AMAVE, AMARSUL, AZC e AMTRES e de 100% de RUB de RSU nas restantes.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
CDR de classe 2 ou 3 em PCI (kt) <i>Fluff</i>	173	274	415	469	487	487
Representatividade face ao potencial de CDR	15%	25%	42%	54%	60%	61%

Olhando estes valores de um modo integrado com a procura de mercado constata-se que, face ao anterior cenário, este cenário permite que no período 2009-2010 haja uma resposta às necessidades de mercado.



8 POTENCIAL DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA NAS CENTRAIS DE INCINERAÇÃO

Considerando que a nova estratégia integrada de gestão de RSU consigna uma valorização material e orgânica (VMO) de uma fracção muito significativa destes componentes do RSU é expectável que independentemente do modo como se procede à separação dos materiais para VMO (recolha selectiva ou processamento mecânico de RSU indiferenciado), ocorram alterações na quantidade e composição do resíduo que afluí às centrais de incineração (Lipor II e Valorsul) no período de 2007-2013 e, portanto, também, no PCI o que poderá condicionar as cargas mássicas admissíveis.

Nos parágrafos seguintes apresenta-se uma análise sumária daquilo que poderá ser o futuro desempenho daquelas unidades tendo em consideração a carga térmica máxima de operação para cada uma das centrais.

8.1 LIPOR II

A LIPOR II é constituída por duas linhas de tratamento, cada uma com uma capacidade nominal de 592 t/dia, ou seja, 24,6 t/h de RSU com um PCI de 7,7 MJ/kg.

A Figura 61 mostra o diagrama de combustão (potência calorífica em função do caudal de RSU) para as caldeiras da LIPOR II. Pode observar-se que a potência calorífica de cada caldeira correspondente a 24,6 t/h de RSU com um PCI de 7,7 MJ/kg é 190 GJ/h. O diagrama revela ainda que as caldeiras da LIPOR II podem processar resíduos com PCI até 10,5 MJ/kg.

De forma a analisar o potencial de valorização energética de resíduos na LIPOR II, construiu-se o gráfico que se mostra na Figura 62, o qual representa a variação do PCI do RSU quando à sua composição média de 2004 (Tabela 38) se retira 30% de papel e cartão e 12% de plásticos (valores expectáveis de reciclagem praticados actualmente) ou 60% de papel e cartão e 22,5% de plásticos (valores ditados pelos objectivos mínimos de reciclagem a alcançar até 31/12/2011 conforme preconizado na directiva 2004/12/CE), em função da redução da quantidade de matéria orgânica. Na figura encontra-se ainda representado o valor do PCI do RSU actual, estimado com base na composição conhecida (ver Tabela 38), e nos poderes caloríficos dos constituintes individuais disponíveis na literatura da especialidade (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

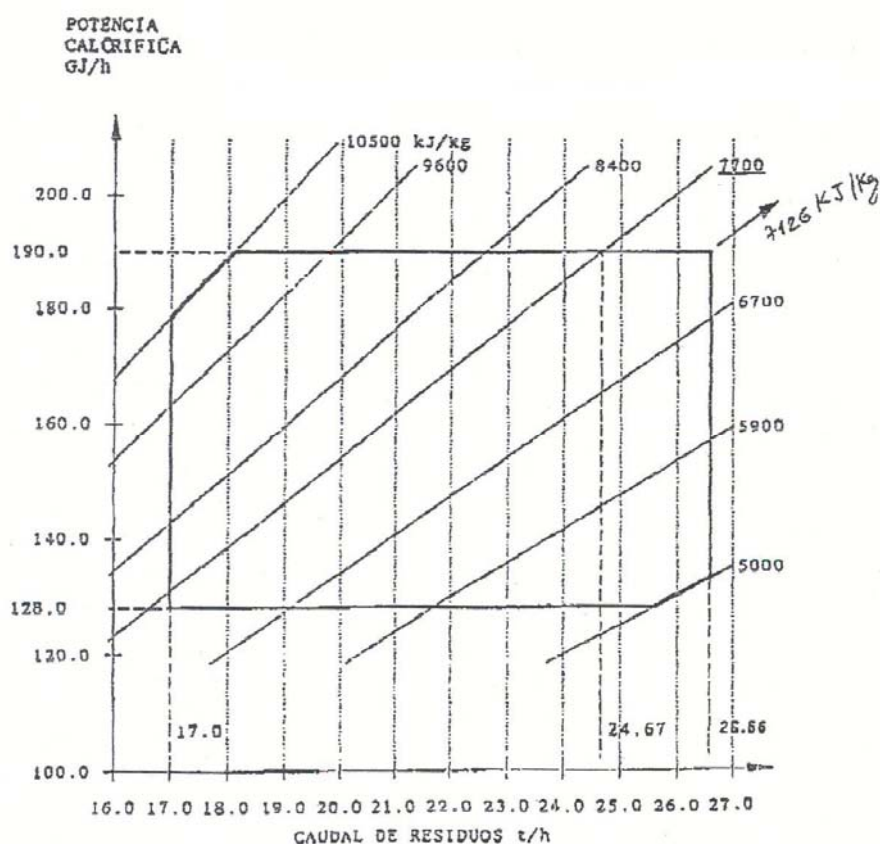


Figura 61 – Diagrama de combustão para as caldeiras da LIPOR II.
 (Cortesia da LIPOR II).

A comparação da curva obtida com o PCI máximo admissível pelas caldeiras da LIPOR II (10,5 MJ/kg) revela que só com percentagens de redução de matéria orgânica superiores a 40% (curva correspondente ao “sem 30% de papel e cartão e 12% de plásticos”) ou 60% (curva correspondente ao “sem 60% de papel e cartão e 22,5% de plásticos”) se obteria um resíduo com um PCI não compatível com o diagrama de combustão daquelas caldeiras (ver Figura 61).

No segundo cenário, isto é, com 60% de redução de matéria orgânica, 60% de redução de papel e cartão e 22,5% de plásticos, pode concluir-se que cada caldeira da LIPOR II poderia processar 18 t/h de resíduos com um PCI de 10,5 MJ/kg ($18 \text{ t/h} = 24,6 \times 7,7 / 10,5$) de forma a manter a potência calorífica de cada caldeira igual ao valor actual (190 GJ/h) e, assim, continuar a cumprir o estabelecido em termos de eficiência mínima de valorização energética.

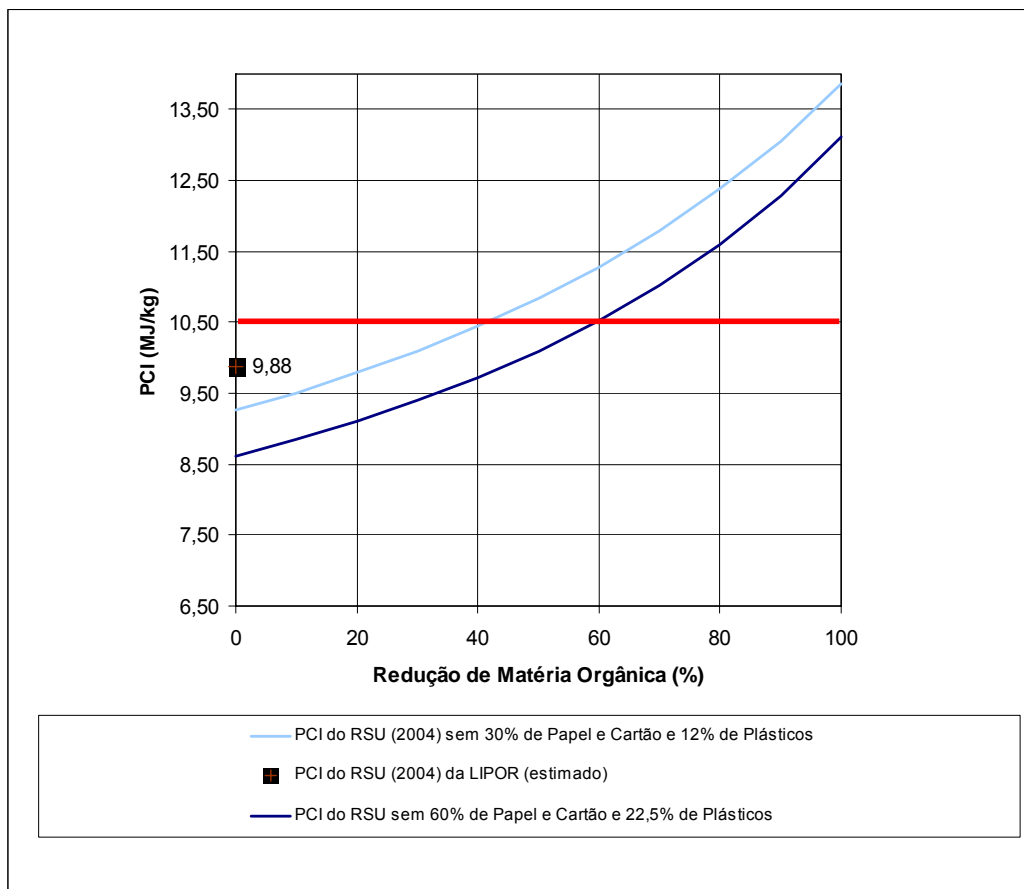


Figura 62 – Variação do PCI do RSU sem 30% de papel e cartão e 12% de plásticos e sem 60% de papel e cartão e 22,5% de plásticos, em função da redução de matéria orgânica.

Tabela 38 – Composição física dos resíduos da Lipor em 2004.

Parâmetro	Lipor
Resíduos putrescíveis	39
Papel e cartão	13
Têxteis	9
Plásticos	13
Vidro	6
Metais	2
Finos (< 20 mm)	12
Outros	5

Sendo a corrente actual de 19,1 t/h de um RSU com as características já apresentadas, por balanço de massa sabe-se que, ao retirar-se 60% de papel e cartão e 22,5% plásticos e 60% de matéria orgânica, tal corrente é diminuída em termos mássicos a cerca de 11,9 t/h, simultaneamente ao aumento de PCI para 10,5 MJ/kg. Pode então concluir-se que, neste cenário, cada caldeira da LIPOR II teria uma folga de cerca 6,1 t/h ($6,1 \text{ t/h} = 18 \text{ t/h} - 11,9 \text{ t/h}$) para acomodar o novo resíduo obtido a partir do RSU que trata actualmente.

Ora, o cenário considerado corresponde, na realidade, a objectivos difíceis de atingir em termos de redução de matéria orgânica presente no RSU e, como tal, pode ser considerado uma situação extrema com probabilidade de ocorrência escassa. Assim, mesmo nestas circunstâncias, a LIPOR II, com as suas actuais duas linhas, tem capacidade para absorver a totalidade dos resíduos actuais mesmo que a sua composição se altere significativamente por força do cumprimento dos objectivos de valorização material e orgânica.

8.2 VALORSUL

A VALORSUL foi projectada para uma capacidade máxima de tratamento entre 21 e 28 t/h, em cada uma das suas actuais três linhas de tratamento, para resíduos com uma gama de PCI entre 10,46 e 7,82 MJ/kg, tal como se pode observar na Figura 63 (pontos A e B). A Figura 63 mostra ainda que a potência calorífica máxima para cada caldeira é cerca de 220 GJ/h.

Seguindo uma metodologia semelhante à seguida para a LIPOR II, construi-se o diagrama que se mostra na Figura 64, o qual representa a variação do PCI do RSU quando à composição média de RSU de 2004 (ver Tabela 39) se retira 30% de papel e cartão e 12% de plásticos (valores expectáveis de reciclagem praticados actualmente) ou 60% de papel e cartão e 22,5% de plásticos (valores ditados pelos objectivos mínimos de reciclagem a alcançar até 31/12/2011), em função da redução da quantidade de matéria orgânica.

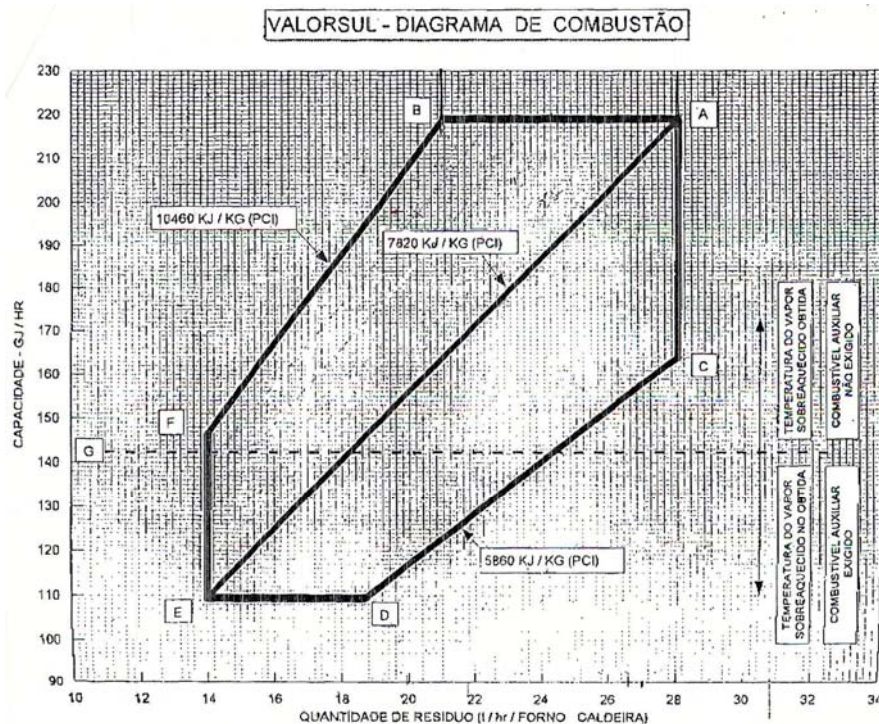


Figura 63 – Diagrama de combustão para as caldeiras da VALORSUL.
(Cortesia da VALORSUL).

Tabela 39 – Composição física dos resíduos da Valorsul em 2004.

Parâmetro	VALORSUL
Resíduos putrescíveis	36
Papel e cartão	19
Têxteis	5
Plásticos	9
Vidro	7
Metais	2
Finos (< 20 mm)	12
Outros	10

A Figura 64 revela que somente com percentagens de redução de matéria orgânica superiores a 85% no caso da curva “sem 30% de papel e cartão e 12% de plásticos” se obteria um resíduo com

um PCI não compatível com o diagrama de combustão das caldeiras da VALORSUL (ver Figura 63).

No cenário “sem 60% de papel e cartão e 22,5% de plásticos” mesmo com percentagens de redução de matéria orgânica de 100% obter-se-ia um resíduo com um PCI compatível com o diagrama de combustão das caldeiras da VALORSUL (ver Figura 63). Neste cenário, com 100% de redução de matéria orgânica, cada caldeira da VALORSUL poderia processar cerca de 22 t/h de resíduos com um PCI de 9,93 MJ/kg ($22 \text{ t/h} = 28 \times 7,82 / 9,93$) de forma a manter a potência calorífica de cada caldeira igual ao valor actual (cerca de 220 GJ/h) e, assim, a central continuar a cumprir o estabelecido em termos de eficiência mínima de valorização energética.

Notando agora que a partir de 25,3 t/h de RSU com um PCI de 8,65 MJ/kg se estima obter 11,3 t de resíduos com um PCI de 9,93 MJ/kg (resíduos a que se retiraram 60% de papel e cartão, 22,5% de plásticos e 100% de matéria orgânica), pode concluir-se que, neste cenário, cada caldeira da VALORSUL teria a sua capacidade aumentada em cerca 10,7 t/h ($10,7 \text{ t/h} = 22 \text{ t/h} - 11,3 \text{ t/h}$) do novo resíduo.

À semelhança do que se concluiu para o caso da LIPOR II, a VALORSUL, com as suas actuais três linhas, teria capacidade para absorver a totalidade do novo resíduo obtido a partir do RSU que trata actualmente.

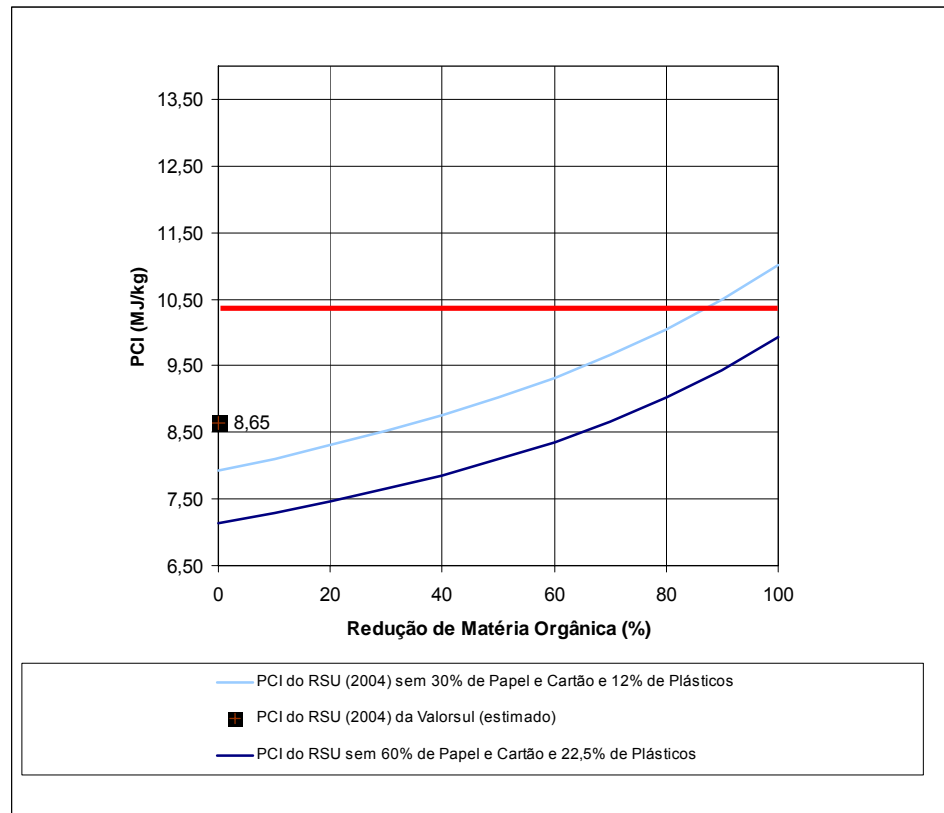


Figura 64 – Variação do PCI do RSU sem 30% de papel e cartão e 12% de plásticos e sem 60% de papel e cartão e 22,5% de plásticos, em função da redução de matéria orgânica.



9 OPORTUNIDADES E CONSTRAGIMENTOS

Tendo em consideração os princípios das políticas energéticas e ambientais, na Europa e em Portugal, que assentam na procura de fontes de energia primária de natureza não fóssil, na redução das emissões de CO₂, na minimização da deposição de resíduos em aterro e no respeito pela hierarquia de gestão de resíduos, surge como instrumento comum a potencial valorização energética da fracção resto, nomeadamente o RSU previamente transformado mecânica e/ou biologicamente em CDR.

A análise do potencial consumo de CDR em Portugal foi realizada tendo em consideração critérios de oportunidade:

Utilização como combustível de substituição, tendo por base um circuito de matéria-prima renovável, robusto e não dependente do exterior e, portanto, podendo contribuir para a auto-suficiência energética nacional.

Utilização como combustível de substituição com uma fracção significativa de carbono biogénico que contribui negativamente para o balanço nacional de CO₂ e, conseqüentemente, liberta emissões para o cumprimento do Protocolo de Quioto e/ou para novos investimentos.

Desvio até 80% do RSU a encaminhar para aterro após cumprimento de todas as metas em termos de valorização material e de fracção orgânica, permitindo um aumento considerável do tempo de vida útil dos aterros quer se tratem de infra-estruturas existentes ou novas.

Os critérios de oportunidade foram consubstanciados pelo interesse manifestado por diferentes actores industriais que, não só se mostraram conhecedores da oportunidade de utilização destes combustíveis de substituição, como já tinham ou estavam a equacionar o modo de utilização destes combustíveis alternativos. Consoante a actividade principal do actor interveniente verificase que a possibilidade de produção/utilização de CDR apresenta algumas dificuldades técnicas, em especial, por desconhecimento das tecnologias disponíveis no mercado e do tipo de CDR que pode ser obtido, enquanto combustível com características físicas e químicas que deverão ser asseguradas.

As tipologias de CDR associadas ao mercado português carecem de definição urgente e devidamente articulada entre as características do RSU a valorizar, cuja composição é função das metas de valorização multimaterial e orgânica, as necessidades de mercado e as normas CEN a

implementar a curto prazo a nível europeu. Saliente-se que características como o conteúdo em materiais biogénicos são prioritárias ao nível de unidades em que são valorizados em regime de co-incineração, permitindo libertar licenças de emissão de CO₂. Também são importantes no balanço nacional quando valorizados em unidades dedicadas, dado que, nestas unidades a produção de energia eléctrica se processa sem recurso a combustíveis fósseis e com uma componente verde que constitui uma mais valia para o *mix* energético nacional.

Estando criadas as condições básicas para a produção e utilização em que o DL n.º 85/2005 figura como um instrumento regulador das condições de queima urge assim dotar os sistemas de gestão de resíduos de infra-estruturas que permitam valorizar energeticamente uma fracção considerável de resíduos que hoje são encaminhados para aterro sanitário.

Saliente-se que qualquer decisão deve ser acompanhada de um estudo de viabilidade técnico-económica, que garanta a sustentabilidade dos sistemas em face de maiores custos de processamento e, simultaneamente gera um produto que o mercado esteja disponível para absorver.

A análise dos dados apresentados neste estudo revela ainda que existe uma maior eficácia do rácio custo/benefício quando a produção dos combustíveis de resíduos incorpora não só parte da fracção resto do RSU, mas também fracções de resíduos industriais não perigosos que geram produtos de maior poder calorífico e com maior grau de homogeneidade. Nesta situação, existem condições propícias à absorção destes produtos pelo mercado utilizador de combustíveis de substituição.

A alternativa à solução apresentada baseia-se em processos prévios de gaseificação de custo muito elevado e cuja tecnologia ainda se encontra em estado de desenvolvimento, e portanto, existem diversos constrangimentos à sua aplicação.

10 CONCLUSÕES

As principais conclusões do presente trabalho são as seguintes:

1. O enquadramento legislativo da utilização de CDR é dado pelo DL n.º 85/2005, de 28 de Abril, que regula a incineração e a co-incineração de resíduos. Complementarmente, são aplicáveis os diplomas vigentes para cada um dos sectores utilizadores de CDR. Refira-se que a revisão da Directiva Quadro dos Resíduos, actualmente em curso, poderá implicar, ao abrigo do seu artigo 11º, que certos resíduos sejam reclassificados como produtos.
2. As políticas europeias tendem a regulamentar de um modo estrito a queima de CDR, posição esta reforçada pela Directiva sobre produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis (2001/077/CE), na qual se afirma que a incineração de resíduos urbanos não separados não deve ser promovida no âmbito de um futuro sistema de apoio às fontes de energia renováveis, se essa promoção puser em causa a hierarquia estabelecida para tratamento dos resíduos. No entanto, tal afirmação não se aplica quando as instalações de incineração apresentam um rendimento energético superior a 60% pois as operações levadas a cabo passam a ser denominadas operações do tipo R1 – Utilização principal como combustível ou outros meios de produção de energia em oposição às operações do tipo D10 – Incineração em terra (conforme definições constantes na Portaria n.º 209/2004).
3. As principais técnicas de produção de CDR baseiam-se nas tecnologias de TMB e em Processos de Estabilização Seca, que visam a remoção de metais, inertes e matéria orgânica e a sua homogeneização e estabilização de forma a valorizar o produto enquanto combustível.
4. A utilização de CDR é possível em fornos rotativos, caldeiras de grelha e caldeiras de leito fluidizado. Recentemente, os gaseificadores emergiram como equipamentos com potencial para a utilização de CDR.
5. A produção e utilização de CDR é especialmente adequada a regiões de menor densidade populacional, em que pequenas unidades de produção de CDR poderão abastecer os potenciais utilizadores locais, particularmente em zonas sem rede de abastecimento de gás natural.

6. No caso de cidades de média e grande dimensão com incineradoras já existentes, uma combinação da utilização de CDR com a incineração de RSU surge como a opção mais adequada.
7. O embalamento e armazenamento do CDR exigem cuidados de segurança, dado que este produto pode ser inflamável sob determinadas condições ambientais.
8. Os critérios de oportunidade foram consubstanciados pelo interesse manifestado por diferentes actores industriais que, não só se mostraram conhecedores da oportunidade de utilização destes combustíveis de substituição, como já tinham ou estavam a equacionar o modo de utilização destes combustíveis alternativos.
9. Consoante a actividade principal do actor interveniente verifica-se que a possibilidade de produção/utilização de CDR apresenta algumas dificuldades técnicas, em especial, por desconhecimento das tecnologias disponíveis no mercado e do tipo de CDR que pode ser obtido, enquanto combustível com características físicas e químicas que deverão ser asseguradas.
10. As tipologias de CDR associadas ao mercado português carecem de definição urgente e devidamente articulada entre as características do RSU a valorizar, cuja composição é função das metas de valorização multimaterial e orgânica, as necessidades de mercado e as normas CEN a implementar a curto prazo a nível europeu. Saliente-se que características como o conteúdo em materiais biogénicos é prioritário ao nível de unidades em que são valorizados em regime de co-incineração, permitindo libertar licenças de emissão de CO₂, sendo importante também no balanço nacional quando valorizados em unidades dedicadas, dado que, nestas unidades a produção de energia eléctrica se processa sem recurso a combustíveis fósseis e com uma componente verde que constitui mais valia para o *mix* energético nacional.
11. Estando criadas as condições básicas para a produção e utilização de CDR, em que o DL n.º 85/2005 de 28 de Abril figura como um instrumento regulador das condições de incineração e de co-incineração, verifica-se que algumas das infra-estruturas de queima existentes no nosso país têm capacidade para valorizar energeticamente as fracções de resíduo previamente transformadas em CDR: em regime de incineração dedicada, incorporando pequenas quantidades no RSU aí processado, devido a alguns constrangimentos técnicos; em regime de co-incineração pela indústria cimenteira, nas caldeiras de combustão das pastas de celulose e nas centrais de biomassa onde se ressalta a estratégia europeia de dotar estas centrais de uma linha de abastecimento de

matéria-prima, ainda que em pequenas quantidades, robusta e não dependente de uma potencial escassez de biomassa. Estas infra-estruturas em fase de implantação surgem como instrumentos locais de grande utilidade para valorização de CDR, sobretudo nas regiões do interior, de menor densidade populacional e menor taxa de produção de resíduos, evitando custos sobre acrescidos de transporte de CDR.

12. O regime de co-incineração do CDR em cimenteiras é muito atractivo do ponto de vista ambiental mas apresenta fraca competitividade face a outros CDR obtidos a partir de resíduos industriais não perigosos e, portanto, um sistema de valorização energética de CDR assente só nesta fileira revela-se pouco robusto ainda que com mais valia.
13. Feito o balanço entre a disponibilidade de resíduos a processar em TMB e do potencial de produção de CDR a partir da fracção resto verifica-se que existe espaço para a implementação de novas unidades de valorização energética destes resíduos em equipamentos de tecnologia versátil à tipologia de CDR a produzir ou produzido no momento.
14. As unidades de valorização energética de CDR baseadas em leitos fluidizados parecem ser apropriadas e são uma tecnologia bem estabelecida. Como unidades dedicadas devem estar ao abrigo do DL n.º 85/2005, permitindo a valorização energética do CDR e também a utilização do vapor produzido e, portanto, a sua localização deve estar junto a potenciais consumidores de vapor e produtores de CDR.
15. As estratégias ambientais a nível da nova gestão dos resíduos entrecruzam-se directamente com a política energética europeia mas também com as exigências a nível de saneamento básico e abastecimento de água potável associados à produção de elevadas quantidades de lamas que não foram objecto deste estudo, e que podem contribuir para a viabilidade técnico-económica de novas unidades.



REFERÊNCIAS

ARCHER, E., BADDELEY, A., KLEIN, A., SCHWAGER, J., WHITING, K. (2005a). *Mechanical-Biological-Treatment: A Guide for Decision Makers – Processes, Policies and Markets, Annexe B – Issues arising out of the Regulatory & Policy Framework*, Version 1.0. United Kingdom, Juniper Consultancy Services, Ltd.

ARCHER, E., BADDELEY, A., KLEIN, A., SCHWAGER, J., WHITING, K (2005b). *Mechanical-Biological-Treatment: A Guide for Decision Makers – Processes, Policies and Markets, Annexe C – An Assessment of the Viability of Markets for MBT Outputs*, Version 1.0. United Kingdom, Juniper Consultancy Services, Ltd.

BELGIORNO, V., De FEO, G., DELLA ROCCA, C., NAPOLI, R.M.A. (2003). *Energy from gasification of solid wastes*. Waste management, Volume 23, pp. 1-15.

BREF CLMI (2001). EUROPEAN COMMISSION JOINT RESEARCH CENTER. *Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques for the cement and lime manufacturing industries*. Seville (Espanha).

BREF WI (2005). EUROPEAN COMMISSION JOINT RESEARCH CENTER. *Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques for waste incineration*. Seville (Espanha).

BREF WT (2005). EUROPEAN COMMISSION JOINT RESEARCH CENTER. *Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatment Industries*. Seville (Espanha).

CAPUTO, A., PELAGAGGE, P. (2002). *RDF production plants: I Design and Costs*. Applied Thermal Engineering, Volume 22, pp.423-437.

CEBQ/Instituto Superior Técnico (2006). *Contributo para a avaliação do grau de implementação da ENRRUBDA*. Instituto Superior Técnico.

CEN (European Committee for Standardization), <http://www.cenorm.be>.

CEN/TS 15357:2006 *Solid Recovered Fuels – Terminology, definitions and descriptions*.

CEN/TS 15359:2006 *Solid Recovered Fuels – Specifications and classes*.

CEN/TS 14980:2004 *Solid Recovered Fuels – Report on relative difference between biodegradable and biogenic fractions of SRF.*

CHANG, Y.H., CHEN, W.C., CHANG, N.B. (1998). *Comparative evaluation of RDF and MSW incineration.* Journal of Hazardous Materials 58, pp. 33-45.

Commission Decision 29/01/2004 – *Establishing guidelines for the monitoring and reporting of greenhouse gas emissions pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council.*

Comunicado do Conselho de Ministros de 9 de Fevereiro.

Communication from the Commission – The support of electricity from renewable energy sources COM (2005) 627 final, de 7/12/2005.

CONSONNI, S., GIUGLIANO, M., GROSSO, M. (2005a). *Alternative Strategies for energy recovery from municipal solid waste Part A: Mass and energy balances.* Waste Management, Volume 25, pp. 123-135.

CONSONNI, S., GIUGLIANO, M., GROSSO, M. (2005b). *Alternative Strategies for energy recovery from municipal solid waste Part B: Emission and cost estimates.* Waste Management, Volume 25, pp. 137-148.

Directiva 2001/77/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Setembro de 2001, relativa à promoção de electricidade produzida a partir de fontes renováveis no mercado interno da electricidade, Jornal Oficial n.º L 283 de 27/10/2001, p.33.

Directiva 2004/12/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 11 de Fevereiro de 2004, relativa a Embalagens e Resíduos de Embalagens e que altera a Directiva 94/62/CE, Jornal Oficial n.º L 47, de 18/02/2004, p.24.

Directiva 2004/8/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de Fevereiro de 2004, relativa à promoção da cogeração com base na procura de calor útil no mercado interno da energia e que altera a Directiva 92/42/CEE Jornal Oficial nº L 52 de 21/02/2004 p. 50.

DE MAIO, A., TESTAI, P. (2003). *Ambiente come opportunità – sviluppo dell’informazione ambientale.* APAT, Agenzia per la protezione dell’ambiente e per i servizi tecnici, Roma (Itália). Decreto-lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, Diário da República I Série-A, n.º 119, p. 4680.

DGGE (2006). *Estratégia Nacional para a Energia – Construção de uma rede dedicada de centrais de biomassa*. Direcção Geral da Geologia e Energia.

ECOMASTER Atzwanger SpA (2006) <http://www.ecomaster.it>.

EKHOLM, E. (2005). *RDF treatment methods in Finland*, in Jätteseminaari, 2-3 November 2005, Tallin (Estonia).

EUROPEAN COURT OF JUSTICE: JUDGMENT OF THE COURT (Fifth Chamber) 13 February 2003 (1) (Failure by a Member State to fulfil its obligations – Article 7(2) and (4) of Regulation (EEC) No. 259/93 – Classification of the purpose of a shipment of waste (recovery or disposal) – Incinerated waste – Point R1 of Annex II B to Directive 75/442/EEC – Concept of use principally as a fuel or other means to generate energy) In Case C-228/00.

FICHTNER UK (2004). *RDF OPPORTUNITIES: COAL AND CEMENT INDUSTRIES*. Resources Recovery Forum, Reino Unido.

FOSTER WHEELER. *Lomellina Waste-to-Energy Plant*. Foster Wheeler Publications, Technical Papers, Power Generation http://www.fwc.com/publications/tech_papers.

GAO, L., TOSHISUKE, H. (2006). *Process of accidental explosions at a refuse derived fuel storage*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Volume 19, pp. 288-291.

GASNET (2006). European biomass gasification network, <http://www.gasnet.uk.net>.

GENDEBIEN, A., LEAVENS, A., BLACKMORE, K., GODLEY, A., LEWIN, K., WHITING, K.J., DAVIS, R. (2003). *Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives. Final Report B4-3040/2000/306517/MAR/E3*. WRc ref: CO5087-4. European Commission – Directorate General Environment, Bruxelas.

GLORIUS, T., TUBERGEN, J., PRETZ, T., KHOURY, A, UEPPING, R. (2005). *BREF “Waste Treatment” Solid Recovered Fuels*. European Recovered Fuel Organization (ERFO <http://www.erfo.eu>) and Institute and Chair of Processing and Recycling of Solid Waste, RWTH Aachen.

GRANATSTEIN, D. L. (2003) *Case study on waste-fuelled gasification project, Greve-in-Chianti, Italy*. Natural Resources Canada/CANMET Energy Technology Centre.

GRANATSTEIN, D. L. (2004). *Technoeconomic Assessment of Fluidized Bed Combustors as Municipal Solid Waste Incinerators: A Summary of Six Case Studies*, IEA Bioenergy, http://www.ieabioenergytask36.org/case_studies_iea_bioenergy_task_36.html.

IEA BIOENERGY (2003). *Municipal Solid Waste and its Role in Sustainability – a position paper prepared by IEA Bioenergy*. IEA Bioenergy, <http://www.ieabioenergy.com>.

KAKARAS, E., GRAMMELIS, P., AGRANIOTIS, M., DERICHS, W., SHIFFER, H., MAIER, J., HILBER, T., GLORIUS, T., BECKER, U. (2005). *Solid recovered fuels as coal substitute in the electricity generation sector*. Thermal Science, Volume 9, No 2, pp. 17-30.

KRONBERGER, R. (2001). *Waste to Recovered Fuel Cost-Benefit Analysis*. GUA Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH, <http://www.gua-group.com>.

KVAERNER (2004). *Waste Combustion in Fluidized Bed Boilers*. IEA FBC Workshop, Vienna.

MAEKAWA, H., AOYAMA, S., KAGAMIDA, M. (2002). *Environment Technologies in the Cement Industry – Toward Zero Emissions*. Taiheyo Cement Corporation, Japão.

MAOTDR (2005). Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional – Gabinete do Ministro, *Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados*, 15 de Dezembro de 2005.

MEJIA, A., WEJDLING, H. (2006). *Revision of the Framework Directive – and the thematic strategies including some of the first comments from the Member States*, in EU News on International Solid Waste Association (ISWA), <http://www.iswa.org>.

MURPHY, J.D., MCKEOGH, E. (2004). *Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste*. Renewable Energy, Volume 29, pp. 1043-1057.

RANTA, J., WILEN, C. (2002). *Solid Recovered Fuel for waste co-incineration & co-gasification*, in Energy Recovered Materials from Waste. Espoo, 2-4 Setembro. Helsinki University of Technology. Espoo, Finlândia.

STEINER, M. (2005). *Status of Mechanical-Biological Treatment of Residual Waste and Utilization of Refused-Derived Fuels in Europe*, in Conference “The Future of Residual Waste Management in Europe”, 17-18 Novembro, Luxemburgo.

PIRELLI AMBIENTE S.p.A. (2005). *Existing plants, waste-to-energy and CO₂ reduction: a sustainable equation*, in WTER Fall Meeting at Columbia University, 20-21 Outubro, Nova Iorque, EUA.

TIRMADRID (2006). *Integrated Plant for the Municipal Solid Waste of Madrid*, http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/Valdemingomez_WTE.pdf.

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H, VIGIL, S. (1993). *Integrated Solid Waste Management – Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill International Editions, pp. 78-79.

TUBERGEN, J., GLORIUS, T., WAEYENBERGH, E. (2005). *Classification of Solid Recovered Fuels*. European Recovered Fuel Organization (ERFO), <http://www.erfo.eu>

WBCSD (2005). *Guidelines for the selection and use of fuels and raw materials in the cement manufacture process, Version 1.0*. World Business Council for Sustainable Development, Suíça.

WILÉN, C., SALOKOSKI, P., KURKELA, E., SIPILÄ, K. (2004). *Finnish Report on best available techniques in energy production from solid waste fuels*. Finnish Environment Institute, Finlândia.

WRT – Waste Research Team (2004). *Energy from waste – Refuse Derived Fuel*. Cardiff School of Engineering, <http://www.wasteresearch.co.uk/ade/efw/refuse.htm>





Anexo A – Eficiência dos equipamentos de tratamento mecânico

A Tabela A.1 resume as eficiências de remoção dos constituintes pelos vários equipamentos de tratamento mecânico utilizados para o cálculo das eficiências

Tabela A.1 – Eficiências de remoção dos constituintes pelos vários equipamentos de tratamento mecânico.

Equipment	Fraction	Fe	Al	Glass	Paper	Plastics	OIR	OR
Shredder	Refuse	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Moisture	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Hammermill	Refuse	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Moisture	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Trommel screen (fine)	Refuse	0.8	0.8	0.2	0.85	0.9	0.25	0.25
	Moisture	0.8	0.8	0.2	0.85	0.9	0.25	0.25
Preliminary screen (coarse Trommel or Pretrommel)	Refuse	0.41	0.37	0.01	0.69	0.62	0.02	0.11
	Moisture	0.41	0.37	0.01	0.69	0.62	0.02	0.11
Air classifier								
Shredded refuse	Refuse	0.1	0.8	0.7	0.98	0.98	0.2	0.7
	Moisture	0.09	0.72	0.63	0.882	0.882	0.18	0.63
Unshredded refuse	Refuse	0.1	0.5	0.02	0.98	0.98	0.15	0.4
	Moisture	0.09	0.45	0.018	0.882	0.882	0.135	0.36
Ballistic classifier	Refuse	0.1	0.8	0.7	0.98	0.98	0.2	0.6
	Moisture	0.1	0.8	0.7	0.98	0.98	0.2	0.6
Magnetic separator	Refuse	0.2	1.0	1.0	0.98	0.98	1.0	0.95
	Moisture	0.2	1.0	1.0	0.98	0.98	1.0	0.95
Eddy current separator	Refuse	0.2	0.1	1.0	0.98	0.98	0.95	0.98
	Moisture	0.2	0.1	1.0	0.98	0.98	0.95	0.98
Hand sorting	Refuse	0.9	0.5	0.7	1.0	1.0	0.7	0.9
	Moisture	0.9	0.5	0.7	1.0	1.0	0.7	0.9
Dryer	Refuse	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Moisture	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Densifier, Extruder, Pelletizer	Refuse	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Moisture	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

OIR – Other inorganic residues.

OR – Organic residues.



Anexo B – UTMB em Portugal Continental

A Tabela B.1 resume as UTMB preconizadas pela ENRRUBDA para o cumprimento das metas de desvio de RUB de aterro. Acrescem ainda dados relativos à capacidade instalada para valorização de matéria orgânica, de acordo com as Candidaturas aos Fundos de Coesão, e o ano previsto para a entrada em funcionamento das unidades. Não foram consideradas as unidades de valorização de resíduos verdes da ALGAR, na medida em que são destinadas a um fluxo específico de resíduos equiparados a RSU, e portanto não apresentam potencial para a produção de CDR.

Tabela B.1 – Características das UTMB consideradas no âmbito deste estudo.

UTMB	Capacidade de valorização orgânica instalada (kt/ano)	Entrada em funcionamento
Valorminho+Resulima+Braval	20	2008
Amave	52,6	Em laboração
Lipor	60	Em laboração
Valsousa	20	2008
Suldouro	20	2009
Resat+Rebat+Residouro+AMVDNorte	20	2008
Resíduos do Nordeste	10	2008
Planalto Beirão	35	2007
AZC	20	Em laboração
AZC+Raia Pinhal	10	2007
Valnor+Amartejo	10	2007
Valorlis+Resioeste	20	2008
Resiurb+Resitejo	20	2009
AMTRES –Trajouce	125	2008
AMTRES – Mafra	60	Em laboração
Valorsul	40	Em laboração
AMARSUL – Palmela	60	2009
AMARSUL – Setúbal	20	2009
AMARSUL – Setúbal	20	Em laboração
Amagra+Amcal+Made+Amalga	20	2008
ALGAR	20	2008
ERSUC	144	2010