

ÁREA TEMÁTICA: Área 3 - Reciclagem

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REJEITOS DA COLETA SELETIVA CÔMO COMBUSTÍVEL DERIVADO DE RESÍDUO – CDR

*Natalia Citti de Castro Divino – Engenheira Sanitarista e Ambiental (nataliacitti@gmail.com),
Eduarda Piaia – Engenheira Sanitarista e Ambiental (eduardapiaia@gmail.com)*

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar o potencial da fração de rejeitos proveniente da coleta seletiva do Município de Florianópolis como uma fonte alternativa de combustível e avaliar as emissões atmosféricas provenientes da combustão deste. Para tanto, foi determinada a composição gravimétrica dos rejeitos tendo por base o Plano Municipal de Coleta Seletiva de Florianópolis. Para avaliar o potencial energético dos rejeitos a serem empregados como Combustível Derivado de Resíduo – CDR, foi calculado o poder calorífico deste. O cálculo do poder calorífico foi estimado via análise da composição elementar das frações do rejeito e com o auxílio dos modelos de Dulong Modificado, Lloyd e Davenport. Os resultados obtidos por estes modelos mostraram que o CDR pode suprir entre 30 a 40% da demanda por energia da Universidade Federal de Santa Catarina. As emissões atmosféricas foram estimadas por meio da aplicação da metodologia da AP-42 da Agência de Proteção Ambiental Americana e foram comparadas com o exposto na Resolução CONAMA 316/2002. Com exceção do monóxido de carbono, os poluentes avaliados apresentaram concentrações abaixo do limite máximo permitido na legislação vigente, portanto, estando em conformidade.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos. Combustível Derivado de Resíduo - CDR. Emissões

EVALUATION OF THE ENERGETIC POTENTIAL OF THE WASTE REJECTED FRACTION FROM SELECTIVE COLLECTION AS REFUSE DERIVED FUEL - RDF

ABSTRACT

The aim of this paper is to evaluate the potential of a specific fraction of waste rejected from the selective collection of the Municipality of Florianópolis as an alternative fuel source and to evaluate the emissions from its combustion. For this purpose, the gravimetric composition of the waste was determined based on the Municipal Plan of Selective Collection of Florianópolis. To assess the energy potential of the waste to serve as Refuse-Derived Fuel - RDF, its calorific value was estimated. The calorific value was estimated by analyzing the elemental composition of the waste fractions and with the aid of the Modified Dulong, Lloyd and Davenport. The results obtained by these models showed that the RDF could supply between 30 and 35% of the energy demand at the Federal University of Santa Catarina (UFSC). Emissions were estimated by applying the methodology of AP-42 from the United States Environmental Protection Agency and were compared with the limits established in CONAMA 316/2002. Except from carbon monoxide, the pollutants evaluated presented concentrations below the maximum limit allowed in the current legislation, therefore, being in conformity.

Keywords: Solid Waste. Refuse-Derived Fuel - RDF. Emissions.

1. INTRODUÇÃO

Com uma população de 500.973 habitantes no ano de 2019, o Município de Florianópolis gerou um total de 212.303 toneladas de resíduos sólidos urbanos, proveniente tanto da coleta convencional como da coleta seletiva. Desse total, 11.301 toneladas foram advindas da coleta seletiva na modalidade porta a porta e 6.271,5 toneladas provenientes de pontos de entrega voluntária, eco

pontos, dentre outros. Como resultado do programa de reciclagem e do serviço prestado pelas associações de catadores, 7,15% dos resíduos foram desviados do aterro sanitário.

Mesmo seguindo o princípio dos 3R's integralmente, de modo a se prezar pela redução, reutilização e reciclagem, ainda resta uma fração de material a qual não é passível de reutilização nem reciclagem, a esta fração denomina-se rejeito. Essa fração é normalmente encaminhada para aterro sanitário para que seja realizada a sua disposição final.

No entanto, dada a necessidade por alternativas ao aterro sanitário e a demanda por fontes alternativas de energia, este artigo visa apresentar e propor o uso dessa fração de rejeitos para recuperação energética através da tecnologia do CDR (combustível derivado de resíduo). Para tanto, foi verificado se os rejeitos, pós-seleção de recicláveis, possuem potencial para serem utilizados como fonte energética alternativa.

2. OBJETIVO

Determinar o poder calorífico teórico da fração de rejeitos oriunda da coleta seletiva do município de Florianópolis para utilização como combustível derivado de resíduos e avaliar as emissões atmosféricas provenientes da queima do CDR.

3. METODOLOGIA

3.1 Composição gravimétrica dos RSU provenientes da coleta seletiva

Para a análise da composição gravimétrica dos rejeitos provenientes da coleta seletiva de Florianópolis foi utilizado como base o Plano Municipal de Coleta Seletiva do Município de Florianópolis – PMCS publicado em 2016. O PMCS realizou no ano de 2014 um levantamento da geração de resíduos e da composição gravimétrica dos RSU provenientes da coleta convencional e da coleta seletiva.

Para a composição qualitativa dos rejeitos, adotou-se como rejeito os seguintes produtos: resíduo orgânico; madeira; têxteis e couro; borracha; sanitários; plástico metalizados e materiais plásticos com dois ou mais tipos de plásticos em sua composição. Além desses materiais também foi considerada uma porcentagem de 24% dos materiais recicláveis, de modo a reputar o citado por Mamede, o qual pontua que a eficiência da técnica de segregação manual dos resíduos recicláveis é de 76%, portanto, a fração restante é descartada como rejeito (EPA, 1991 apud 2013). Há de se considerar ainda que os resíduos sanitários foram considerados na fração de orgânico. A composição gravimétrica dos rejeitos da coleta seletiva é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Composição gravimétrica dos rejeitos provenientes da coleta seletiva de Florianópolis referente ao ano de 2014

Fração gravimétrica	Peso total (kg)	(%)
Fração orgânica e sanitários	201,729	7.87
Papel	951,979	37.16
Plástico	628,685	24.54
Metal	79,992	3.12
Vidro	383,330	14.96
Têxteis e couro	281,717	11.00
Borracha	22,982	0.90
Madeira	11,521	0.45
Total	2,561,936	100

Fonte: Elaboração própria.

3.2 Determinação do poder calorífico inferior - PCI

De acordo com Kami (2019), para a estimativa do poder calorífico dos CDR é necessário a análise elementar e imediata das frações que compõem o combustível, as quais são de extrema importância para os cálculos de energia. Ressalta-se que as equações apresentadas a seguir tem como unidade de poder calorífico kcal/kg, por estarem apresentadas desta forma na bibliografia consultada, no

entanto, para apresentação dos resultados, os valores foram convertidos em kJ/kg, tendo em vista o Sistema Internacional de unidades.

Na Tabela 2 são apresentados os valores de base para a análise elementar em porcentagem e em base seca, e para a análise imediata em porcentagem e base úmida para as frações gravimétricas do rejeito da coleta seletiva.

Tabela 2. Análise elementar e análise imediata de algumas das frações que compõem o CDR

Fração Gravimétrica	Análise elementar (%)					Análise imediata (%)			
	C	H	O	N	S	Cz/inertes	W	MV	CF
Fração orgânica	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4	5,0	70,0	21,4	3,6
Papel	43,4	5,8	44,3	0,3	0,2	6,0	10,0	75,6	8,4
Plástico	60,0	7,2	22,8	0,0	0,0	10,0	5,0	83,0	2,0
Metal	4,5	0,6	4,3	0,1	0,0	90,5	2,0	0,0	0,0
Vidro	0,5	0,1	0,4	0,1	0,0	98,9	1,1	0,0	0,0
Têxteis e couro	48,0	6,4	40,0	2,2	0,2	3,2	10,0	66,0	17,5
Borracha	69,7	8,7	0,0	2,0	1,6	20,0	1,2	83,9	4,9
Madeira	49,5	6,0	42,7	0,2	0,1	1,5	20,0	68,1	0,0

Onde C = Carbono, H = Hidrogênio, O = Oxigênio, N = Nitrogênio, Cz = Cinzas, W = Umidade, MV = Material volátil, CF = Carbono fixo.

Fonte: Jimenez, 2016 apud Kami, 2019.

O PCI pode ser estimado a partir do Poder Calorífico Superior – PCS, entalpia de vaporização da água e o teor de umidade do material de interesse. Abaixo são apresentadas as equações para a determinação do PCI de acordo com o teor de umidade. As equações foram extraídas de Kami (2019).

Para combustíveis contendo hidrogênio o PCI é dado por:

$$\text{PCI úmido} = (1-W) \cdot \text{PCS base seca} - [(1 - W) \cdot 9 \cdot H + W] \cdot h_{LV} \quad (3)$$

Onde,

PCI úmido: poder calorífico inferior na condição úmida em (kcal/kg).

PCS base seca: poder calorífico superior na condição seca em (kcal/kg).

W: teor de umidade em (%).

h_{LV} : entalpia de vaporização da água a 25°C (kcal/kg).

H: % em massa e em base seca de Hidrogênio.

A maioria dos combustíveis possui hidrogênio em sua composição o que gera uma quantidade de água adicional quando este reage com oxigênio durante a combustão (POLI, 2013).

Considerando a entalpia da água a 25°C $h_{LV} = 584,2$ kcal/kg podemos reescrever a equação (3) como POLI et al. (2013):

$$\text{PCI úmido} = (1-W) \cdot \text{PCS base seca} - [(1 - W) \cdot 9 \cdot H + W] \cdot 584,2 \quad (4)$$

Assim, o PCI foi estimado por dedução a partir da composição elementar. Para tanto, a fins de comparação, foram utilizadas as equações de Dulong Modificada, Llyod & Davenport extraídas de Poli et al. (2013).

- Dulong Modificada

Através da equação de Dulong modificada pode-se obter os valores de PCS, conforme segue:

$$\text{PCS base seca [kcal/kg]} = 7831 \cdot C_{org} + 35932 \cdot (H - O/8) + 2212 \cdot S - 3545 \cdot C_{inorg} + 1187 \cdot O + 578 \cdot N \quad (5)$$

Onde,

PCS base seca: Poder Calorífico Superior dos RSU (kcal/kg).

C_{org} : % em massa e em base seca de Carbono orgânico.

C_{inorg} : % em massa e em base seca de Carbono inorgânico.

H: % em massa e em base seca de Hidrogênio.

O: % em massa e em base seca de Oxigênio.

S: % em massa e em base seca de Enxofre.

N: % em massa e em base seca de Nitrogênio.

De acordo com Poli et al. (2013) a parcela referente ao carbono inorgânico não participa da combustão, portanto, se incorpora às cinzas. Isso porque esta fração é correspondente ao carbono mineralizado, principalmente na forma de carbonatos. Esta fração situa-se entre 0.8 – 1%, logo possui pouca influência, sendo de cerca de 32 kcal de um total de 3.500 kcal.

Deste modo, considerando-se as equações 4 e 5, o PCI pela equação de Dulong Modificada é dado por:

$$PCI_{lw} [kcal/kg] = (1 - W) \cdot [7831 \cdot C + 35932 \cdot (H - O/8) + 2212 \cdot S + 1187 \cdot O + 578 \cdot N - 32] - [(1 - W) \cdot 9 \cdot H + W] \cdot 583,2 \quad (6)$$

Onde,

PCI_{lw}: Poder Calorífico Inferior dos RSU na condição de umidade “W” (kcal/kg).

C: % em massa e em base seca de Carbono.

H: % em massa e em base seca de Hidrogênio.

O: % em massa e em base seca de Oxigênio.

S: % em massa e em base seca de Enxofre.

N: % em massa e em base seca de Nitrogênio.

- Lloyd e Davenport

Por meio da equação de Lloyd e Davenport pode-se obter os valores de PCS, conforme se segue:

$$PCS \text{ base seca } [kcal/kg] = (1 - W) \cdot [8546 \cdot C + 27126 \cdot H - 2018 \cdot O + 1419 \cdot N + 2672 \cdot S] \quad (7)$$

Deste modo, considerando-se as equações 4 e 7 o PCI pela equação de Lloyd e Davenport é dado por:

$$PCI_{lw} [kcal/kg] = (1 - W) \cdot [8546 \cdot C + 27126 \cdot H - 2018 \cdot O + 1419 \cdot N + 2672 \cdot S] - [(1 - W) \cdot 9 \cdot H + W] \cdot 583,2 \quad (8)$$

3.3 Estimativa das emissões

Para estimar as emissões provenientes da combustão do CDR foi aplicada a metodologia AP-42 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA). Por meio de fatores de emissão característicos da fonte de emissão é possível estimar a quantidade de poluentes emitida.

Os fatores de emissão são valores representativos que podem ser associados a quantidade de um poluente relacionado a uma atividade e que é emitido para a atmosfera. Esses fatores geralmente são expressos como a massa do poluente em unidade de massa, volume, distância, ou duração da atividade de emissão dos poluentes (EPA, 2016).

A equação geral para a estimativa de emissões é expressa a seguir.

$$E = A \cdot EF \quad (10)$$

Onde,

E: Emissão (g/ton).

A: Taxa de atividade (ton).

EF: Fator de emissão (kg/mg).

Para o presente estudo foram considerados os seguintes poluentes: MP, SO₂, NO₂, CO, HCL, dioxinas, As, Ni, Cd, Hg e Pb. Os fatores de emissão característicos da combustão do CDR foram retirados da tabela da AP-42, Capítulo 2, seção 2-1 e são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Fatores de emissão

Poluente	Sem dispositivo de controle	SD/Filtros de tecido
	Fator de emissão (kg/mg)	Fator de emissão (kg/mg)
MP total	3,48 E+01	6,64 E-02
SO _x (SO ₂)	1,95 E+00	2,21 E-01
NO _x (NO ₂)	2,51 E+00	2,51 E+00
CO	9,6 E-01	9,6 E-01
CCI (HCl)	3,49 E+00	2,64 E-02
Dioxinas	4,73 E-06	1,22 E-08

Arsênio (As)	2,97 E-03	2,59 E-06
Níquel (Ni)	2,18 E-03	3,15 E-05
Cádmio (Cd)	4,37 E-03	1,66 E-05
Mercúrio (Hg)	2,8 E-03	1,46 E-04
Chumbo (Pb)	1,00 E-01	5,19 E-04

Fonte: EPA, 1996.

Ressalta-se que foram realizadas estimativas das emissões para dois cenários, sem dispositivo de controle da poluição atmosférica e com dispositivo de controle composto por *Spray drying* e filtros manga. As emissões foram calculadas considerando-se uma taxa de execução de 1 tonelada de CDR.

A fins de comparação, foi realizado o cálculo das emissões para os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos conforme a Resolução CONAMA 316 de 2002, haja vista que estes estão expressos em miligrama por normal metro cúbico (mg/Nm³) (Tabela 4). Para o cálculo dos fatores de emissão foi considerado o volume médio de emissão de uma planta de incineração na Europa o qual segundo Leme (2010) é de 5.500 Nm³/ton de CDR.

Deste modo, foram obtidos os seguintes fatores de emissão conforme exposto na Tabela 5. Ressalta-se que foram resumidos na Tabela 5 as emissões para os poluentes cujo fator de emissão consta na AP-42 da EPA, portanto, alguns dos poluentes não são exibidos.

Tabela 4. Limite de emissões atmosféricas para o tratamento térmico em (mg/Nm³) de resíduos de acordo com a Resolução CONAMA 316 de 2002

Poluente	(mg/Nm ³)	Poluente	(mg/Nm ³)	Poluente	(mg/Nm ³)
MP total	70	Classe I		Classe III	
SO _x (SO ₂)	280	Arsênio (As)		Antimônio (Sb)	
NO _x (NO ₂)	560	Cobalto (Co)	0,28	Chumbo (Pb)	
CO	123	Níquel (Ni)	no total	Cromo (Cr)	
CCI (HCl)	80	Telúrio (Te)		Cianetos (CN)	
CFI (HF)	5	Selênio (Se)		Cobre (Cu)	
Dioxinas	0,0005	Classe II		Estanho (Sn)	7,00
		Cádmio (Cd)	1,4	Fluoretos (F)	no total
		Mercúrio (Hg)	no total	Manganês (Mn)	
		Tálio (Tl)		Platina (Pt)	
				Paládio (Pd)	
				Ródio (Rh)	
				Vanádio (V)	

Fonte: CONAMA 316 de 2002.

Tabela 5. Emissões atmosféricas para o tratamento térmico de resíduos em (g/ton) considerando-se a Resolução CONAMA 316 de 2002

Poluente	Emissão (g/ton)
MP total	385,00
SO _x (SO ₂)	1540,00
NO _x (NO ₂)	3080,00
CO	676,50
CCI (HCl)	440,00
Dioxinas	0,00275
Arsênio (As)	1,54
Níquel (Ni)	
Cádmio (Cd)	7,70
Mercúrio (Hg)	
Chumbo (Pb)	38,50

Fonte: Adaptado de CONAMA 316.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Determinação do PCI

Para a determinação do PCI do CDR foram utilizadas as equações de Dulong Modificada, Lloyd e Davenport a fins de comparação. Os resultados para cada um dos modelos utilizados são apresentados a seguir.

- Dulong Modificada

Na Tabela 6 estão exibidos os valores de PCI obtidos através da equação de Dulong Modificada.

Tabela 6. Resultado da determinação do PCI pela equação de Dulong Modificada

Fração Gravimétrica	Peso total (kg)	(%)	PCI _{úmido} Individual (kcal/kg)	PCI _{úmido} Individual (kJ/kg)	Contribuição ao PCI _{úmido} Total (kJ/kg)	% do PCI _{úmido} Total
Fração orgânica	201,729	7,87	933,36	3905,16	307,50	2,27
Papel	951,979	37,16	3261,37	13645,57	5070,50	37,48
Plástico	628,685	24,54	5787,09	24213,17	5941,78	43,92
Metal	79,992	3,12	344,06	1439,53	44,95	0,33
Vidro	383,330	14,96	18,51	77,43	11,59	0,09
Têxteis e couro	281,717	11,00	3889,03	16271,70	1789,28	13,23
Borracha	22,982	0,90	8037,89	33630,52	301,68	2,23
Madeira	11,521	0,45	3305,51	13830,24	62,19	0,46
Total	2.561,936	100			13529,46	100

Fonte: Elaboração própria

É possível observar da análise da coluna 4 da tabela, “PCI úmido Individual (kJ/kg)” que os materiais com PCI mais alto são as borrachas, os plásticos, os papéis, madeira e os têxteis e couros.

Após a determinação do PCI úmido individual, foi verificada a contribuição de cada um desses materiais para com o PCI total em função de sua participação na composição gravimétrica do CDR. Deste modo, apesar de a borracha ter um PCI individual bastante elevado, da ordem de 33.500 kJ/kg, em função da participação deste material na composição gravimétrica ser de 0,90%, sua contribuição ao PCI total foi de apenas 301,68 kJ/kg.

O material com maior contribuição ao PCI total do CDR foi plástico, isto em função de seu alto PCI individual, da ordem de 24.000 kJ/kg, e de sua participação na composição gravimétrica representando 24,54%, assim, sua contribuição para o PCI total foi de 5.941,78 kJ/kg. O papel apesar de apresentar a maior contribuição para a composição gravimétrica 37,16%, apresenta um PCI de cerca de 50% do PCI do plástico, portanto, sua contribuição ao PCI total é inferior à do plástico, logo, contribuindo com 5.070,50 kJ/kg.

Assim, fica evidenciado a importância da composição gravimétrica do resíduo para com a qualidade do CDR. O PCI total do CDR obtido pela equação de Dulong Modificada foi de 13.529,46 kJ/kg. Deste modo, considerando-se que a quantidade de rejeito da coleta seletiva gerada ao longo de 1 ano seja de cerca de 2.500.000 kg, é possível em 1 ano gerar 9.395.461,68 kWh. Considerando-se que o consumo médio de energia elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC entre os anos de 2013 – 2018 foi da ordem de 26.000.000 kWh, verifica-se que o CDR poderia suprir cerca de 37% da demanda de energia ao longo de 1 ano (UFSC, [2018?]).

- Lloyd e Davenport

Na Tabela 7 estão exibidos os valores de PCI obtidos pela equação de Lloyd e Davenport.

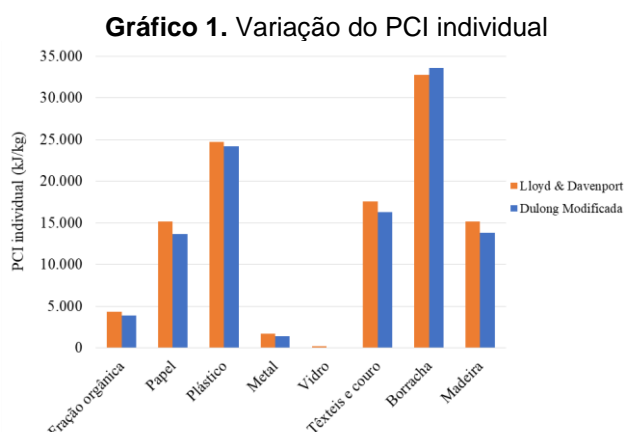
Tabela 7. Resultado da determinação do PCI pela equação de Lloyd e Davenport

Fração Gravimétrica	Peso total (kg)	Peso Total (%)	PCI _{úmido} Individual (kcal/kg)	PCI _{úmido} Individual (kJ/kg)	Contribuição ao PCI _{úmido} Total (kJ/kg)	% do PCI _{úmido} Total
Fração orgânica	201729	7.87	1029.07	4305.63	339.03	2.35
Papel	951979.2	37.16	3625.80	15170.35	5637.09	39.10
Plástico	628684.88	24.54	5901.36	24691.30	6059.11	42.03

Metal	79992.24	3.12	410.20	1716.30	53.59	0.37
Vidro	383330.4	14.96	50.90	212.97	31.87	0.22
Têxteis e couro	281717	11	4200.10	17573.24	1932.40	13.41
Borracha	22982	0.9	7828.84	32755.87	293.84	2.04
Madeira	11521	0.45	3632.74	15199.39	68.35	0.47
Total	2639479.72	100			14415.27	100

Fonte: Elaboração própria

Análogo aos resultados obtidos pela equação de Dulong Modificada, é possível observar que os materiais com PCI mais alto são as borrachas, os plásticos, os papéis, madeira e os têxteis e couros. Quando aplicada a equação de Lloyd e Davenport é possível observar que houve uma certa variação no PCI individual dos materiais, quando comparados ao PCI individual obtido pela equação de Dulong, isso se deve ao fato de o peso atribuído aos elementos ser diferente. O material que apresentou maior variação em seu PCI foi o vidro o qual teve um aumento de cerca de 63%, seguido do metal que apresentou um aumento de aproximadamente 16%, já o PCI da borracha diminuiu em quase 3%. No Gráfico 1 é possível observar a variação do PCI individual para cada material com relação aos PCIs individuais obtidos pela equação de Dulong Modificada.



Fonte: Elaboração própria.

Apesar de observada uma certa variação nos PCIs individuais as contribuições em porcentagem para com o PCI total são semelhantes, bem como o PCI total apresentou uma pequena variação. Sendo o PCI do CDR calculado com a equação de Lloyd e Davenport de 14.415,27 kJ/kg, ou seja, a diferença para com o PCI total obtido pela equação de Dulong Modificada foi de 885,80 kJ/kg. Deste modo, com um PCI total de 14.415,27 kJ/kg, podem ser gerados 10.258.609,41 kWh, portanto, podendo atender o equivalente à 40% da demanda da UFSC durante o período de 1 ano. De acordo com Kami (CHANG et al., 2007; KOMILIS et al., 2012 apud 2019) os resultados obtidos por meio do modelo de Dulong Modificado além de produzir resultados muito próximos aos dos ensaios experimentais, é também uma forma bastante econômica e rápida para se estimar o poder calorífico do CDR. Kami (2019) salienta que a determinação da composição gravimétrica pode implicar em incertezas em decorrência da heterogeneidade dos RSU.

4.2 Estimativa das emissões

As estimativas das emissões da queima do CDR foram calculadas para duas situações sem e com dispositivo de controle. Para a primeira situação as emissões são para efluente gasoso lançado sem nenhum tipo de tratamento. Já na segunda situação, foram considerados dois dispositivos de controle filtros manga e o *spray drying* - SD. A Tabela 8 apresenta de maneira sintetizada os resultados das emissões para as duas situações adotadas e o comparativo com a Resolução CONAMA 316/2002, sendo que valores fora dos limites da legislação estão sinalizados em vermelho.

Tabela 8. Resultados das estimativas das emissões e comparativo com o exposto na Resolução CONAMA 316 de 2002

Poluente	Sem dispositivo de controle	SD/Filtros de tecido	CONAMA 316/2002
	Emissão (g/ton)	Emissão (g/ton)	Emissão (g/ton)
MP total	34800,00	66,40	385,00
SO _x (SO ₂)	1950,00	221,00	1540,00
NO _x (NO ₂)	2510,00	2510,00	3080,00
CO	960,00	960,00	676,50
CCI (HCl)	3490,00	26,40	440,00
Dioxinas	0,00473	0,0000122	0,00275
Arsênio (As)	5,15	0,03409	1,54
Níquel (Ni)			
Cádmio (Cd)	7,17	0,1626	7,70
Mercúrio (Hg)			
Chumbo (Pb)	100	0,519	38,50

Fonte: Elaboração própria.

Da Tabela 8 pode se verificar que, com exceção do CO, os poluentes apresentaram-se em concentração dentro do limite estabelecido pela legislação vigente para o caso das emissões considerando-se o uso conjunto dos dispositivos de controle do tipo filtro manga e *spray drying*. É importante ressaltar que podem ser adotados outros dispositivos de controle, no entanto, optou-se pelo filtro manga e o *spray drying*, pois além de serem os mais comuns foram os que apresentaram os menores fatores de emissão, de modo que estes são os mais eficientes no tratamento das emissões provenientes da queima do CDR.

Salienta-se, no entanto, que a emissão de CO pode e deve ser controlada por meio do controle da injeção de ar durante o processo de combustão do CDR, tanto oxigênio em excesso quanto a deficiência deste durante o processo de combustão elevam as emissões de CO (EPA, 2016).

Não é comum a ocorrência de altas concentrações de CO em ambientes externo. Porém, quando as concentrações de CO nos ambientes externos está elevada, pode implicar em complicações para alguns grupos de pessoas com problemas cardíacos (EPA, 2016).

5. CONCLUSÃO

Da busca por soluções imediatas, muitas vezes impensadas a longo prazo e até mesmo de modo realista e praticável, é que surgem os maiores desafios hoje encarados acerca da gestão dos resíduos sólidos. A hierarquia dos resíduos sólidos visa a não geração, redução; reutilização; reciclagem; recuperação; e por fim, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos. Deste modo, dada a demanda por novas alternativas energéticas, bem como a necessidade de explorar alternativas ao aterro sanitário, é importante considerar a recuperação energética dos resíduos sólidos. Além de ser considerada uma fonte de energia, o CDR ainda reduz significativamente a quantidade de resíduos encaminhadas para os aterros sanitários.

Conforme verificado nos resultados o CDR proveniente da fração de rejeitos da coleta seletiva do Município de Florianópolis teria a capacidade de atender algo entre 30 e 35% da demanda energética da UFSC. Deve-se considerar também, que neste estudo foram avaliados apenas os rejeitos provenientes da coleta seletiva, podendo ainda ser explorada a utilização de materiais selecionados da coleta convencional os quais atendam as especificações do CDR. Sendo a proposição de um consórcio entre os municípios da região da Grande Florianópolis, uma alternativa para se aumentar a geração de CDR, de modo a viabilizar o processo de recuperação energética e diminuir a utilização dos aterros sanitários.

No tocante às emissões foi verificado que com a adoção de dispositivos de controle de poluição atmosférica as emissões de poluentes podem ser reduzidas de maneira significativa, de modo a

satisfazer o exposto na legislação vigente. Isso com a exceção de um poluente, o CO cuja a formação e emissão podem ser controladas através do controle do processo de combustão. Assim, evidencia-se o potencial do CDR como uma alternativa energética viável do ponto de vista energético oferecido pela composição deste, bem como, do ponto de vista ambiental naquilo que concerne não apenas a quantidade de resíduos passível de ser desviada dos aterros sanitários, mas também com relação ao impacto da qualidade do ar tendo por base as emissões provenientes da combustão do CDR. Salienta-se, no entanto, a necessidade de um estudo mais aprofundado para a avaliação dos impactos ambientais, incluindo o tocante a qualidade do ar.

● REFERÊNCIAS

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 316**, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Brasília, DF, 29 out. 2002. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=338>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

EPA. Environmental Protection Agency. **Criteria for the Definition of Solid Waste and Solid and Hazardous Waste Exclusions**. 2016. Disponível em:< <https://www.epa.gov/hw/criteria-definition-solid-waste-and-solid-and-hazardous-waste-exclusions>>. Acesso em: 03 nov. 2019.

_____. **AP 42**, Fifth Edition, Volume I, Chapter 2: Solid Waste Disposal. 2.1 Refuse Combustion, Final Section - Supplement B, out. 1996.

_____. **Energy Recovery from the Combustion of Municipal Solid Waste (MSW)**. 2016. Disponível em:< <https://www.epa.gov/smm/energy-recovery-combustion-municipal-solid-waste-msw>>. Acesso em: 01 jan. 2020.

FLORIANÓPOLIS, Prefeitura Municipal de. **Plano Municipal de Coleta Seletiva: Produto 01. Relatório Parcial 1 – Diagnóstico contendo: origem e volume dos resíduos, formas de destinação e disposição final adotadas e o modelo atual de coleta seletiva**. Florianópolis: Prefeitura, 2014. 165 p. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/24_08_2016_15.21.39.ef559b0ca6f64db680871cece918378.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2020.

_____. **Plano Municipal de Coleta Seletiva: Produto 01. Relatório Parcial 2 – Caracterização dos Resíduos Sólidos da Coleta Convencional e Seletiva**. Florianópolis: Prefeitura, 2016. 175 p. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/24_08_2016_15.27.09.9b56b5b392c9a3ed272b055da90b836c.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2020.

KAMI, Eduardo Choozo Arenas. **Análise Termoeconômica de Sistema Híbrido Solar Térmico Integrado à Unidade de Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2019. p. 240. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

LEME, Marcio Montagnana Vicente. **Avaliação das Opções Tecnológicas para Geração de Energia Através dos Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso**. 2010. p. 138. Dissertação Mestrado em Engenharia da Energia – Universidade Federal de Itajubá, Campinas, 2010.

MAMEDE, M. C. S. **Avaliação Econômica e Ambiental do Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos no Brasil**. 2013. p. 123. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

POLI, Dora de Castro Rubio et al. Uma avaliação das metodologias para determinação do poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos. **Waste Management**.v. 8, n. 8, p. 09-31, 2013. Revista de ciências Exatas e Tecnologia. Disponível em: <<https://revista.pgsskroton.com/index.php/rcext/article/view/2217>>. Acesso em: 28 dez. 2019.

UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. **Energia Velha**. Disponível em:< <https://ufscsustentavel.ufsc.br/energia-velha/>>. Acesso em: 11 jan. 2020.