

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO AMBIENTAL

ANÁLISE ENERGÉTICA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ATERRO SANITÁRIO

Dayse Pereira do Nascimento¹ (dayse.pereira@cear.ufpb.br), Daniel de Paula Diniz¹ (danieldiniz@cear.ufpb.br), Ricardo Chacarteghi² (ricardoch@us.es), Monica Carvalho³ (monica@cear.ufpb.br)

1 Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis – Universidade Federal da Paraíba

2 Escuela Técnica Superior de Ingeniería - Universidad de Sevilla – Espanha

3 Departamento de Energias Alternativas e Renováveis - Universidade Federal da Paraíba

RESUMO

Este trabalho mostra os resultados obtidos para a análise energética do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa. Após estabelecimento de restrições de produção e operação dos motores, selecionou-se o motor Jenbacher 620 GS-BL (F21) devido a sua maior produção de eletricidade, que ao longo da vida útil do aterro, pode chegar a 21,3 GWh. Calculou-se também a quantidade de calor cogenerado, que nos primeiros anos de funcionamento do aterro não é suficiente para evaporação do lixiviado. Porém este pode ser armazenado até que se obtenha suficiente calor, e a planta de tratamento de lixiviado começa a operar. A análise econômica considerou a possibilidade de venda da eletricidade gerada, e os gastos associados a operação e manutenção da planta de cogeração. Após alguns anos de operação, com o aumento da produção de eletricidade aumenta também a receita e, portanto, o resultado líquido econômico é positivo, certificando que a instalação proposta é rentável.

Palavras-chave: Biogás; Cogeração; Eletricidade; Aterro Sanitário.

ENERGY ANALYSIS FOR BIOGAS PRODUCTION IN A LANDFILL

ABSTRACT

This work shows the results obtained for the energy analysis of the Metropolitan Sanitary Landfill of João Pessoa. After establishing restrictions on the production and operation of the engines, the Jenbacher 620 GS-BL (F21) engine was selected because of its higher electricity production, which can reach 21.3 GWh over the lifetime of the landfill. The amount of cogenerated heat was also calculated, which in the first years of operation of the landfill is not enough to evaporate the leachate. However, this can be stored until sufficient heat is obtained, and then leachate treatment plant begins to operate. The economic analysis considered the possibility of selling the electricity generated, and the expenses associated with the operation and maintenance of the cogeneration plant. After a few years of operation, the increase in electricity production also increases the revenue and, therefore, the economic net result is positive, ensuring the profitability of the proposed installation.

Keywords: Biogas; Cogeneration; Electricity; Sanitary Landfill.

1. INTRODUÇÃO

Para a realidade de países em desenvolvimento, a disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados nos grandes centros urbanos é feita em aterro sanitário, sendo a maneira economicamente mais viável e ambientalmente correta.

Depois que resíduos sólidos são depositados em aterros sanitários, iniciam-se processos bioquímicos e físicos complexos, levando à produção de emissões líquidas e gasosas (BRITO FILHO, 2015). Produz-se lixiviado, que contém componentes solúveis e produtos de degradação dos resíduos, assim como os gases do efeito estufa, gerados durante a estabilização da fração

orgânica dos resíduos sólidos. O biogás pode ter diferentes utilizações, mas pode-se dizer que a mais nobre é a geração de eletricidade.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados obtidos a partir da metodologia GasSim, verificando a viabilidade técnica da implementação de um sistema de captura de biogás para geração de energia elétrica no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa.

3. METODOLOGIA

A metodologia foi apresentada na primeira parte deste trabalho, intitulada *Estimativa de Geração de Biogás em Aterro Sanitário* (NASCIMENTO et al., 2019). Os dados do recebimento de resíduos sólidos no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa entre os anos de 2003 até 2015 foram obtidos com a Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana – EMLUR, sendo feita uma estimativa do recebimento de resíduos entre os anos de 2016 até 2027, onde em 2018 ocorrerá o encerramento das atividades do aterro, ocorrendo apenas a produção de biogás decorrente dos resíduos depositados durante a vida útil do aterro, sendo feita uma estimativa dos dados de geração de biogás.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Quantidade de resíduos sólidos urbanos

Segundo a Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana – EMLUR, o ASMJP recebeu, desde o início de suas atividades até 30/06/2016, 3.645.345,89 toneladas de RSU (EMLUR, 2016; PIMENTEL, 2017). A Tabela 1 mostra os dados anuais de disposição de RSU.

4.2 Emissões anuais, método GasSim

Para se calcular a geração de biogás no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, foram utilizados os dados da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos para assim, estimar esta geração de biogás.

Para o caso do Aterro Metropolitano de João Pessoa, os parâmetros utilizados foram Matéria Orgânica (MO = 0,57), Fração Rapidamente Degradada (FRD = 0,30) e Fração Lentamente Degradada (FLD = 0,25). A aplicação do método GasSim e suas respectivas equações resultaram nas emissões anuais.

A Tabela 1 mostra a evolução temporal da deposição de RSU no aterro, desde a inauguração (em 2003), até o encerramento de atividades em 2028. Utilizou-se a função *previsão* do Excel para estimar a disposição de RSU entre 2016 e 2028 (anos para os quais não há dados). A partir de 2028 até 2042, não houve disposição de RSU no aterro mas introduziram-se fatores de correção para degradação de matéria orgânica. Com a fração de matéria orgânica estimada nos RSU dispostos no aterro, pode-se especificar a fração rapidamente e lentamente degradada. O valor de k utilizado para FRD foi 0,346574 e para FLD foi 0,173287. Os valores de COD para FRD e FLD, foram respectivamente 0,16392 e 0,1366.

Aplicação da Equação 3 para as frações rapidamente e lentamente degradadas resultou na produção de metano para cada fração. Considerou-se que a fração lentamente degradada só começa sua degradação três anos após o início da disposição de RSU no aterro.

A quantidade total de metano gerado foi a soma das frações FRD e FLD, em toneladas. Para calcular a quantidade de biogás captável (Equação 10), utilizou-se uma eficiência de captação do

sistema = 75% e uma capacidade de produção = 97%. Considerou-se que o metano correspondeu a 50% do biogás gerado no aterro. Conversão de toneladas para m³ de biogás utilizou a densidade 0,979 m³/kg.

A curva de geração de biogás no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa utilizando o método GasSim possui um pico em 2028, ano em que se encerra a vida útil do aterro sanitário, havendo em seguida um declínio na produção de biogás.

Tabela 1: Geração de biogás do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa/PB.

Ano	t/ano RSU	MO	FRD	FLD	CH4 t		CH4 t Total	Biogás captável t	Biogás total m ³	
					FRD	FLD				
2003	414.544	236.290	70.887	59.073	0,33	0,00	0,33	0,47	484,61	
2004	421.796	240.424	72.127	60.106	0,47	0,00	0,47	0,68	697,33	
2005	466.503	265.907	79.772	66.477	0,73	10,54	11,27	16,40	16.748	
2006	525.731	299.667	89.900	74.917	1,17	14,12	15,29	22,25	22.722	
2007	498.625	284.216	85.265	71.054	1,57	15,92	17,49	25,45	25.999	
2008	471.893	268.979	80.694	67.245	2,10	17,92	20,02	29,13	29.757	
2009	445.496	253.932	76.180	63.483	2,80	20,12	22,92	33,36	34.071	
2010	497.779	283.734	85.120	70.933	4,43	26,74	31,17	45,35	46.320	
2011	533.343	304.005	91.202	76.001	6,71	34,07	40,78	59,33	60.607	
2012	570.229	325.031	97.509	81.258	10,15	43,31	53,46	77,79	79.458	
2013	643.096	366.564	109.969	91.641	16,19	58,09	74,28	108,08	110.395	
2014	719.836	410.307	123.092	102.577	25,62	77,33	102,95	149,79	153.007	
2015	658.923	375.586	112.676	93.897	33,17	84,18	117,35	170,74	174.403	
Previsão	2016	677.971	386.444	115.933	96.611	48,27	103,00	151,26	220,09	224.810
	2017	699.354	398.632	119.590	99.658	70,41	126,35	196,76	286,29	292.428
	2018	720.737	410.820	123.246	102.705	102,62	154,85	257,47	374,62	382.656
	2019	742.120	423.008	126.902	105.752	149,43	189,61	339,05	493,31	503.893
	2020	763.502	435.196	130.559	108.799	217,42	231,98	449,41	653,88	667.911
	2021	784.885	447.384	134.215	111.846	316,09	283,60	599,69	872,56	891.273
	2022	806.268	459.573	137.872	114.893	459,20	346,45	805,65	1.172,22	1.197.367
	2023	827.651	471.761	141.528	117.940	666,63	422,93	1.089,56	1.585,31	1.619.312
	2024	849.033	483.949	145.185	120.987	967,11	515,94	1.483,06	2.157,85	2.204.135
	2025	870.416	496.137	148.841	124.034	1.402,15	629,01	2.031,17	2.955,35	3.018.741
	2026	891.799	508.325	152.498	127.081	2.031,66	766,40	2.798,06	4.071,18	4.158.507
	2027	913.182	520.514	156.154	130.128	2.942,09	933,27	3.875,35	5.638,64	5.759.590
	Fim	2028	-	520.514	156.154	130.128	5.884,17	1.866,53	7.750,71	11.277,28
	2029	-	499.693	149.908	124.923	5.422,85	1.720,20	7.143,05	10.393,14	10.616.077
	2030	-	478.872	143.662	119.718	4.980,36	1.579,83	6.560,20	9.545,09	9.749.835
	2031	-	458.052	137.416	114.513	4.556,70	1.445,44	6.002,15	8.733,12	8.920.454
	2032	-	437.231	131.169	109.308	4.151,87	1.317,03	5.468,90	7.957,25	8.127.934
	2033	-	416.411	124.923	104.103	3.765,87	1.194,58	4.960,45	7.217,46	7.372.276
	2034	-	395.590	118.677	98.898	3.398,70	1.078,11	4.476,81	6.513,76	6.653.479
	2035	-	374.770	112.431	93.692	3.050,35	967,61	4.017,97	5.846,14	5.971.543
	2036	-	353.949	106.185	88.487	2.720,84	863,09	3.583,93	5.214,61	5.326.469

2037	-	333.129	99.939	83.282	2.410,16	764,53	3.174,69	4.619,17	4.718.256
2038	-	312.308	93.692	78.077	2.118,30	671,95	2.790,25	4.059,82	4.146.905
2039	-	291.488	87.446	72.872	1.845,28	585,35	2.430,62	3.536,55	3.612.415
2040	-	270.667	81.200	67.667	1.591,08	504,71	2.095,79	3.049,38	3.114.786
2041	-	249.847	74.954	62.462	1.355,71	430,05	1.785,76	2.598,28	2.654.019
2042	-	229.026	68.708	57.256	1.139,18	361,36	1.500,54	2.183,28	2.230.113

4.3 Energia disponível anualmente no Aterro Sanitário Municipal de João Pessoa

Para o biogás gerado no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa foi calculado o PCI = 5,417 kWh/Nm³, e a energia disponível anualmente no aterro está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Energia disponível produzida anualmente no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa/PB.

Ano	Biogás total	Energia disponível	Encerramento	Ano	Biogás total	Energia disponível
	Nm ³ /h	kWh			Nm ³ /h	kWh
2003	0,06	0,30		2028	1.314,97	7.122,82
2004	0,08	0,43		2029	1.211,88	6.564,82
2005	1,91	10,36		2030	1.112,99	6.028,76
2006	2,59	14,05		2031	1.018,32	5.515,91
2007	2,97	16,08		2032	927,85	5.025,86
2008	3,40	18,40		2033	841,58	4.558,61
2009	3,89	21,07		2034	759,53	4.114,14
2010	5,29	28,64		2035	681,68	3.692,47
2011	6,92	37,48		2036	608,04	3.293,59
2012	9,07	49,13		2037	538,61	2.917,51
2013	12,60	68,26		2038	473,39	2.564,22
2014	17,47	94,61		2039	412,38	2.233,72
2015	19,91	107,84		2040	355,57	1.926,01
2016	25,66	139,01		2041	302,97	1.641,10
2017	33,38	180,82		2042	254,58	1.378,98
Previsão						
2018	43,68	236,61				
2019	57,52	311,58				
2020	76,25	413,00				
2021	101,74	551,11				
2022	136,69	740,39				
2023	184,85	1.001,29				
2024	251,61	1.362,91				
2025	344,61	1.866,62				
2026	474,72	2.571,39				
2027	657,49	3.561,41				

A partir da energia disponível e das características técnicas dos motores, considerando-se as restrições de produção e operação já mencionadas, construiu-se o gráfico mostrado na Figura 1, que compara a produção de eletricidade nos motores pesquisados.

O critério para a escolha do motor foi a produção total de eletricidade durante os anos de vida do aterro. Seguindo este critério, o motor Jenbacher JMS 620 GS-B.L. (GE-Energy, 2016) foi o selecionado para instalação no aterro. Durante sua vida útil, este motor terá produção máxima de 21.313.080,00 kWh, no ano de encerramento das atividades do aterro (2028), porém a geração de

energia segue até o ano de 2042, onde o biogás ainda é gerado decorrente dos resíduos sólidos depositados. Detalhes do seu funcionamento estão dispostos na Tabela 3.

A Figura 2 mostra o gráfico com os dados da tabela de produção anual de eletricidade do motor Jenbacher JMS 620 GS-B.L (F21). Observa-se que o pico de produção de energia se deu em 2028, devendo ao término da vida útil do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa.

Figura 1: Produção de eletricidade em diferentes motores, a partir da produção de biogás estimada no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa.

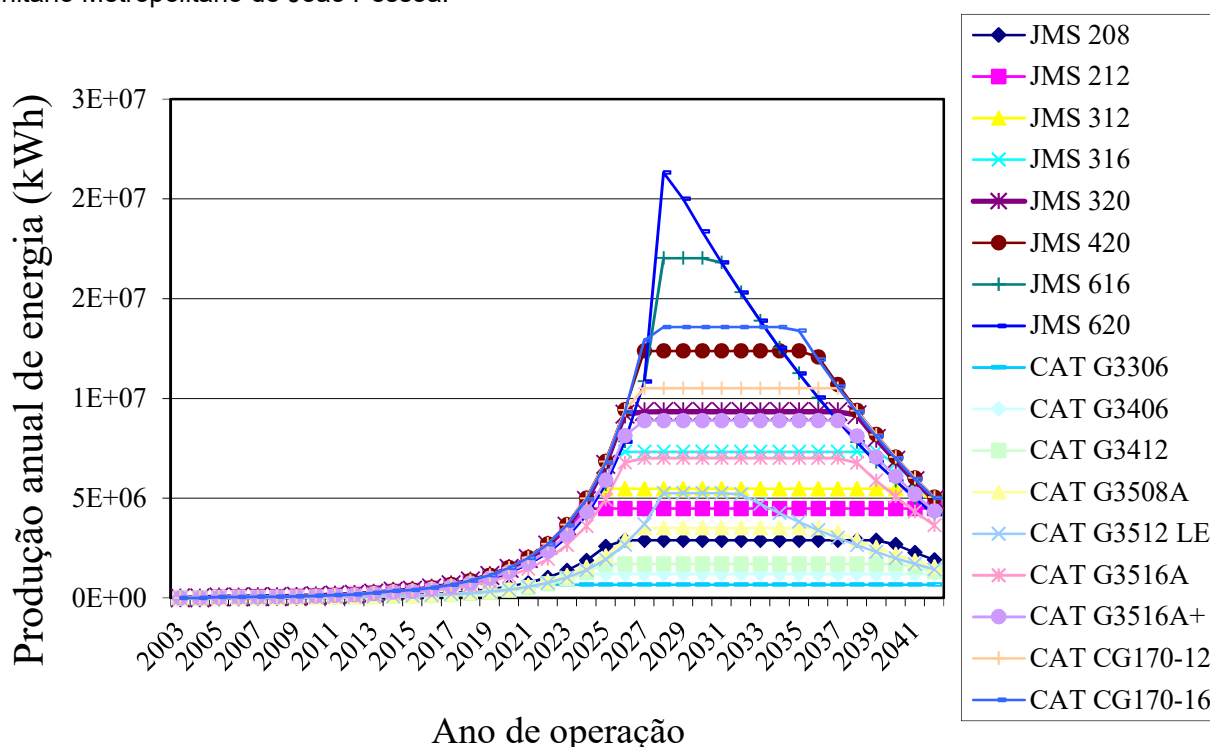
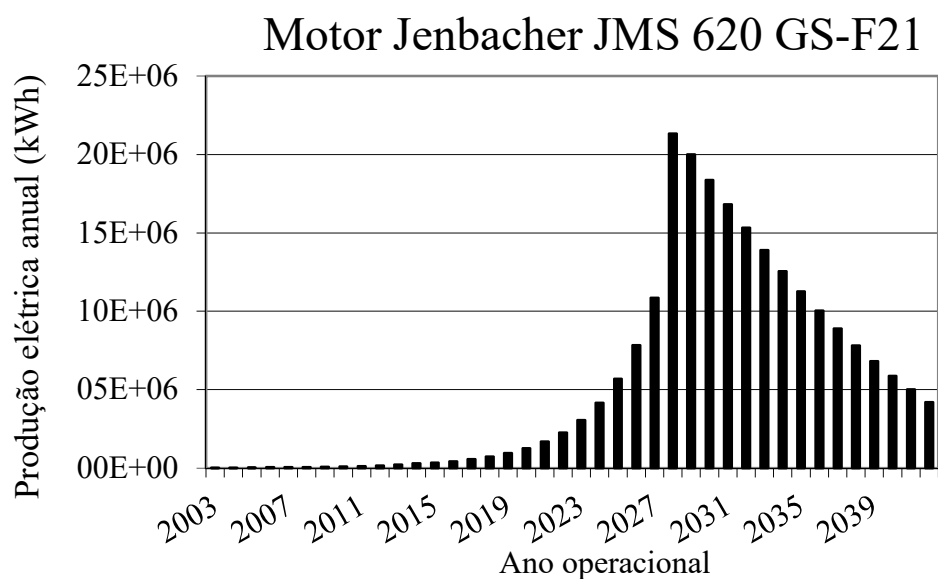


Tabela 4: Funcionamento do motor JENBACHER JMS 620 GS-B.L.

Ano	Biogás (kWh)	Horas de acumulação de biogás (nº)	Horas de funcionamento a 100% (nº)	Produção elétrica anual (kWh)	Calor aproveitado das camisas (kW)
2003	0,11	23.300,23	0,38	912,84	157,15
2004	0,16	16.192,49	0,54	1.313,53	226,13
2005	3,15	674,19	12,99	31.547,74	5.431,20
2006	4,37	496,93	17,63	42.800,94	7.368,53
2007	6,28	434,30	20,17	48.973,64	8.431,21
2008	7,73	379,45	23,09	56.052,75	9.649,94
2009	10,36	331,41	26,43	64.178,09	11.048,78
2010	12,10	243,77	35,94	87.251,10	15.020,99
2011	16,24	186,31	47,02	114.162,57	19.654,02
2012	20,60	142,11	61,64	149.672,93	25.767,42
2013	24,98	102,28	85,65	207.946,50	35.799,69
2014	32,97	73,80	118,70	288.213,76	49.618,35
2015	40,68	64,74	135,30	328.517,28	56.556,93

2016	55,25	50,23	174,41	423.466,99	72.903,30
2017	72,11	38,61	226,87	550.835,24	94.830,78
2018	94,66	29,51	296,87	720.794,78	124.090,70
2019	125,02	22,41	390,92	949.165,25	163.406,54
2020	166,18	16,91	518,17	1.258.119,77	216.595,58
2021	222,33	12,67	691,46	1.678.858,83	289.029,24
2022	299,43	9,43	928,93	2.255.436,54	388.291,79
2023	405,90	6,97	1.256,28	3.050.240,95	525.123,85
2024	553,72	5,12	1.709,99	4.151.849,39	714.774,73
2025	759,96	3,74	2.341,97	5.686.294,68	978.942,00
2026	1.048,99	2,72	3.226,21	7.833.230,51	1.348.554,51
2027	1.455,64	1,96	4.468,34	10.849.134,28	1.867.766,94
2028	2.911,28	0,98	8.936,68	21.313.080,00	3.735.533,88
2029	2.683,03	1,06	8.236,05	19.997.124,30	3.442.668,02
2030	2.464,10	1,16	7.564,01	18.365.414,51	3.161.755,87
2031	2.254,49	1,27	6.920,57	16.803.139,17	2.892.797,44
2032	2.054,20	1,39	6.305,72	15.310.298,29	2.635.792,70
2033	1.863,22	1,53	5.719,48	13.886.891,88	2.390.741,68
2034	1.681,55	1,70	5.161,83	12.532.919,92	2.157.644,37
2035	1.509,21	1,89	4.632,78	11.248.382,42	1.936.500,76
2036	1.346,17	2,12	4.132,32	10.033.279,38	1.727.310,87
2037	1.192,46	2,39	3.660,47	8.887.610,80	1.530.074,68
2038	1.048,06	2,72	3.217,21	7.811.376,68	1.344.792,20
2039	912,98	3,13	2.802,54	6.804.577,02	1.171.463,42
2040	787,21	3,63	2.416,48	5.867.211,82	1.010.088,36
2041	670,76	4,25	2.059,01	4.999.281,08	860.667,01
2042	563,62	5,06	1.730,14	4.200.784,79	723.199,36

Figura 2: Produção anual de eletricidade do motor Jenbacher JMS 620 GS-B.L (F21), instalado no ASMJP.



Considerando-se a quantidade de calor útil necessária para o tratamento de lixiviado, os dados utilizados para realizar os cálculos da Equação 30 são: C_p (água): 1,01 kJ/kg·K, $T_s = 363^\circ\text{C}$, e

quantidade de água 230 kg (segundo fabricante). A Tabela 5 mostra a quantidade de calor útil necessária para o tratamento de lixiviado.

Tabela 5: Quantificação do calor útil para tratamento de lixiviado.

Mês	Temperatura ambiente (K)	Calor útil (kJ)	Calor útil (kW)
Janeiro	298,95	14.805,16	4,11
Fevereiro	298,35	14.943,85	4,15
Março	301,35	14.250,40	3,96
Abril	298,65	14.874,50	4,13
Mai	300,15	14.527,78	4,04
Junho	299,35	14.712,70	4,09
Julho	296,85	15.290,57	4,25
Agosto	298,55	14.897,62	4,14
Setembro	300,65	14.412,20	4,00
Outubro	300,85	14.365,97	3,99
Novembro	300,15	14.527,78	4,04
Dezembro	297,25	15.198,11	4,22
		TOTAL	49,12

A quantidade de calor necessária por ano é $8760 \cdot 49,12 = 430.263,90$ kWh. Consulta aos dados técnicos do fabricante do motor Jenbacher 620 GS-F21 retorna o resultado de 418 kW a dissipar (calor das camisas). A Tabela 4 mostra o resultado anual para o calor dissipado pelas camisas do motor, que deve ser acrescido do calor produzido (obtido a partir do rendimento térmico, e limitado pela capacidade nominal do equipamento).

Observa-se que nos primeiros anos não há calor suficiente para evaporação do lixiviado. Porém nestes anos, não se forma suficiente lixiviado, que pode ser armazenado, e uma vez que se obtenha suficiente calor, a planta de tratamento de lixiviado começa a operar.

O custo do motor Jenbacher JMS 620 GS-B.L foi estimado pela Equação 17 de Nascimento et al. (2019). A Tabela 6 mostra os gastos associados a operação da planta de cogeração. Os números antes das especificações indicam um multiplicador anual.

Tabela 6: Gastos anuais associados com a planta de cogeração.

Gastos com Pessoal			
0,5	Chefe de Planta*	R\$ 64.247,04	R\$ 32.123,52
3	Operadores	R\$ 40.154,40	R\$ 120.463,20
		TOTAL	R\$ 152.586,72
Gastos com Manutenção			
1	Manutenção anual	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
		TOTAL	R\$ 10.000,00
Investimento inicial*			
0,11	Motor	R\$ 3.980.501,88	R\$ 437.037,71
0,11	Depósito	R\$ 20.000,00	R\$ 2.195,89
0,11	Sistema de encanamento	R\$ 50.000,00	R\$ 5.489,73

*O custo do chefe da planta será dividido com o gerenciamento do aterro.

		TOTAL	R\$ 444.723,33
*Amortização de equipamentos ao longo de 15 anos (frc = 0,11)			
Gastos com Manutenção			
1	Manutenção anual	R\$ 8.000,00	R\$ 8.000,00
		TOTAL	R\$ 8.000,00
Gastos com Maquinaria e Transporte			
0,1	Veículo 4x4	R\$ 80.000,00	R\$ 8.000,00
1	Ferramentas e EPIs	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
		TOTAL	R\$ 9.000,00

Os gastos anuais com a planta de cogeração descritos na Tabela 6 são amortizados até o ano de 2018, deixando os resultados líquidos positivo nos anos subsequentes, justificando o investimento inicial do projeto de cogeração do aterro.

Entre os anos de 2003 e 2018, ocorre a amortização do investimento, com custos anuais mais altos. A Tabela 7 mostra o balanço econômico para o sistema de cogeração instalado no ASMJP.

Tabela 9: Balanço econômico para o sistema de cogeração.

Ano	Produção elétrica anual (kWh)	Lucro Bruto (R\$)	Gastos (RS\$)	Resultado Líquido (R\$)
2003	912,84	R\$ 182,57	R\$ 624.310,05	-R\$ 624.127,49
2004	1.313,53	R\$ 262,71	R\$ 624.310,05	-R\$ 624.047,35
2005	31.547,74	R\$ 6.309,55	R\$ 624.310,05	-R\$ 618.000,51
2006	42.800,94	R\$ 8.560,19	R\$ 624.310,05	-R\$ 615.749,87
2007	48.973,64	R\$ 9.794,73	R\$ 624.310,05	-R\$ 614.515,33
2008	56.052,75	R\$ 11.210,55	R\$ 624.310,05	-R\$ 613.099,50
2009	64.178,09	R\$ 12.835,62	R\$ 624.310,05	-R\$ 611.474,44
2010	87.251,10	R\$ 17.450,22	R\$ 624.310,05	-R\$ 606.859,83
2011	114.162,57	R\$ 22.832,51	R\$ 624.310,05	-R\$ 601.477,54
2012	149.672,93	R\$ 29.934,59	R\$ 624.310,05	-R\$ 594.375,47
2013	207.946,50	R\$ 41.589,30	R\$ 624.310,05	-R\$ 582.720,75
2014	288.213,76	R\$ 57.642,75	R\$ 624.310,05	-R\$ 566.667,30
2015	328.517,28	R\$ 65.703,46	R\$ 624.310,05	-R\$ 558.606,60
2016	423.466,99	R\$ 84.693,40	R\$ 624.310,05	-R\$ 539.616,65
2017	550.835,24	R\$ 110.167,05	R\$ 624.310,05	-R\$ 514.143,01
2018	720.794,78	R\$ 144.158,96	R\$ 624.310,05	-R\$ 480.151,10
2019	949.165,25	R\$ 189.833,05	R\$ 179.586,72	R\$ 10.246,33
2020	1.258.119,77	R\$ 251.623,95	R\$ 179.586,72	R\$ 72.037,23
2021	1.678.858,83	R\$ 335.771,77	R\$ 179.586,72	R\$ 156.185,05
2022	2.255.436,54	R\$ 451.087,31	R\$ 179.586,72	R\$ 271.500,59
2023	3.050.240,95	R\$ 610.048,19	R\$ 179.586,72	R\$ 430.461,47
2024	4.151.849,39	R\$ 830.369,88	R\$ 179.586,72	R\$ 650.783,16
2025	5.686.294,68	R\$ 1.137.258,94	R\$ 179.586,72	R\$ 957.672,22
2026	7.833.230,51	R\$ 1.566.646,10	R\$ 179.586,72	R\$ 1.387.059,38
2027	10.849.134,28	R\$ 2.169.826,86	R\$ 179.586,72	R\$ 1.990.240,14

2028	21.313.080,00	R\$ 4.262.616,00	R\$ 179.586,72	R\$ 4.083.029,28
2029	19.997.124,30	R\$ 3.999.424,86	R\$ 179.586,72	R\$ 3.819.838,14
2030	18.365.414,51	R\$ 3.673.082,90	R\$ 179.586,72	R\$ 3.493.496,18
2031	16.803.139,17	R\$ 3.360.627,83	R\$ 179.586,72	R\$ 3.181.041,11
2032	15.310.298,29	R\$ 3.062.059,66	R\$ 179.586,72	R\$ 2.882.472,94
2033	13.886.891,88	R\$ 2.777.378,38	R\$ 179.586,72	R\$ 2.597.791,66
2034	12.532.919,92	R\$ 2.506.583,98	R\$ 179.586,72	R\$ 2.326.997,26
2035	11.248.382,42	R\$ 2.249.676,48	R\$ 179.586,72	R\$ 2.070.089,76
2036	10.033.279,38	R\$ 2.006.655,88	R\$ 179.586,72	R\$ 1.827.069,16
2037	8.887.610,80	R\$ 1.777.522,16	R\$ 179.586,72	R\$ 1.597.935,44
2038	7.811.376,68	R\$ 1.562.275,34	R\$ 179.586,72	R\$ 1.382.688,62
2039	6.804.577,02	R\$ 1.360.915,40	R\$ 179.586,72	R\$ 1.181.328,68
2040	5.867.211,82	R\$ 1.173.442,36	R\$ 179.586,72	R\$ 993.855,64
2041	4.999.281,08	R\$ 999.856,22	R\$ 179.586,72	R\$ 820.269,50
2042	4.200.784,79	R\$ 840.156,96	R\$ 179.586,72	R\$ 660.570,24

Como se observa, a receita nos primeiros anos não supera os gastos. Porém, a partir de 2019, ao aumentar a produção elétrica aumenta também a receita e, portanto, o resultado líquido é positivo, certificando que a instalação proposta é rentável. Os gastos reduzem significativamente devido a amortização dos equipamentos, ou seja o valor do investimento foi diluído nos anos anteriores. O somatório da receita gerada com venda de eletricidade foi de R\$ 43.778.068.,59, a soma total dos gastos anuais foi de R\$ 14.768.539,74, e a soma total dos resultados líquidos anuais é R\$ 29.009.528,85. Ou seja, o balanço econômico total, ao longo da vida útil do aterro, é de pouco mais de R\$ 29 milhões positivos.

Como todos os aterros sanitários geram metano, há muitas oportunidades para reduzir estas emissões por queima direta (tocha) ou coleta de biogás para geração de energia, sendo esta última alternativa uma ótima oportunidade para incluir o aterro sanitário no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). A proposta do MDL é a implantação de um projeto, em um país em desenvolvimento, com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e contribuir para o desenvolvimento sustentável local. Cada tonelada de GEE que deixa de ser emitida ou retirada da atmosfera é transformada em unidade de crédito de carbono, chamada Redução Certificada de Emissões (RCE), que poderá ser negociada no mercado mundial.

5. CONCLUSÃO

Após aplicar o método GasSim, foi observado que o Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa possui uma geração de biogás considerável, chegando a gerar 11.277,28 t/ano no seu pico de produção que ocorre ao final da vida útil do aterro (2028). O potencial de geração do biogás pode ser otimizado, caso ocorra uma melhor separação do RSU depositado no ASMJP (aumentando a proporção de matéria orgânica) sendo assim, aumentara a vida útil do aterro.

Com o estabelecimento de restrições de produção e operação dos motores, selecionou-se o motor Jenbacher 620 GS-BL (F21) devido a maior produção de eletricidade, que ao longo da vida útil do aterro, pode chegar a 21.313.080,00 kWh. Ao longo dos anos a energia gerada na planta de cogeração seria necessária para suprir as necessidades das atividades do aterro e o excedente vender para a concessionária de energia elétrica.

Nos primeiros anos de funcionamento do aterro não há calor suficiente para evaporação do lixiviado por aproveitamento do calor cogeração. Porém nestes anos não se forma suficiente lixiviado, que pode ser armazenado, e uma vez que se obtenha suficiente calor, a planta de tratamento de lixiviado começa a operar.

A partir do ano de 2019 o valor dos gastos reduz significativamente devido a amortização dos equipamentos, ou seja, o valor do investimento foi diluído nos anos anteriores. O balanço econômico

total, ao longo da vida útil do aterro, foi de pouco mais de R\$ 29 milhões positivos, confirmando assim a viabilidade econômica do projeto de cogeração de energia elétrica para o ASMJPP

REFERÊNCIAS

BRITO FILHO, L. F. Estudo de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos. Dissertação (Mestrado) - UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil. 2015.

EMLUR, 2016. **Empresa Municipal de Limpeza Urbana**. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/emlur/coleta-seletiva/>> Acesso em 01 agosto 2018.

GE-Energy. 2016. Jenbacher biogas engine. Catálogos. Disponível em <www.ge-energy.com>. Acesso 01 agosto 2018.

NASCIMENTO, D.P. et al. Estimativa de Geração de Biogás em Aterro Sanitário. In: FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 10., João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: FIRS, 2019.

PIMENTEL, C. H. L. A gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa/PB - à luz das rotas tecnológicas. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife: UFPE, 2017.