
METODOLOGIA PARA A OPTIMIZAÇÃO DO CÁLCULO DAS TERRAS DE COBERTURA NOS ATERROS SANITÁRIOS

ANTÓNIO MONTEIRO
ANTÓNIO VASQUEZ
RENATO HENRIQUES

Desde que o Homem se conhece que a tendência generalizada da população é para crescer. Este facto tem-se vindo a acentuar de forma significativa no último século, sobretudo com evento da revolução industrial que, se em muitos casos foi responsável pelo desequilíbrio do tecido social, a verdade é que de então para cá se verificou uma melhoria generalizada do nível de vida das populações. Esta melhoria modificou o comportamento das populações, provocando o aparecimento da sociedade de consumo com o conseqüente aumento dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

Até há alguns anos atrás, esta produção de RSU não preocupou grandemente as autoridades deste país, deixando-se chegar alguns locais de deposição dos mesmos a estados caóticos, bem reveladores do desmazelo e inconsciência por parte de todos nós. Estas condições provocaram e provocam contaminações que conduziram e conduzem a danos ambientais irreversíveis ou de difícil remediação. Felizmente tem-se verificado uma mudança desta atitude por parte das autoridades competentes, quer por vontade própria, quer impelidas pelas populações e organizações ambientais, que exigem cada vez mais a melhoria das suas condições de vida.

Sem a intenção de discutir qual a melhor opção para o tratamento dos RSU's entre a incineração, deposição em aterros sanitários ou a política dos 3R's (reciclar, reutilizar, reduzir), parece que esta última, quando bem planeada e gerida, será a que tem maiores vantagens em termos ambientais e inclusivamente económicos... Existe sempre a vantagem de poder analisar as experiências ocorridas noutros

**METODOLOGIA PARA A OPTIMIZAÇÃO DO CÁLCULO DAS TERRAS
DE COBERTURA NOS ATERROS SANITÁRIOS**

países e com elas aprender a evitar erros ou a seleccionar qual a melhor solução ou aquela que se adapta melhor ao nosso caso.

238

Ao longo dos últimos anos tem-se vindo a assistir à construção de aterros sanitários ou reconversão das lixeiras já existentes. Os aterros sanitários surgem como um método de deposição controlada dos RSU, obedecendo a um conjunto de regras rígidas e bem definidas e que têm por objectivo tornar o impacte ambiental mínimo. São um método sempre necessário, quer pensemos nesta solução como única para a deposição dos RSU sem qualquer tratamento prévio, quer sejam utilizados para deposição dos refugos resultantes da incineração ou da compostagem. No entanto, em qualquer das situações, a vida de um aterro sanitário depende da sua capacidade, isto é, quanto maior o aterro maior será a sua capacidade de deposição dos resíduos e mais anos este estará apto para receber os mesmos.

Durante a deposição dos resíduos sólidos num aterro devem, como já vimos, ser respeitadas algumas regras. Uma destas regras essenciais é a realização da célula diária de deposição e a sua cobertura regular com terras. Esta operação tem como finalidade impedir que alguns resíduos mais leves, tais como plásticos, papéis e poeiras, sejam levantados pelo vento, impedir a libertação de cheiros provocados pela decomposição precoce dos resíduos orgânicos e a acumulação de animais que se alimentam destes e que podem ser responsáveis pela propagação de doenças. Mas a obrigatoriedade da deposição das terras de cobertura arrasta consigo quer a diminuição do volume total disponível do aterro para depositar os resíduos sólidos, quer o aumento dos custos de exploração, por vezes de forma significativa, dado que muitas destas terras terão que ser adquiridas fora da área de implantação do aterro e transportadas posteriormente até ele. Existe, portanto, a necessidade de determinar um valor óptimo de volume de terras de cobertura que seja capaz de garantir a eficácia da cobertura diária das células e que, ao mesmo tempo, implique o menor custo possível. Neste sentido, com este trabalho, tentou-se criar uma metodologia baseada em ajustes da geometria da célula, mais especificamente no somatório das áreas de cada célula a cobrir, de forma a que, no final do período de deposição de resíduos no aterro, a área resultante desse mesmo somatório seja a menor possível, o que implica

logicamente que o volume de terras necessário para a cobertura seja também o menor possível.

O primeiro passo a considerar na aplicação desta metodologia será a determinação do volume de lixos a ser depositado no aterro sanitário. Para chegar a estes valores é indispensável efectuar uma recolha de dados no sentido de determinar alguns parâmetros necessários aos cálculos de projecto. Os parâmetros utilizados neste trabalho são as populações e as suas projecções, as taxas de recolha, as produções *per capita* de resíduos e a caracterização desses mesmos resíduos, admitindo um tempo de vida útil de 15 anos a contar a partir do ano de 1996.

Para a demonstração da utilidade prática deste trabalho, foram recolhidos alguns valores reais de taxas de cobertura, de população e de produção de resíduos diária por habitante, entre três concelhos da região norte arbitrariamente escolhidos, os quais serão designados por concelhos A, B e C. Os valores das taxas de cobertura da recolha correspondem aos valores reais referentes aos anos de 1981, 1985 e 1989, recolhidos a partir de valores cedidos gentilmente pelas autarquias destes concelhos, sendo posteriormente projectados através de métodos estatísticos, no sentido de calcular os valores anuais até ao final do tempo de vida útil do aterro. Os valores da população foram recolhidos a partir dos censos efectuados nos anos de 1960, 1970, 1981 e 1991, tendo-se posteriormente calculado os valores previstos até ao último ano de vida útil do aterro, com base em métodos de cálculo estatístico habituais para estudos de projecção populacional. Os valores de produção de resíduos diária por habitante foram calculados a partir de valores conhecidos para os anos de 1981, 1985, 1989 e 1991, sendo igualmente feita a sua projecção para os 15 anos de vida do aterro. Os dados utilizados para a projecção dos valores acima descritos estão contidos nas seguintes tabelas:

Tabela I
Dados referentes às taxas de cobertura da recolha de resíduos para os concelhos A, B e C

Ano	Taxa de cobertura média
1981	66.50%
1985	68%
1989	69%

Tabela II
Dados referentes aos censos populacionais para os
concelhos A, B e C

Ano	Concelho A	Concelho B	Concelho C
1960	38895	27537	27947
1970	41625	33655	31865
1981	48015	40687	37904
1991	51248	44190	42502

240

Após a determinação das previsões da população, da taxa de cobertura até ao ano 2010 (último ano de deposição de resíduos no aterro), procedeu-se aos cálculos anuais da população servida. Estes resultados podem ser observados na seguinte tabela:

Tabela III
Cálculo da população servida pela recolha

Ano	Concelho A nº Hab.	Concelho B nº Hab.	Concelho C nº Hab.	População Total nº Hab.	Taxa de Cobertura (%)	População Servida nº Hab.
1996	53541	44852	47722	146115	0.74	108125
1997	53960	45331	48268	147559	0.75	110669
1998	54379	45809	48814	149002	0.77	114732
1999	54797	46287	49359	150443	0.79	118850
2000	55216	46766	49905	151887	0.8	121510
2001	55635	47244	50451	153330	0.82	125731
2002	56054	47723	50996	154773	0.83	128462
2003	56473	48201	51542	156216	0.84	131221
2004	56892	48679	52088	157659	0.86	135587
2005	57311	49158	52634	159103	0.88	140011
2006	57729	49636	53179	160544	0.89	142884
2007	58148	50115	53725	161988	0.91	147409
2008	58567	50593	54271	163431	0.92	150357
2009	58986	51071	54817	164874	0.93	153333
2010	59405	51550	55362	166317	0.95	158001

Paralelamente foram calculados os valores da quantidade de resíduos produzidos por habitante diariamente, com base nos seguintes valores:

Tabela IV
Dados referentes à quantidade de resíduos produzida por habitante diariamente

Ano	Capitação Kg hab ⁻¹ dia ⁻¹
1981	0.514
1985	0.571
1989	0.628
1991	0.657

Com base em todos os cálculos anteriores, é finalmente possível calcular a quantidade de resíduos anual a depositar no aterro até 2010. Neste cálculo assumiu-se que os resíduos seriam compactados a uma razão de 0.6 Toneladas por metro cúbico.

Tabela V
Cálculo do volume diário de RSU depositados por dia provenientes dos três concelhos

Resíduos	Capitação Kg/Hab*dia	Capitação Kg/Hab*Ano	Resíduo Depositado/ Dia Ton/Dia	Resíduo/Ano Ton/Ano	Densidade Ton/m3	Vol. Diário m3/Dia
10307.8	0.713	260.17	77.09	28130.88	0.6	128.48
10916.6	0.739	269.75	81.78	29852.96	0.6	136.3
11525.4	0.754	275.25	86.51	31579.98	0.6	144.18
12134.2	0.768	280.3	91.28	33313.66	0.6	152.13
12743	0.79	288.48	95.99	35053.2	0.6	159.98
13351.8	0.802	292.67	100.84	36797.69	0.6	168.07
13960.6	0.822	300.07	105.6	38547.59	0.6	176
14569.4	0.841	307.13	110.36	40301.91	0.6	183.93
15178.2	0.85	310.22	115.25	42061.8	0.6	192.08
15787	0.858	313.03	120.13	43827.64	0.6	200.22
16395.8	0.874	319.11	124.88	45595.71	0.6	208.13
17004.6	0.88	321.36	129.72	47371.36	0.6	216.2
17613.4	0.896	326.89	134.72	49150.2	0.6	224.53
18222.2	0.91	332.18	139.53	50934.16	0.6	232.55
18831	0.914	333.68	144.41	52721.77	0.6	240.68
			Resíduo Total	605240.51	Média Diária	184.23
					Vol. total final	1008662.9

As dimensões da célula diária de deposição, cuja morfologia está esquematicamente ilustrada na figura 1, são condicionadas pelo volume de resíduos diários depositados. Geralmente a partir deste volume e de uma dimensão arbitrada, por exemplo a espessura da célula (na maioria das vezes o elemento mais referenciado na bibliografia), são calculadas as restantes dimensões. Por sua vez estas dimensões vão condicionar o volume de terras de cobertura, no entanto, nem sempre as dimensões calculadas são aquelas que permitem rentabilizar da melhor forma a utilização dessas mesmas terras. Deste modo, não existe a noção otimizada do consumo total de terras de cobertura para a vida total do aterro, mas apenas uma estimativa que, muitas vezes, não coincide com este valor óptimo. Embora não seja facilmente perceptível, algumas modificações na dimensão das células de deposição podem representar a poupança de largas centenas de toneladas de terras de cobertura ao fim da vida útil do aterro, mantendo contudo a mesma eficácia desta mesma cobertura.

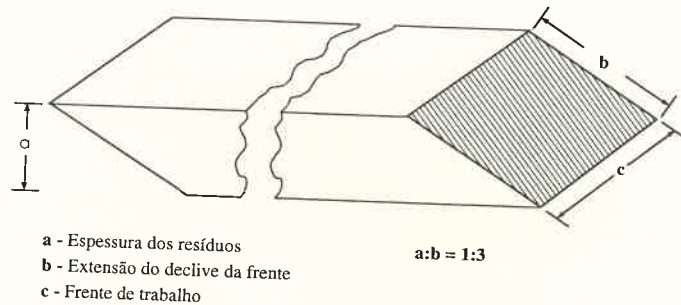


Figura 1 - Forma esquemática da célula de deposição diária

Basicamente, com a utilização de uma folha de cálculo comercial, é possível determinar estes valores óptimos para a geometria das células. Fundamentalmente trata-se de, com base num método iterativo, encontrar a geometria que corresponda ao menor volume de terras possível no final do aterro.

Para o caso específico deste hipotético aterro, fixou-se uma espessura das terras de cobertura em 0,30 m. Seguidamente, com base nesta premissa, variando a frente e a espessura das células de deposição, chegou-se à conclusão de que um valor de 2,5m de espessura e de 9m de frente para estas mesmas células seriam as dimensões ideais para que o volume de terras de cobertura fosse mínimo. No entanto, tendo em atenção que o volume de resíduos produzido vai aumentando

de ano para ano, uma das dimensões, neste caso o avanço, vai-se alterando para contemplar este aumento. Para estes valores, os cálculos estão sintetizados na seguinte tabela:

Tabela VI
Cálculo do volume de terras de cobertura para 2,5m e 9m
de espessura e frente das células de deposição
respectivamente

Ano	Avanço m	Área diária requerida m2/dia	Área de topo m2	Área de frente m2	Área lateral m2	Volume de solo m3/dia	Volume de solo/Volu me diário %
1996	5.71	51.39	51.39	71.15	45.14	50.31	39.15%
1997	6.06	54.52	54.52	71.15	47.89	52.07	38.20%
1998	6.41	57.67	57.67	71.15	50.66	53.85	37.35%
1999	6.76	60.85	60.85	71.15	53.45	55.64	36.57%
2000	7.11	63.99	63.99	71.15	56.21	57.41	35.88%
2001	7.47	67.23	67.23	71.15	59.06	59.23	35.24%
2002	7.82	70.40	70.40	71.15	61.84	61.02	34.67%
2003	8.18	73.57	73.58	71.15	64.63	62.81	34.15%
2004	8.54	76.83	76.83	71.15	67.49	64.64	33.65%
2005	8.90	80.09	80.09	71.15	70.35	66.48	33.20%
2006	9.25	83.25	83.25	71.15	73.13	68.26	32.80%
2007	9.61	86.48	86.48	71.15	75.97	70.08	32.41%
2008	9.98	89.81	89.81	71.15	78.89	71.96	32.05%
2009	10.34	93.02	93.02	71.15	81.71	73.77	31.72%
2010	10.70	96.27	96.27	71.15	84.57	75.60	31.41%
Vol. solo final						344 229.31	

Note-se que os valores de frente e de espessura da célula foram ajustados no sentido de se manterem inalterados durante todo o tempo de vida do aterro, apenas se modifica o avanço. Efectivamente, um ajuste destes valores ano a ano levaria obviamente a uma redução ainda maior do volume de terras. Contudo, se este ajuste anual for efectuado para este caso, a redução do volume de terras é inferior a 1%, o que poderá ser considerado desprezável.

No sentido de confirmar que outros valores de espessura e de frente da célula de deposição, diferentes dos utilizados na tabela anterior, influenciam o volume de terras de cobertura

final, foram utilizadas diferentes combinações destas dimensões. Estas permitiram confirmar a existência de uma geometria da célula que corresponde a uma utilização mínima de terras de cobertura.

O gráfico seguinte ilustra os resultados obtidos.

244

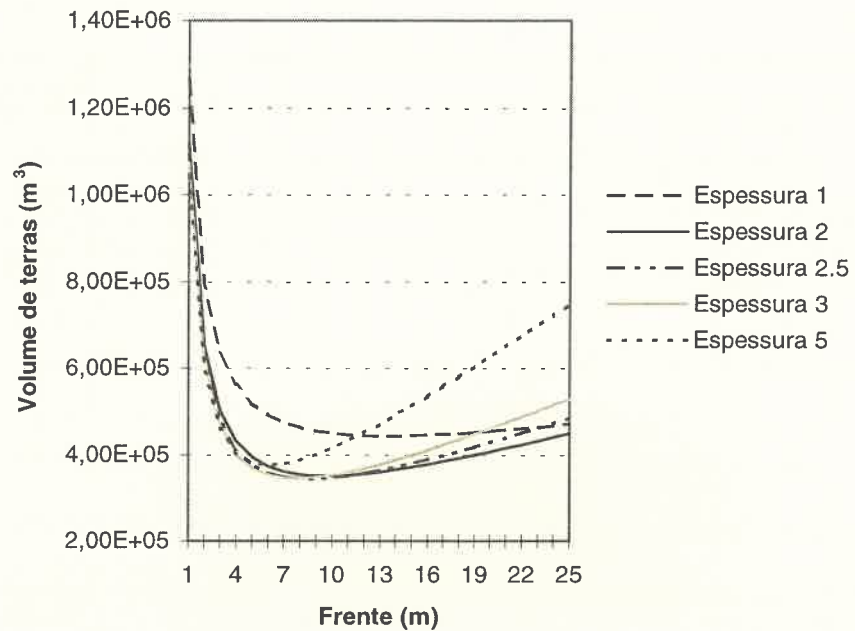


Gráfico 1 - Volume de terras de cobertura em função da frente e da espessura da célula diária

Uma análise mais cuidada do gráfico permite verificar que o volume de terras a utilizar reduz-se de uma forma substancial para pequenos valores de frente, qualquer que seja a espessura da célula. Estes volumes têm no entanto modificações pouco significativas após valores de frente de 5 metros, especialmente para uma gama de espessuras compreendida entre 1 e 3 metros inclusive. Verifica-se ainda que os volumes de terras não se alteram significativamente entre a gama de espessuras de 2 a 3 metros inclusive, sendo no entanto relativamente diferentes para valores de espessuras fora desta gama. Assim, se, por exemplo, for fixado para a frente da célula o valor de 9 metros, pode-se verificar que o valor mais adequado de espessura desta estará dentro da gama referida anteriormente, sendo o óptimo absoluto de 2,5 metros. Evidentemente, para valores de frente

Handwritten mark: $\frac{1}{2}$

muito diferentes do valor mencionado, o óptimo absoluto de espessura poderá variar. O seguinte gráfico ilustra a ideia descrita anteriormente.

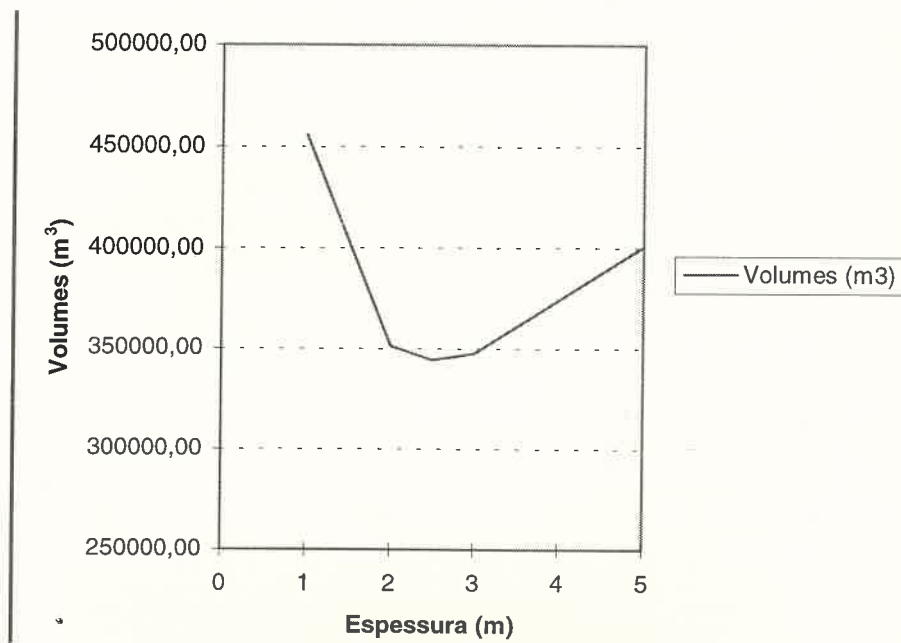


Gráfico 2 - Relação entre a espessura das células e o volume total de terras de cobertura para este aterro

Salvague-se contudo que todos os valores apresentados anteriormente, quer sob a forma de gráficos quer sob a forma de tabelas, são específicos para o aterro em causa. Para outros valores de volume de resíduos a depositar, esta metodologia de cálculo mantém-se, mas os valores obtidos serão obviamente diferentes. Não se pode portanto utilizar os gráficos apresentados como válidos para determinar a geometria diária de qualquer aterro.

A utilização de toda a metodologia descrita, após o cálculo dos volumes de resíduos a depositar, permitirá, através do traçado de gráficos semelhantes aos obtidos para este aterro específico, fazer uma modelação prévia das necessidades de terras de cobertura. Deste modo, pode-se fazer uma melhor previsão de custos e uma melhor gestão de meios e recursos. Ainda que, dependendo de condições locais existentes de

deposição que possam de alguma forma condicionar a geometria de deposição dos resíduos através da imposição de gamas limitadas de variação desta, tais como a topografia do terreno, a metodologia apresentada poderá otimizar os valores de terras de cobertura dentro destas gamas.

246 Pode parecer que a metodologia apresentada acarretará problemas de execução, uma vez que, na maioria das vezes, o operador de uma retro-escavadora, ao depositar os lixos, não terá a precisão cirúrgica suficiente no sentido de conseguir respeitar a geometria ótima determinada. No entanto, será possível, através de várias formas, por exemplo um balizamento temporário da zona de deposição dos resíduos segundo os dados obtidos pela própria metodologia.