

## II-082 - DIMENSIONAMENTO DE LEITOS DE SECAGEM PARA DESAGUAMENTO DE LODO ANAERÓBIO: UMA ANÁLISE CRÍTICA

**Pedro Lindstron Wittica Cerqueira<sup>(1)</sup>**

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná. Engenheiro Civil na RDR Consultores Associados LTDA.

**Miguel Mansur Aisse<sup>(2)</sup>**

Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná.

**Endereço<sup>(1,2)</sup>:** Centro Politécnico – Bloco 5, Jardim das Américas - Curitiba - PR- CEP: 81531-990 - Brasil - Tel: (41) 3361-3210 - e-mail<sup>(1)</sup>: [pedro.cerqueira@rdr.srv.br](mailto:pedro.cerqueira@rdr.srv.br); e-mail<sup>(2)</sup>: [miguel.dhs@ufpr.br](mailto:miguel.dhs@ufpr.br)

### RESUMO

No presente trabalho objetivou-se relacionar dados, da literatura, de dimensionamento dos leitos de secagem, como taxa de sólidos e tempos de ciclo de secagem para obtenção de diferentes teores finais de umidade, buscando-se obter as relações que traduzem maior produtividade aos leitos, aplicados para lodo anaeróbio, considerando-se, ainda, as condições de contorno de cada experimento. Com os resultados obtidos pôde-se concluir que, em regiões de clima quente, maiores valores de taxa tendem a refletir maior produtividade. Já em clima frio ou ameno, não se verificou qualquer tendência consistente de variação, entretanto, estudos com taxas de aplicação superiores ao recomendado pela norma brasileira obtiveram resultados promissores. Neste tipo de clima, a taxa de 23,7 kgST/m<sup>2</sup>, aplicada por Aisse e Andreoli (1998), resultou nos mais altos valores de produtividade para teores finais de sólidos de 25 a 30 %. De maneira geral, o desaguamento a estes níveis se mostrou bastante afetado pela água da chuva. Por fim, deixa-se como sugestão a utilização dos dados relacionados neste trabalho para dimensionamentos mais eficientes, nos quais sejam considerados, além do clima, a disposição final do lodo e o teor final de umidade desejável para tal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esgoto Sanitário, Reatores UASB, Ciclo de Secagem, Produtividade dos Leitos.

### INTRODUÇÃO

O lodo proveniente do tratamento de esgoto sanitário deve ser tratado e devidamente disposto a fim de que sejam dirimidos seus impactos na saúde pública e no meio ambiente (BRASIL, 2006). Entretanto, o tratamento, secagem, transporte e disposição final do lodo requerem uma série de equipamentos, com alto custo de investimento e operação (JORDÃO, 2015). Andreoli *et al.* (2014, p.12) mencionam que o gerenciamento do lodo demanda, em geral, de 20 a 60 % dos gastos operacionais das estações de tratamento.

Neste contexto, o desaguamento do lodo é uma etapa cuja finalidade é a redução do volume de lodo a ser encaminhado para as etapas seguintes, gerando, como principais benefícios: economia no transporte do lodo, melhoria das condições de manejo, aumento do poder calorífico do lodo e redução do volume para disposição em aterro ou uso na agricultura (GONÇALVES *et al.*, 2001, p.57).

Dentre as alternativas de desaguamento, os Leitos de Secagem (LSE) destacam-se por apresentar simplicidade operacional e reduzidos custos de implantação e operação, tendo como principal desvantagem a demanda por grandes áreas (PEDROZA *et al.*, 2006, p.110). Andreoli *et al.* (2014, p.182) mencionam que os leitos são viáveis para atendimento de comunidades com até 20 mil habitantes. Barea (2013) concluiu seu estudo que, para regiões de clima quente, a secagem natural em leitos pode ser mais econômica que a mecanizada para vazões de até 100 L/s, considerando-se apenas os custos de implantação.

Quanto ao dimensionamento dos leitos, van Haandel e Lettinga (1994) definem o conceito de produtividade dos leitos de secagem como a razão entre a taxa aplicada de sólidos e o tempo de ciclo necessário para obter um lodo com determinada umidade residual, conforme a seguinte equação:

$$Pd = Tx/Tc \quad (1)$$

“em que:

Pd - produtividade do leito para uma determinada concentração final de sólidos (kgST/d.m<sup>2</sup>);

Tx- Taxa de aplicação de sólidos (kgST/m<sup>2</sup>);

Tc - tempo de ciclo do lodo (d).

Enquanto a taxa de aplicação é função da concentração do lodo e da altura da coluna de lodo no leito, o tempo de ciclo varia em função de diversos aspectos, tais como: taxa de aplicação de sólidos, características do lodo, fatores meteorológicos, características da camada drenante do leito (entretanto, alguns autores considerarem que a granulometria não deve afetar a percolação do lodo no leito), umidade final desejada para o lodo e aspectos construtivos (existência ou não de cobertura e/ou aquecimento artificial do leito) (AISSE *et al.*, 1999, p.281; PEDROZA *et al.*, 2006, p.117). Implicam também no tempo de ciclo, mas com menor impacto, os períodos de preparação do leito e descarga e remoção do lodo deste (VAN HANDEL & LETTINGA, 1994).

Aisse *et al.* (1999) e Pedroza *et al.* (2006) explicam que, devido à diversidade de variáveis de difícil determinação, utilizam-se técnicas empíricas para se estipular o tempo de ciclo/secagem dos leitos, sendo extremamente complexo o seu equacionamento. Soares (2001) elaborou uma modelagem matemática para a estimativa de tempos de secagem de lodo anaeróbio, validando seus resultados por comparação com dados da literatura.

Segundo van Haandel e Lettinga (1994) a produtividade dos leitos tende a ser maior para teores finais de sólidos inferiores. Explicam os autores que isto ocorre pois boa parte da água do lodo é rapidamente removida, por percolação, nos primeiros dias de secagem. A partir de teores de sólidos de 20 % a percolação já deixa de ocorrer, passando o lodo a secar pelo processo de evaporação, que reduz a umidade muito mais lentamente (VAN HANDEL & LETTINGA, 1994; AISSE *et al.*, 1999; SOARES, 2001).

Van Haandel e Lettinga (1994) afirmam também que a taxa de aplicação de sólidos é fundamental para a determinação da área dos leitos, e que, para um dimensionamento racional, necessita-se conhecer previamente a produtividade do leito, o que pode ser feito por meio de testes experimentais. É plausível considerar, todavia, que dificilmente as empresas projetistas têm condições de conhecer previamente a máxima produtividade dos leitos de secagem que irão projetar. Portanto, é fundamental que se tenham bases confiáveis de dimensionamento (como taxas de aplicação e tempo de ciclo) para evitar o superdimensionamento, podendo este inviabilizar a alternativa devido à indisponibilidade de área, e levando o empreendedor a ter elevados gastos com processos mecanizados de desaguamento.

Recomenda-se na NBR 12.209(ABNT, 2011) uma taxa máxima de 15 kgST/m<sup>2</sup>, porém, Gonçalves *et al.* (2001) obtiveram resultados que apontaram a viabilidade de serem aplicadas taxas superiores, reduzindo-se significativamente a área necessária para alcançar um mesmo teor final de sólidos. Os autores fizeram ainda uma compilação de dados da literatura, construindo um gráfico que relaciona a taxa de sólidos aplicada ao tempo de secagem para obter diferentes teores finais de umidade.

Cabe acrescentar que, segundo Andreoli *et al.* (2014, p.185), não é interessante permitir que o teor de sólidos totais do lodo nos leitos de secagem ultrapasse 30 %, pois a operação de remoção do material mais seco torna-se dificultada. Neste contexto, observa-se que o lodo com teor de sólidos de 15 a 20 % já pode ser destinado a aterros sanitários ou para compostagem (BITTENCOURT, 2014, p.39; ANDREOLI *et al.*, 2014, p.307). Para uso agrícola do bio-sólido o teor de umidade influenciará no método de aplicação (quando líquido, por bombeamento, e quando sólido ou semi-sólido, por tratores e equipamentos agrícolas), não havendo um teor ideal de sólidos generalizado (ANDREOLI *et al.*, 2014). Segundo os autores, as tecnologias de processamento do lodo devem ser escolhidas e dimensionadas em função do destino final pretendido para esse.

Com base nessas colocações, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise crítica sobre o dimensionamento de leitos de secagem, no intuito de encontrar possibilidades de otimização, buscando-se aumentar a viabilidade e a competitividade dessas unidades com os sistemas mecanizados, especialmente para ETEs de médio e grande porte.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do trabalho consistiu em obter relações, a partir de dados da literatura, de taxas de aplicação, tempos de ciclo e produtividade dos leitos de secagem para diferentes teores finais de sólidos, sob distintas condições climáticas e experimentais. Para tanto, foram consultados os gráficos e tabelas expostos por diversos autores e, nas ocasiões em que não se encontraram todos os três parâmetros, utilizaram-se os dados existentes para cálculos estimativos, partindo-se do conceito de produtividade. Destaca-se que, em função da literatura consultada, foram analisados apenas casos de secagem de lodo anaeróbio.

O estudo foi delimitado priorizando-se os teores finais de sólidos na faixa de 20 a 30 %. Além disso, por simplificação, considerou-se o tempo de ciclo como o tempo de secagem, desprezando-se os períodos de gerenciamento do leito (preparação do leito, descarga e remoção do lodo). Utilizaram-se ainda dados de fontes oficiais para se ter uma aproximação da temperatura local dos ensaios, na época em que foram realizados, quando não encontradas nos próprios trabalhos. As literaturas consultadas, bem como o procedimento para obtenção dos dados, estão apresentadas a seguir, por ordem de latitude, do nordeste ao sul do Brasil.

### Van Haandel e Lettinga (1994)

Foi estudado, em Campina Grande-PB, o desaguamento de lodo proveniente de reatores DAFA (Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente). Os autores apresentaram o gráfico de Produtividade x Taxa de aplicação de sólidos para teores finais de sólidos de 30 a 90 %, a partir do qual foram calculados os tempos de ciclo para o teor final de sólidos de 30 %. A temperatura foi informada pelos autores.

### Gonçalves *et al.* (2001)

Gonçalves *et al.* (2001) avaliaram, em Vitória-ES, a secagem de lodo proveniente de reatores UASB. Os autores apresentaram dados de tempo de ciclo e taxa aplicada para os teores finais de sólidos de 20, 30 e 40 %, a partir dos quais foram calculadas as produtividades para 20 e 30 %. A temperatura a que o experimento foi exposto foi estimada como a média mensal histórica para os meses em que o estudo foi realizado, obtida no site do INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural).

### Lima *et al.* (1999)

Lima *et al.* (1999) estudaram, também em Vitória-ES, a secagem de lodo, removido de lagoas anaeróbias, em leitos de secagem cobertos e a céu aberto. Os autores apresentam os resultados de produtividade dos leitos cobertos para diferentes teores finais de umidade, em função das taxas de aplicação, a partir dos quais foram calculados os tempos de ciclo para determinados pares de valores (taxa e produtividade). A temperatura foi estimada da mesma forma que descrito para Gonçalves *et al.* (2001).

### Além Sobrinho e Samudio (1999)

Os autores avaliaram, em São Paulo-SP, a desidratação de lodo de reatores UASB. A partir do gráfico de Teor de sólidos x Tempo de ciclo, e conhecendo-se as taxas de aplicação em cada leito (informadas pelos autores), foram calculadas as produtividades para os teores finais de ST de 20 e 30 %. Não tendo sido encontrado o período do ano que o experimento ocorreu, a temperatura deste foi estimada como a média anual no ano de 1999, disponível no Boletim Climatológico Anual da Estação Meteorológica do IAG/USP (BOLETIM, 2010).

### Aisse e Andreoli (1998)

Os autores estudaram o desaguamento de lodo de reatores UASB nas cidades de Curitiba-PR e Lapa-PR. A partir dos dados disponibilizados foram calculadas diretamente as produtividades para os teores de sólidos finais obtidos no experimento. A temperatura foi obtida por material fornecido pelos autores Aisse *et al.* (1997).

### Ross (2015)

Ross (2015), em Guarapuava-PR e em Quatro Barras-PR, realizou ensaios de desidratação de lodo de reatores UASB em leitos de secagem. Neste caso, não foram encontradas as taxas de aplicação em cada descarga de lodo. Logo, esta foi calculada a partir dos dados de altura da camada de lodo no leito (que foi de 45 cm) e da concentração inicial do lodo. Com os tempos de ciclo informados pela autora foi possível calcular a produtividade dos leitos para as diferentes concentrações finais de sólidos obtidas no experimento. Os dados de temperatura foram informados pela autora.

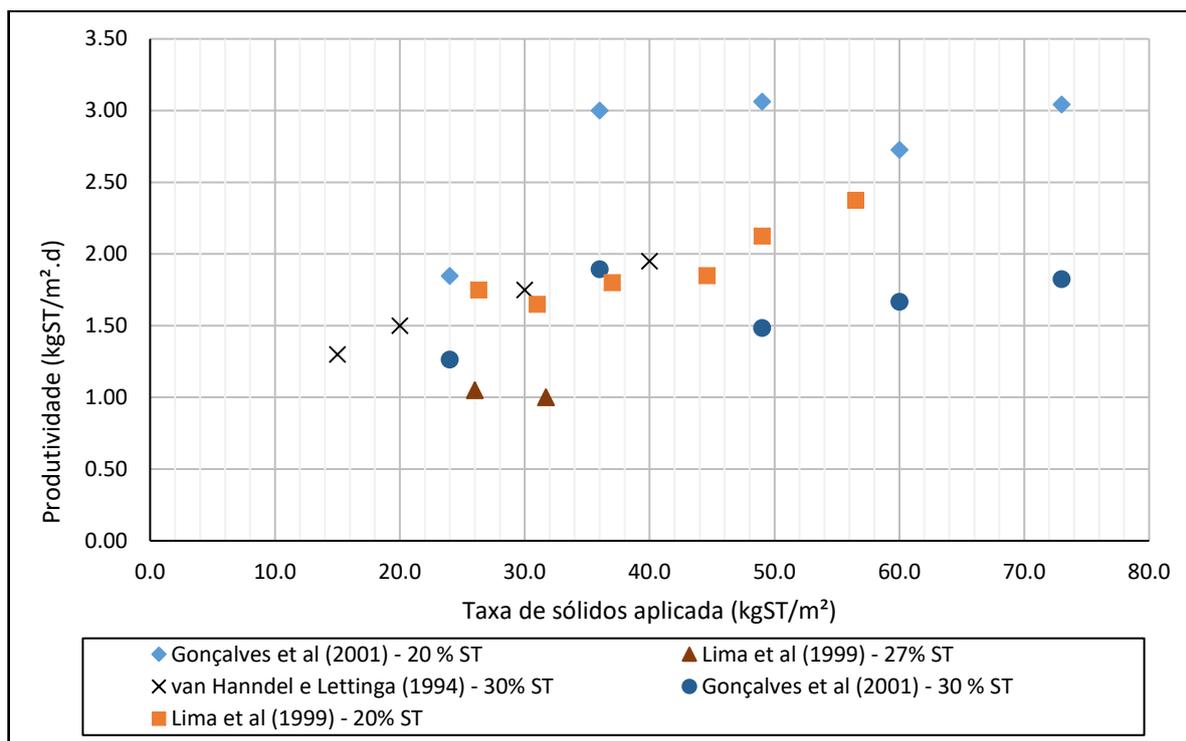
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir apresentam-se, inicialmente, os resultados obtidos a partir dos dados de van Haandel e Lettinga (1994), Gonçalves *et al.* (2001) e Lima *et al.* (1999), que foram agrupados por serem estudos realizados sob temperaturas em torno de 25 a 28°C. Na sequência serão apresentados os dados de Além Sobrinho e Samudio (1999), Aisse e Andreoli (1998) e Ross (2015), cujos experimentos foram realizados em regiões mais amenas, com temperaturas médias da ordem de 18°C (variando de 13°C a 26°C). Foram destacados na tabela os dados cujas produtividades foram superiores, para as diferentes faixas de umidade final, de cada bibliografia consultada.

**Tabela 1: Resultados de Produtividade e Condições Experimentais em Locais com Temperatura Média do Ar igual ou superior a 25°C.**

ID <sup>(a)</sup>	ST final (%)	Tempo de Ciclo (d)	Taxa Aplicada (kgST/m <sup>2</sup> )	Produtividade (kgST/d.m <sup>2</sup> )	T (°C) <sup>(b)</sup>	P (mm) <sup>(c)</sup>	Obs.	SV/ST (%)
<b>van Haandel e Lettinga (1994)</b>								
A	30	12	15,0	1,30	25	-	-	-
B	30	13	20,0	1,50				
C	30	17	30,0	1,75				
D	30	21	40,0	1,95				
<b>Gonçalves <i>et al.</i> (2001)</b>								
E	20	13	24,0	1,85	28	-	Coberto; Soleira conforme NB 570/90 <sup>(d)</sup>	55
F	20	22	60,0	2,73				
G	20	12	36,0	3,00				
H	20	24	73,0	3,04				
I	20	16	49,0	3,06				
J	30	19	24,0	1,26				
K	30	33	49,0	1,48				
L	30	36	60,0	1,67				
M	30	40	73,0	1,83				
N	30	19	36,0	1,89				
<b>Lima <i>et al.</i> (1999)</b>								
O	20	15	26,3	1,75	25	-	Leito coberto; Soleira conforme NB570/90 <sup>(d)</sup>	65
P	20	19	31,0	1,65				
Q	20	21	37,0	1,80				
R	20	24	44,6	1,85				
S	20	23	49,0	2,13				
T	20	24	56,5	2,38				
U	27	31	31,7	1,00				
V	27	25	26,0	1,05				

Notas: a) Identificação do resultado; b) Temperatura média; c) Precipitação acumulada; d) Atual NBR 12.209/11.



**Figura 1: Taxa aplicada X Produtividade dos leitos para concentrações de 20 a 30% em experimentos com temperatura média igual ou superior a 25°C.**

Evidencia-se pelo exposto na Figura 1 que a produtividade do leito é superior quando o teor final de sólidos é inferior, corroborando com van Haandel e Lettinga (1994), que justificam tal fato pela velocidade de desaguamento por percolação ser superior à velocidade de secagem por evaporação.

Verificou-se também que os maiores valores de produtividade ocorreram quando aplicados altos valores de taxa de sólidos (se comparados ao valor da norma, de 15 kgST/m<sup>2</sup>), conforme já havia sido relatado por Gonçalves *et al.* (2001) e Lima *et al.* (1999). Pelos dados de Gonçalves *et al.* (2001), as maiores produtividades foram obtidas para taxas de 49 kgST/m<sup>2</sup> para concentração final de 20 % e de 36 kgST/m<sup>2</sup> para teor final de 30 %. Lima *et al.* (1999) obtiveram com as taxas de 57 e 26 kgST/m<sup>2</sup> os maiores valores de produtividade, respectivamente para teores finais de sólidos de 20 e 27 %. Já van Haandel e Lettinga(1994) não apresentaram resultados para teores finais de sólidos de 20 %. Para 30 % a taxa aplicada de 40 kgST/m<sup>2</sup> apresentou melhores resultados que as demais. Destaca-se que os autores relatam este valor (mais especificamente, próximo a 36 kgST/m<sup>2</sup>), como a taxa que resultou na produtividade ótima do leito estudado, havendo pouca variação de produtividade quando aplicados valores adjacentes (por exemplo, taxas de 35 a 45 kgST/m<sup>2</sup> resultariam em produtividades similares).

Uma comparação interessante é que van Haandel e Lettinga (1994), aplicando taxas de 15 kgST/m<sup>2</sup>, obtiveram produtividade superior do que Lima *et al.* (1999) aplicando 26 kgST/m<sup>2</sup>, considerando-se os teores finais de sólidos de 30 % e 27 %, respectivamente (linhas A e V – Tabela 1). Isso indica que não há uma linearidade ou proporção evidente e previsível quanto à produtividade em função da taxa aplicada, provavelmente devido à grande diversidade de variáveis envolvidas. Entretanto, a distribuição dos resultados no gráfico aparenta uma tendência de valores superiores de taxa resultarem em maior produtividade, mesmo para um teor final de 30 % de ST. Apesar disso, não foi inserida linha de tendência no gráfico para evitar qualquer generalização de resultados, considerando-se, ainda, que para um ajuste linear, bem como outros tipos, o valor de “R<sup>2</sup>” manteve-se próximo de 0,3, ou seja, não representou uma tendência consistente.

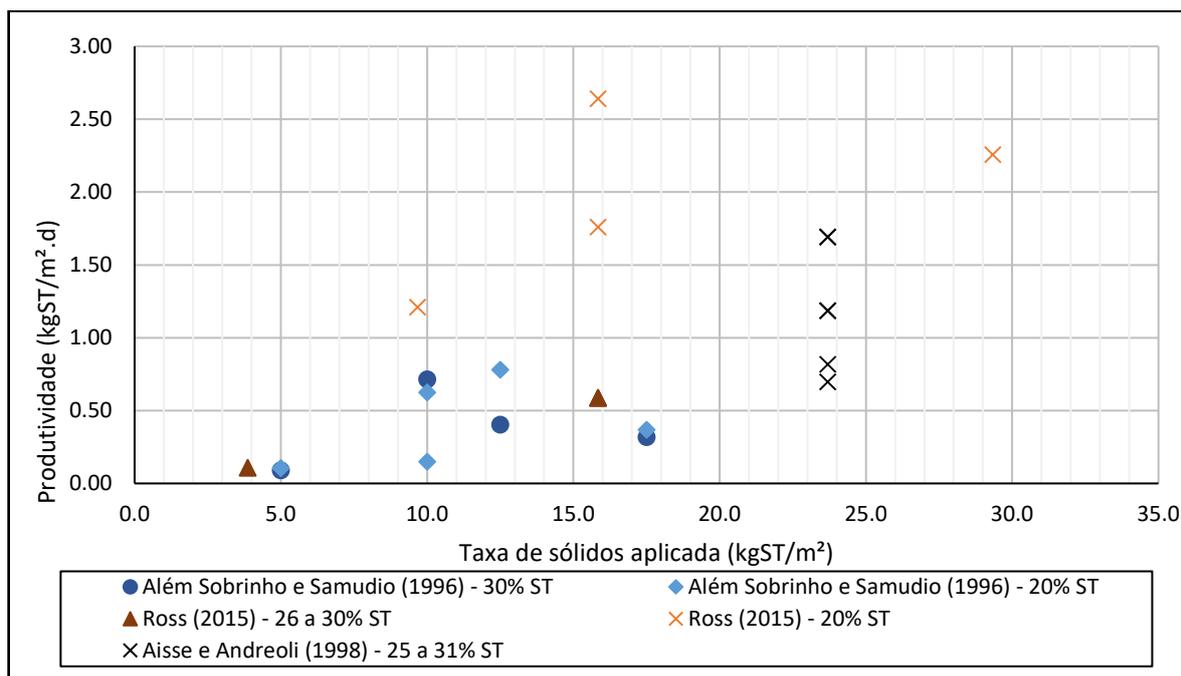
Cabe destacar que nos três casos referenciados não houve influência de chuvas, ora devido ao leito ser coberto, ora devido à manipulação dos dados, metodologicamente feita por van Haandel e Lettinga (1994). O teor de sólidos inicial dos lodos desaguados pelos autores foi relativamente alto, todavia, não está apresentado entendendo-se que a taxa aplicada é um reflexo do mesmo. Nos três casos o lodo estava bem estabilizado.

Na Tabela 2, a seguir, apresentam-se os resultados para regiões com temperaturas variando de 13 a 26°C.

**Tabela 2: Resultados de Produtividade e Condições Experimentais em Locais com Temperatura Média do Ar de 13 a 26°C.**

ID <sup>(a)</sup>	ST final (%)	Tempo de Ciclo (d)	Taxa Aplicada (kgST/m <sup>2</sup> )	Produtividade (kgST/d.m <sup>2</sup> )	T(°C) <sup>(b)</sup>	P (mm) <sup>(c)</sup>	Obs.	SV/ST (%)
<b>Além Sobrinho e Samúdio (1996)</b>								
A	20	48	5,0	0,11	19	53 mm nos primeiros 16 dias e 100 mm até o 30º dia	Leitos descobertos; Soleira conforme NB 570/90 <sup>(d)</sup>	-
B	20	68	10,0	0,15				
C	20	48	17,5	0,37				
D	20	16	10,0	0,63				
E	20	16	12,5	0,78				
F	30	55	5,0	0,09				
G	30	55	17,5	0,32				
H	30	31	12,5	0,40				
I	30	14	10,0	0,71				
<b>Aisse e Andreoli (1998)</b>								
J	26	14	23,7	1,69	24	20	Coberto	53
K	27	14	23,7	1,69			Descoberto	
L	31	20	23,7	1,19			Coberto	
M	31	20	23,7	1,19			Descoberto	
N	28	29	23,7	0,82			16	
O	25	34	23,7	0,70	17	128		
<b>Ross (2015)</b>								
P	19	13	29,3	2,26	16	13	Descoberto; Estrutura conforme NBR 12.209/11	77
Q	20	8	9,7	1,21	26	90		63
R	20	9	15,84	1,76	19	6,4		77
S	20	6	15,84	2,64	18	5,4		63
T	21	7	18,8	2,69	13	2		77
U	26	36	3,9	0,11	15	427		63
V	26	27	15,84	0,59	21	17		63
X	30	27	15,84	0,59	21	17		63

Notas: a) Identificação do resultado; b) Temperatura média; c) Precipitação acumulada; d) Atual NBR 12.209/11.



**Figura 2: Taxa aplicada X Produtividade dos leitos para concentrações de 20 a 30% em experimentos com temperatura média de 13 a 26°C .**

Observou-se uma grande heterogeneidade nos resultados obtidos para temperaturas inferiores, não se destacando alguma relação linear e previsível da produtividade em função da taxa de sólidos aplicada. A linha de tendência que melhor se ajustou aos dados foi do tipo “Potencial”, com “R<sup>2</sup>” de 0,64, portanto, não foi considerada utilizável. Entretanto, pôde ser evidenciada, pelos dados de Ross (2015), a produtividade superior dos leitos para teores de sólidos inferiores (no caso, na faixa de 20 %), mesmo com um lodo com teor de SV/ST de 77 %.

Os dados de Além Sobrinho e Samudio (1996), por outro lado, resultaram em produtividades inferiores, mesmo para 20 % se ST na torta final. Observou-se que pequenas diferenças de taxa, entre seus dados e os de Ross (2015), tiveram produtividades bastante diferentes (comparando-se, por exemplo, as linhas C e T da Tabela 2), indicando que a pluviosidade pode ter prejudicado o desaguamento, como já havia sido comentado pelos primeiros, os quais sugeriram o uso de dispositivo para remoção do sobrenadante gerado por água de chuva. De forma geral, as experiências com maiores índices pluviométricos apresentaram menor produtividade.

Aisse e Andreoli (1998) obtiveram bons resultados de produtividade para teores de sólidos finais de 26 e 27 %, aplicando a taxa de 23,7 kgST/m<sup>2</sup> de um lodo bem estabilizado, em um período de pouca chuva (linhas J e K – Tabela 2). Na ocorrência de chuvas intensas a produtividade caiu bastante, mas ainda assim manteve-se superior ou equivalente aos valores obtidos por Além Sobrinho e Samudio (1996), para teores de sólidos de 25 a 30 % (comparando-se os valores da linha I com os das linhas N e O da Tabela 2). Uma possível explicação seria a maior taxa aplicada por Aisse e Andreoli (1998), supondo-se que isto tenha aumentado a produtividade dos leitos sujeitos à elevados índices pluviométricos (haja vista que os dados de J e K mostraram elevadas produtividades com a referida taxa).

Ademais, não tendo sido encontrados estudos que relacionem, em regiões de clima frio, a produtividade de leitos de secagem para valores altos de taxa aplicada (comparativamente aos estudos feitos em clima quente), e considerando os resultados promissores dos estudos de clima quente, percebe-se uma possibilidade de otimização, especialmente se forem realizadas experiências com leitos cobertos, buscando-se maiores produtividades pela aplicação de taxas mais elevadas do que a recomendada por norma; ainda, este tipo de experimento permitiria a comparação da influência de diferentes faixas de temperatura.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conclui-se, com os resultados obtidos, que:

- Para regiões de clima quente, taxas de sólidos superiores à 15 kgST/m<sup>2</sup> tendem a gerar maior produtividade dos leitos para teores de sólidos da ordem de 20 a 30 % de ST, em leitos de secagem não influenciados pela chuva.
- Para regiões de clima frio ou ameno, valores de concentração de sólidos da ordem de 20 % correspondem a maiores produtividades se comparados a valores superiores de ST.
- Também para clima frio ou ameno, não se encontrou uma relação, e nem mesmo uma tendência de variação, entre as taxas de aplicação e a produtividade dos leitos para teores de sólidos de 20 a 30 %.
- A taxa de aplicação de 23,7 kgST/m<sup>2</sup>, aplicada por Aisse e Andreoli (1998), resultou nos mais altos valores de produtividade para teores de sólidos de 25 a 30 %, sob temperaturas da ordem de 20°C, quando o desaguamento não foi influenciado por chuvas.
- A cobertura dos leitos beneficiou o desaguamento para teores de sólidos de 20 a 30 %.

Sugere-se que sejam realizados estudos, em regiões de clima frio, com taxas variando de 10 a 50 kgST/m<sup>2</sup>, com leitos cobertos, no intuito de verificar se a produtividade dos leitos pode aumentar juntamente à taxa aplicada.

Recomenda-se que em cada novo projeto de leito de secagem seja considerada a disposição final do lodo e o teor de sólidos mínimo que à viabilize, de forma que, a partir dos dados relacionados no presente trabalho, possam-se definir taxas de aplicação e tempos de ciclo afim de obter-se a maior produtividade possível, ou seja, menor área e maior viabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 12.209 – Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. 2ª Ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
2. AISSE, M. M.; ANDREOLI, F de N. Estudo da desidratação do lodo anaeróbico, obtido em reator tipo Ralf, através do uso de leito de secagem e de centrifuga tipo decanter. I Seminário sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul, Anais. Curitiba-PR, 1998.
3. AISSE, M. M. *et al.* Estudo da Secagem e disposição do lodo anaeróbico obtido em reatores tipo RALF: Leito de Secagem - Relatório nº 2. Curitiba, ISAM/PUC-PR. Agosto 1997. 68p.
4. AISSE, M. M. *et al.* Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo. In: Tratamento e destino final do lodo gerado em reatores anaeróbicos. CAMPOS, J. R. (Coord.). Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464p.
5. ALEM SOBRINHO, P.; SAMUDIO, E. M. M. Desidratação de lodo de reator UASB em leito de secagem. XXV AIDIS, Anais, Cidade do México, 1996.
6. ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; GONÇALVES R. F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. 2ª Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 2014. 444p.
7. BAREA, P. B. Desaguamento e higienização de lodo de esgotos sanitários: pré-dimensionamento e estimativas de custos de implantação. Trabalho de Final de Curso, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR, 2013.
8. BITTENCOURT, S. Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná: aplicabilidade da Resolução CONAMA 357/06. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná. 2014.
9. BOLETIM CLIMATOLÓGICO ANUAL DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG-USP. Seção Técnica do Serviço Meteorológico- Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, v.14, 2010. São Paulo: IAG-USP, 2010.
10. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama n.375, de 29 de agosto de 2006: Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 ago. 2006.
11. GONÇALVES, R. F. *et al.* Desidratação de lodo de reatores UASB através de leito de secagem na região costeira do Espírito Santo. XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais, João Pessoa: ABES, 2001.

12. GONÇALVES, R. F. *et al.* Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. In: Desidratação de lodo de esgotos / Andreoli C. V. (Coord.). Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. 282p.
13. INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. Sistema de Informações Meteorológicas. Disponível em: <[http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=vitoria\\_sh](http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=vitoria_sh)>. Acesso em: novembro, 2016.
14. JORDÃO, E. P. É possível economizar energia nas estações de tratamento de esgoto?. Revista DAE: Ponto de vista, São Paulo-SP, v. 63, n. 200, p. 6-12, set./dez. 2015.
15. LIMA, M. R. P.; MÜLLER, P. S. G.; GONÇALVES, R. F. Taxas de aplicação de lodo de lagoas anaeróbias de estabilização para desidratação em leitos de secagem, III EESMA, Anais. Vitória- ES, 1999.
16. PEDROZA, E. da C. L. *et al.* Alternativas de uso de resíduos do saneamento. In: Aplicação de leitos para secagem de lodo gerado em estações de tratamento de esgotos. ANDREOLI, C. V. (Coord.). Rio de Janeiro: ABES, 2006. 417p.
17. SOARES, S. R. A. Modelagem do processo de desidratação de lodo anaeróbio em leitos de secagem simulados. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v.5, n.2, p.313-319, 2001.
18. ROSS, B. Z. L. Escuma de reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico em escala real: produção, caracterização e proposição de parâmetros para seu gerenciamento. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná. 2015.
19. VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente. 1994.