

Acumulo de lodo em lagoa anaeróbia primaria tratando esgoto sanitário

Sludge accumulation in primary anaerobic lagoon treating sewage

Acumulación de lodos en lagunas anaeróbicas primarias de tratamiento de aguas residuales

DOI: 10.54033/cadpedv22n9-077

Originals received: 6/6/2025

Acceptance for publication: 6/30/2025

Wellington Teixeira Junior

Graduado em Engenharia Civil - Saneamento

Instituição: Universidade Federal de Goiás

Endereço: Goiânia, Goiás, Brasil

E-mail: wellingtonjr@gmail.com

Elaine Cristina Brás de Freitas

Graduada em Engenharia Civil - Saneamento

Instituição: Universidade Federal de Goiás

Endereço: Goiânia, Goiás, Brasil

E-mail: elainecristinabras@gmail.com

Francisco Javier Cuba Teran

Doutor em Engenharia Civil - Saneamento

Instituição: Universidade Federal de Goiás

Endereço: Goiânia, Goiás, Brasil

E-mail: paco@ufg.br

Renata Medici Frayne Cuba

Doutora em Engenharia Civil - Saneamento

Instituição: Universidade Federal de Goiás

Endereço: Goiânia, Goiás, Brasil

E-mail: paco@ufg.br

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados obtidos numa investigação experimental realizada na lagoa anaeróbia da estação de tratamento de esgoto da cidade de Goiatuba-GO, desde o ano 2003 até o ano 2014. O objetivo geral foi estudar a evolução da camada de lodo nessa lagoa e verificar a aplicabilidade das taxas propostas por Von Sperling (2005), Mara (2003), Gonçalves (1999) e o modelo desenvolvido por Saqqar e Pescod (1995). A batimetria efetuada no

fundo da lagoa acusou o acúmulo de 801,813 m³ de lodo, o mesmo que mostrou-se inferior ao valor de 1212 m³ obtido por meio da aplicação do modelo de Saqqar e Pescod (1995). Aplicando a taxa proposta por Mara (2003), obteve-se um volume de 1622 m³ e aplicando as taxas de Von Sperling (2005) e Gonçalves (2005), foi obtido o volume de 1216 m³.

Palavras-chave: Lagoas Anaeróbias. Acúmulo de Lodo. Modelação Matemática.

ABSTRACT

This study presents the results obtained from an experimental investigation carried out at the anaerobic pond of the wastewater treatment plant in the city of Goiatuba, Goiás, Brazil, from 2003 to 2014. The main objective was to assess the evolution of the sludge layer in this pond and to verify the applicability of the accumulation rates proposed by Von Sperling (2005), Mara (2003), Gonçalves (1999), and the model developed by Saqqar and Pescod (1995). The bathymetric survey conducted at the pond bottom indicated a sludge accumulation of 801.813 m³, a value lower than the 1,212 m³ estimated by applying the model of Saqqar and Pescod (1995). When applying the rate proposed by Mara (2003), the estimated sludge volume was 1,622 m³, whereas the application of the rates proposed by Von Sperling (2005) and Gonçalves (1999) resulted in a volume of 1,216 m³.

Keywords: Anaerobic Ponds. Sludge Accumulation. Mathematical Modeling.

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados obtenidos en una investigación experimental realizada en la laguna anaeróbica de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Goiatuba, GO, entre 2003 y 2014. El objetivo general fue estudiar la evolución de la capa de lodos en esta laguna y verificar la aplicabilidad de las tasas propuestas por Von Sperling (2005), Mara (2003), Gonçalves (1999) y el modelo desarrollado por Saqqar y Pescod (1995). La batimetría realizada en el fondo de la laguna mostró una acumulación de 801.813 m³ de lodos, inferior al valor de 1.212 m³ obtenido mediante la aplicación del modelo de Saqqar y Pescod (1995). Aplicando la tasa propuesta por Mara (2003), se obtuvo un volumen de 1622 m³, y aplicando las tasas de Von Sperling (2005) y Gonçalves (2005), un volumen de 1216 m³.

Palabras clave: Lagunas anaeróbicas. Acumulación de lodos. Modelado matemático.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de tratamento de esgotos sanitários que empregam lagoas de estabilização são soluções muito empregadas no Brasil para mitigar o impacto causado aos recursos hídricos. Nesses sistemas, o tratamento preliminar está constituído por gradeamento e remoção de areia e os sólidos orgânicos remanescentes são direcionados junto com o líquido até a primeira lagoa do sistema, geralmente anaeróbia ou facultativa, chamada de lagoa primária.

Na lagoa primária ou primeira lagoa da série, os poluentes em estado líquido sofrem degradação bacteriana com mais facilidade do que os poluentes em estado sólido, estes últimos se depositando no fundo na forma de uma camada de lodo.

É comum encontrar casos em que o lodo depositado no fundo de lagoas primárias é retirado das mesmas depois de dez anos de funcionamento ou quando chega a ocupar um terço do volume útil da lagoa (Mara, 2003). A presença dessa camada chega a influenciar no funcionamento aumentando ainda mais a diferença entre o tempo de detenção hidráulica teórico e o real devido à diminuição do volume útil da unidade.

De forma a participar da rotina de operação e manutenção de lagoas primárias, atualmente são empregadas taxas de acúmulo em unidades $\text{m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$, as mesmas que apresentam grandes variações regionais normalmente função do clima. De forma a prever com mais precisão o funcionamento e as atividades de manutenção das lagoas são necessários estudos direcionados à produção e acúmulo de lodo no fundo dessas unidades.

Neste trabalho são apresentados os resultados obtidos num trabalho experimental realizado em uma lagoa anaeróbia da estação de tratamento de esgoto da cidade de Goiatuba-GO, desde o ano 2003 até o ano 2014.

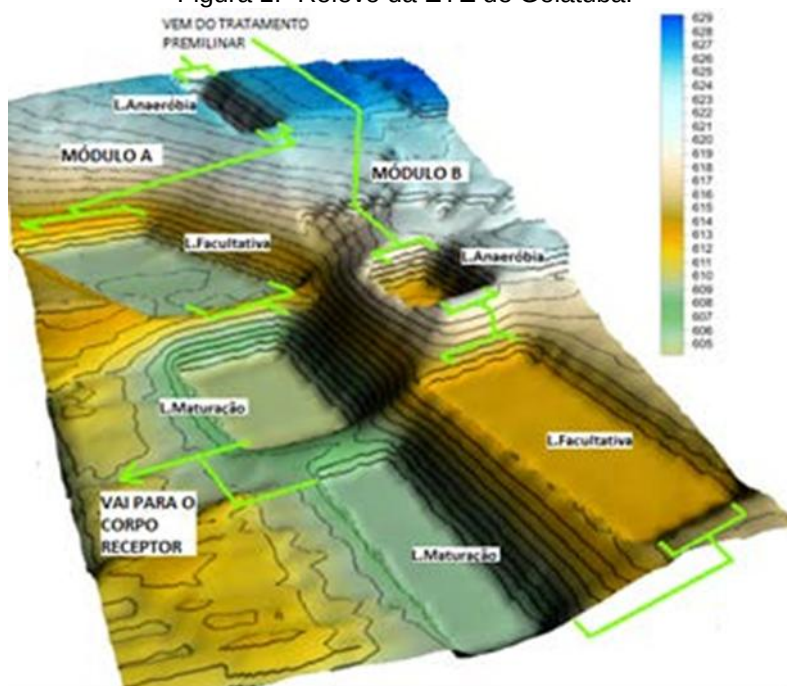
O objetivo geral foi estudar a evolução e a distribuição da camada de lodo no fundo da lagoa e verificar a aplicabilidade nessa lagoa, das taxas de acúmulo apresentadas por Von Sperling (2005), Mara (2003), Gonçalves (1999) e o modelo desenvolvido por Saqqar e Pescod (1995). Também foram estudadas a

distribuição de vazão afluente e as variáveis físico-químicas do esgoto bruto e do efluente da lagoa.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A estação de tratamento de esgoto (ETE) da cidade de Goiatuba está constituída por tratamento preliminar com grade média, caixa de areia e medidor Parshall e dois módulos de lagoas funcionando em paralelo. Cada módulo conta com uma lagoa anaeróbia seguida por uma facultativa e uma de maturação, conforme apresentado na Figura 1. Após o tratamento, o efluente é lançado no Córrego Santa Maria por meio de um emissário provido de escada hidráulica.

Figura 1.- Relevo da ETE de Goiatuba.

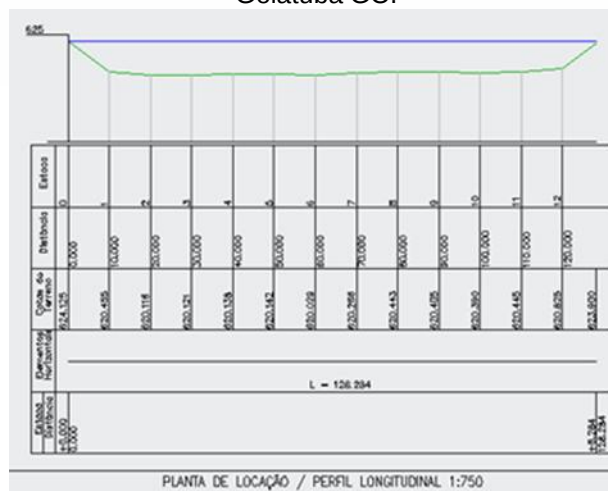


Fonte: os autores

A lagoa objeto deste estudo é a lagoa anaeróbia do Módulo A, a mesma que foi projetada com profundidade de 4,7 m mas foi implantada com 4 m de profundidade em decorrência da presença de rochas no subsolo.

O volume real da lagoa e o volume de lodo acumulado foram medidos por meio de batimetria nas seções apresentadas na Figura 2

Figura 2. - Seções levantadas ao longo do comprimento da lagoa anaeróbia da ETE de Goiatuba GO.



Fonte: os autores

Para atender aos objetivos foram analisados parâmetros físico-químicos do esgoto bruto e efluente da lagoa anaeróbia, foi monitorada a vazão de esgoto bruto, foram determinadas as velocidades de escoamento da água residuária no desarenador e foi realizado um levantamento batimétrico da camada de lodo acumulada na lagoa. As taxas de acúmulo de lodo usadas como referência são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. - Taxas de acúmulo de lodo usadas como referência do trabalho

Taxa de acúmulo de lodo (m ³ .hab ⁻¹ .ano ⁻¹)	Referência
0,04	Mara (2003)
0,03 a 0,15	Gonçalves (1999)
0,03 a 0,08	Von Sperling (2005)

Fonte: os autores

Além das taxas apresentadas na Tabela 2, Saqqard e Pescod (1995) desenvolveram um modelo matemático destinado ao cálculo do volume de lodo a ser acumulado em lagoas anaeróbias primárias. Gonçalves (1999) descreve o modelo da seguinte forma:

A taxa de acumulação (FL) de lodos é definida pelo balanço de massa que considera a carga de sólidos suspensos na entrada, a carga de sólidos suspensos na saída e a produção de sólidos por ação biológica na lagoa:

$$FL = (F_{XSS, 0} - F_{XSS, 1}) + \Delta FX \quad [1]$$

onde:

FL = taxa de acumulação de lodo na lagoa

$F_{XSS,0}$ = carga de sólidos suspensos na entrada da lagoa (kg/d). $F_{XSS,1}$ = carga de sólidos suspensos na saída da lagoa (kg/d). ΔFX = taxa de produção de sólidos por ação biológica (kg/d).

A produção de sólidos decorrente do metabolismo bacteriano na camada de lodos é definida por:

$$\Delta FX = Y \Delta F_{DBO} = Y (F_{CDBO,0} - F_{CDBO,1}) \quad [2]$$

onde:

Y = coeficiente de rendimento (kg SS / kg DBO5) $F_{CDBO,0}$ = carga de DBO5 na entrada da lagoa (kg/dia) $F_{CDBO,1}$ = carga de DBO5 na saída da lagoa (kg/dia)

Como os sólidos suspensos (XSS) podem ser divididos em sólidos suspensos voláteis (XVSS) e sólidos suspensos fixos (XFSS), a equação [2] pode ser escrita da seguinte forma:

$$FL = (F_{XVSS,0} - F_{XVSS,1}) + (F_{XFSS,0} - F_{XFSS,1}) + Y (F_{CDBO,0} - F_{CDBO,1}) \quad [3]$$

O volume de lodo acumulado diariamente na lagoa pode ser definido através da equação 4.

$$Q_{AS} = \left[\frac{(j1.f1)(F_{XVSS,0}) + (j2.f2)(F_{XFSS,0}) + (j3.Y.f3)(F_{CDBO,0})}{[SGS.\rho_w(1 - Ws)]} \right] \quad [4]$$

Onde:

Q_{AS} = volume de lodo acumulado diariamente na lagoa (m³/dia)

SGs = Massa específica do lodo

ρ_w = Densidade da água = 1000 Kg/m³ W_s = Teor de umidade lodo (%)

f_1 = Fração de $F_{XVSS,0}$ removida na lagoa f_2 = Fração de $F_{XFSS,0}$ removida na lagoa f_3 = Fração de $F_{CDBO,0}$ removida na lagoa

j_1 = Fração de F_{XSSV} não destruída por digestão anaeróbia na lagoa j_2 = Fração de F_{XSSF} não destruída por digestão anaeróbia na lagoa

j_3 = Fração de sólidos biológicos produzidos e não destruída por digestão anaeróbia na lagoa considerando-se o denominador da equação [4] como sendo constante, ela pode ser reescrita como:

$$Q_{AS} = [(\gamma_1 \cdot F_{XVSS,0} + \gamma_2 \cdot F_{XSS,0} + \gamma_3 \cdot F_{CDBO,0}) / 1000] \quad [5]$$

Onde:

$$\gamma_1 = (j_1 \cdot f_1) / [SGs \cdot \rho_w \cdot (1 - W_s)] \quad [6]$$

$$\gamma_2 = (j_2 \cdot f_2) / [SGs \cdot \rho_w \cdot (1 - W_s)] \quad [7]$$

$$\gamma_3 = (j_3 \cdot f_3) / [SGs \cdot \rho_w \cdot (1 - W_s)] \quad [8]$$

Para determinar os coeficientes γ_1 , γ_2 e γ_3 , o modelo assume que, no tocante aos sólidos retidos, a lagoa anaeróbia opera de forma semelhante a um digestor anaeróbio de lodo. Assim:

$f_1 = 0,74$ (eficiência de remoção de sólidos na lagoa estudada pelos autores)

$f_2 = 0,74$ (eficiência de remoção de sólidos na lagoa estudada pelos autores) $f_3 = 0,53$ (valor médio determinado por Saqqar e Pescod, 1995)

$j_1 = 0,3$ (destruição de $XVSS,0$ em um digestor com TDH > 100 dias) $j_2 = 0,8$ (destruição de $XFSS,0$ em um digestor com TDH > 100 dias)

$j_3 = 0,50$ (composição das células bacterianas: SSV = 60% e SSF = 40%) $Y = 0,50$ (coeficiente de rendimento para digestão anaeróbia)

$W_s = 0,88$ (determinado pelos autores com o lodo da lagoa estudada) $SGs = 1,03$ (determinado pelos autores com o lodo da lagoa estudada)

Com base nos valores acima, e nas equações [6], [7] e [8], ficam definidos $\gamma_1 = 1,8$, $\gamma_2 = 4,8$ e $\gamma_3 = 1,07$ e a equação [5] transforma-se em:

$$V_{AS} = 1,07 \cdot [(1,7 \cdot F_{XVSS,0} + 4,5 \cdot F_{XSS,0} + 1,0 \cdot F_{CDBO,0}) / 1000] \quad [9]$$

Onde:

V_{AS} = Volume de lodo acumulado (m^3)

Essa equação pode ser reescrita nos casos em que parâmetros tais como f_1 , f_2 , f_3 , W_s e SG_s sejam objeto de pesquisa e assumam outros valores. Saqqar e Pescod (1995) ponderam que a degradação dos sólidos na camada de lodos de uma lagoa ocorre durante períodos muito longos (> 5 anos), o que permite a decomposição do material orgânico muito lentamente biodegradável. Este fato repercutiria na redução adicional do volume previsto pela equação [9], o que poderia ser previsto através da transformação desta equação em uma equação mais genérica, com a forma (GONÇALVES, 1999):

$$V_{AS} = K_{AS} \cdot [(1,7 \cdot F_{XVSS,0} + 4,5 \cdot F_{XSS,0} + 1,0 \cdot F_{CDBO,0}) / 1000] \quad [10]$$

Onde:

K_{AS} = Coeficiente de acumulação de lodo

Segundo Gonçalves (1999), a equação [10] indica que a decomposição do lodo acumulado é diretamente proporcional ao termo $[(1,7 \cdot F_{XVSS,0} + 4,5 \cdot F_{XSS,0} + 1,0 \cdot F_{CDBO,0}) / 1000]$. Conhecendo-se as características médias do esgoto a ser tratado ($F_{XVSS,0}$, $F_{XSS,0}$ e $F_{CDBO,0}$), torna-se possível o cálculo do valor de V_{AS} de forma simples e direta. Valores K_{AS} elevados indicam que o lodo acumulado se encontra pouco digerido, enquanto que, para valores pequenos, o lodo está bem digerido no fundo da lagoa.

3 RESULTADOS

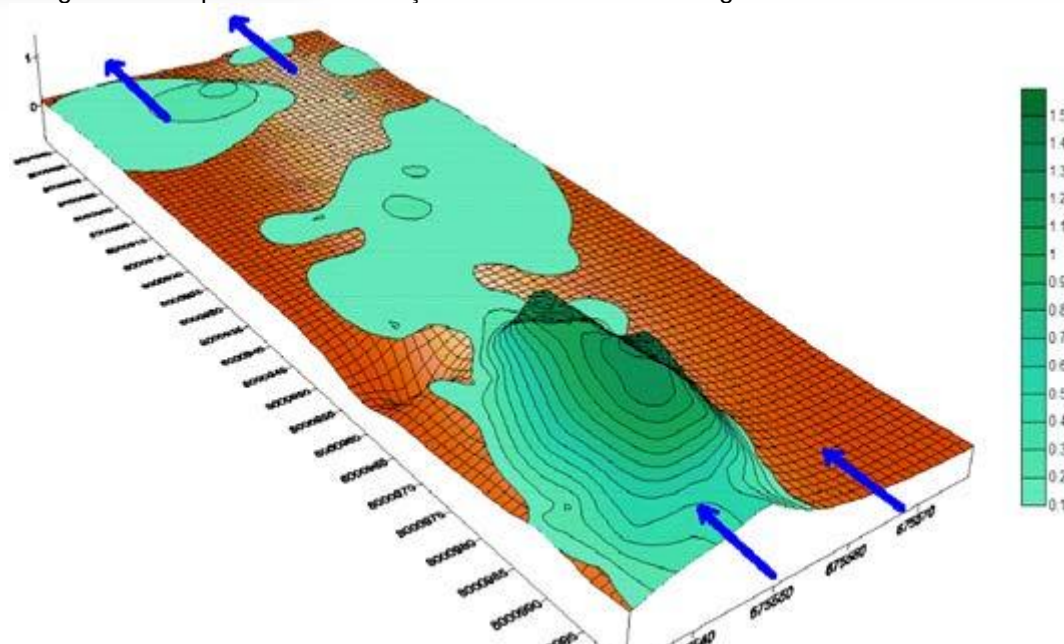
A vazão média de esgoto bruto afluyente à lagoa em estudo foi estimada em $648 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ e representa atualmente uma utilização de 20% em relação à vazão de projeto da ETE de Goiatuba. Mesmo nessas condições, o desempenho da lagoa foi similar ao calculado por meio das equações propostas em estudos realizados por von Sperling (2005), sendo o valor calculado da eficiência de remoção de DBO5 igual a 71 % e o valor levantado em campo igual a 67 %. A velocidade do escoamento de água residuária na caixa de areia se encontra dentro das normas da NBR 12209 quando apenas um dos canais está em funcionamento.

Com os dados do levantamento batimétrico ficou evidenciado que a camada de lodo acumulada na lagoa anaeróbia ocupa uma lâmina média de 0,3 m e um volume estimado em $801,813 \text{ m}^3$, correspondente a 8,7% da capacidade útil igual a 9165 m^3 .

As taxas e modelo foram calculados para um período de 11 anos de funcionamento da ETE, SST = 220 mg/L, DBO = 200 mg/L e KAS = 0,6.

Conforme pode-se verificar na Figura 3, a distribuição da camada de lodo mostra o caminho preferencial do líquido que predominantemente atravessa a lagoa lateralmente da entrada da para a saída do lado esquerdo. Esse comportamento permite inferir que o vertedor da saída direita encontra-se nivelado em cota superior com relação ao da esquerda, causando maior escoamento nessa direção.

Figura 3 – Esquema de distribuição de lodo no fundo da lagoa anaeróbia do Módulo A.



Fonte: os autores

O tempo de detenção hidráulica médio da lagoa era de 13,13 dias, atualmente acima da faixa típica recomendada pela literatura para esse tipo de reator. Porém por ocasião da operação da ETE com sua capacidade de projeto (72 L/s, 36 L/s em cada módulo) esse tempo seria de 3 dias.

O volume efetivamente acumulado ($801,813 \text{ m}^3$) na lagoa anaeróbia objeto deste estudo é inferior ao valor de 1212 m^3 obtido por meio da aplicação do modelo de Saqqar e Pescod (1995). Usando os dados de Mara (2003), obteve-se um volume de 1622 m^3 , e com os dados de Von Sperling (2005) e Gonçalves (2005), foi obtido o volume de 1216 m^3 .

A partir da população projetada para o ano 2014 (7276 hab), a taxa calculada a partir do volume de lodo efetivamente medido na lagoa foi de $0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Da mesma forma, o valor de K_{AS} coerente com o volume efetivamente acumulado seria de 0,423 o que indica a presença de um lodo bem digerido no fundo da lagoa.

4 CONCLUSÕES

A partir desta investigação foi observado existe uma distribuição deficiente do esgoto afluente à lagoa anaeróbia. Da mesma forma, devido à ausência de quantidade significativa de lodo na lagoa anaeróbia do módulo B, pode-se inferir que a distribuição das vazões entre ambos os módulos é deficiente. Assim, torna-se evidente que para otimizar a eficiência da lagoa anaeróbia são necessárias providências direcionadas a melhorar a distribuição do esgoto afluente assim como a divisão equitativa do mesmo nos dois módulos da ETE.

O acúmulo de lodo em lagoas anaeróbias primárias é um dos principais parâmetros que permite estimar a atividade de decomposição anaeróbia do material orgânico particulado que se acumula no fundo da lagoa.

Esse estudo evidenciou o acúmulo de 801,813 m³ de lodo no fundo da lagoa, levantamento esse que foi usado para verificar a distribuição não homogênea do afluente entre os módulos da ETE.

O volume calculado por meio das taxas propostas pelos autores foi similar com o calculado por meio do modelo matemático para KAS = 0,6. Porém esses valores se mostraram bem superiores ao valor efetivamente medido no fundo da lagoa.

Os resultados encontrados permitem prever a quantidade de lodo a ser produzido em uma lagoa anaeróbia, para operação, diagnóstico e operação de ETEs.

Como recomendações, sugere-se estender este estudo às outras lagoas componentes do sistema de forma a saber a produção total de lodo da ETE.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que possibilitaram a realização e a publicação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

GONÇALVES, R. F. Coord. Gerenciamento de lagoas de estabilização não mecanizadas. **PROSAB FINEP**, 1999.

KELLNER, E., PIRES, E.C. – **Lagoas de estabilização: projeto e operação**. Editora ABES, 242p, Rio de Janeiro, 1998

MARA, D. **Domestic wastewater treatment**. Eathscan, London, 2003.

SAQQAR, M.M., PESCOD, M.B. - **Modelling sludge accumulation in anaerobic wastewater stabilization ponds**. Wat. Sci. Tech., Vol. 31, No 12, pp. 185-190, 1995.

Von SPERLING, M, CHERNICHARO, C. A. L. **Biological Treatment in Warm Climate Regions**. IWA, London, 2005.