

Clean Development Mechanism - Tratamento de Resíduos Sólidos e Oxidação de Gás Metano para Minimização de Emissões

Tobias Bahr, Klaus Fricke, Kai Hillebrecht, Florian Kölsch e Britta Reinhard

Technische Universität Braunschweig, Abt. Abfallwirtschaft, Beethovenstrasse 51a, 38106 Braunschweig, Germany, t.bahr@tu-bs.de; klaus.fricke@tu-bs.de²GTRE,

1 INTRODUÇÃO E APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Emissões descontroladas de gás provenientes de aterros contribuem representativamente para o efeito estufa em vista dos seus grandes teores de metano.

Em países emergentes e em desenvolvimento, a disposição aberta de resíduos em aterros (sem contenção de gases e chorume) apresenta-se como prática comum de disposição de resíduos (ver Tabela 2). A margem financeira não permite, na maioria das vezes, a realização de uma tecnologia viável para um melhor tratamento e disposição de resíduos, como é realizado na Alemanha. A introdução posterior da captação e aproveitamento de gás se tornará trabalhosa e cara, mostrando-se inviável no futuro.

A aplicação de camadas de filtros de oxidação de metano representa uma alternativa de baixo custo para o tratamento difuso de emissões decorrentes de metano em aterros. Como material para o filtro é possível usar composto (produto resultante da compostagem) e compostos similares, provenientes do tratamento mecânico-biológico (mechanisch-biologischen Abfallbehandlung - MBA). Estes produtos apresentam condições favoráveis para o processo de oxidação de metano e são confeccionados in-situ sem grandes despesas técnicas.

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) - Clean Development Mechanism (MDL) - ancorado no protocolo de Kyoto, são instrumentos de medidas de proteção climática em países emergentes e em desenvolvimento, financiadas por investimentos de países desenvolvidos. Dentro deste plano descrito, empresas alemãs visam o reconhecimento de etapas de um projeto científico de resíduos na China como projeto MDL. As etapas relevantes englobam o tratamento mecânico-biológico de resíduos não-recicláveis (MBA) assim como a aplicação de filtros de oxidação de gás metano como filtros de superfície em aterros. O material para o filtro é obtido a partir de uma estação de tratamento mecânico-biológico de resíduos não-recicláveis. O reconhecimento do tratamento mecânico-biológico de resíduos não-recicláveis como projeto MDL se apresenta comparativamente simples visto que a degradação dos compostos orgânicos e a diminuição do potencial de geração de metano no resíduo podem ser medidas através do balanço entre o fluxo de entrada e saída.

A eficiência da degradação de emissões difusas de aterros em camadas de oxidação de metano, em contrapartida – como condição para a aceitação como MDL – não pode ser no momento suficientemente quantificada. Para calcular a redução do efeito através da consideração de influências climáticas e de técnicas de deposição é necessário reproduzir as emissões de metano assim como os efeitos da camada filtradora.

A técnica projetada é aqui esboçada e informações fundamentais para a oxidação de metano são apresentadas juntamente com estimativas dos investimentos provenientes do Certificado de Redução de Emissões para a combinação de tratamento mecânico-biológico de resíduos sólidos residuais e oxidação de metano em aterros.

2 EMISSÕES DE GÁS METANO

2.1 Emissões Globais de Gás Metano

Como consequência da liberação de CH₄ o teor de metano atmosférico aumentou mais do que o seu dobro desde o início da industrialização. O atual aumento é de em média cerca de 1% ao ano (de 0,62 ppm para 1,75ppm).

A quantidade anual emitida mundialmente segundo estudos do IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* – publicados em 1996, calculado entre os anos 1980 até 1990 foi de 375 milhões de toneladas. Isto implica uma porcentagem de efeito estufa antropogênico de aproximadamente 20%. As maiores quantidades de metano naturais procedem originalmente de áreas úmidas (gás do pântano). As fontes antropogênicas procedem basicamente de cultivo de arroz, criação de animais, exploração e queima de petróleo e gás natural, mineração e de aterros.

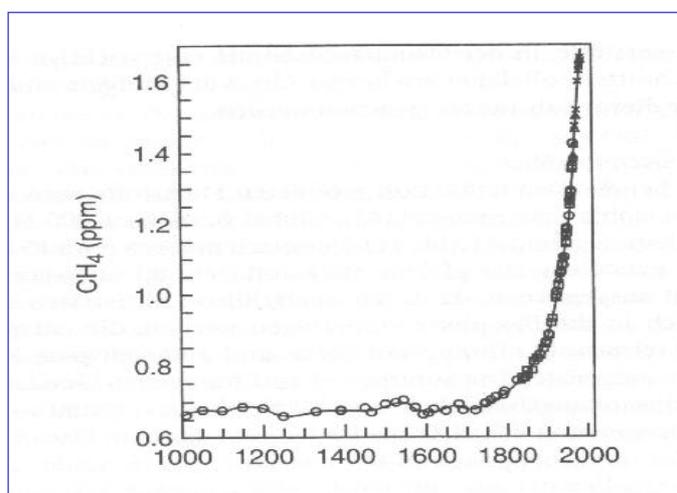


Figura 1: Aumento do teor de metano na atmosfera

Tabela 1: Estimação anual de emissões naturais e antropogênicas mundiais (1980 – 1990) e para a República Federativa da Alemanha (1990). Fonte: modificada após IPCC 1996, Comissão de Pesquisas, Departamento do Meio Ambiente 1993; citado por Höper 1998

	Emissões mundiais de CH ₄		Emissões de CH ₄ na Alemanha	
	Mi.t CH ₄ /ano	%	Mi.t CH ₄ /ano	%
Fontes naturais	160		0,3-0,4	
Fontes antropogênicas				
Fontes fósseis de energia	100	27	1,3-2,1	25
Animais	85	23	1,4	19
Excrementos animais	25	7	0,5	7
Campos de arroz	65	17		
Queima de biomassa	40	11		
Gestão de resíduos	60	16		35
Soma	375		5,2-7,3	

Fonte: Departamento de Proteção Ambiental da Baviera, 2004, *Gases de Efeito Estufa*
http://www.bayern.de/lfu/umwberat/data/klima/treibhaus_2004.pdf

2.2 Emissão de Metano em Aterros Sanitários

Uma estimativa do volume de metano formado e emitido em aterros torna-se bastante difícil devido a extrema oscilação do valor Potencial na formação de gases e vida média. Para cada tonelada de resíduo sólido urbano úmido (RSU_{úmido}) sem pré-tratamento é estimado a formação de cerca de 200 m³ de gases de aterro [Rettenberg, 1996]. Além disso, adotando que 50% do volume dos gases de aterros são compostos por metano, resulta-se num potencial específico de geração de aproximadamente 100 m³ CH₄/(t RSU_{úmido}). Humer & Lechner (1997) presumem um potencial específico de geração de metano de cerca de 80 à 120 m³ CH₄/t RSU_{úmido} e prevêm para um aterro sanitário urbano em funcionamento com 20 m de espessura um fator de emissão de cerca de 340 l CH₄/(m² d) para os primeiros 10 anos. Através da separação dos resíduos orgânicos com respeito a coleta e seu aproveitamento, as emissões de metano atingem valores entre 120 e 160 l CH₄/(m² d) e para os resíduos restantes pré-tratados mecânica e biologicamente, valores abaixo de 25 l CH₄/(m² d). Em áreas contaminadas com cerca de 10-15 anos, Humer & Lechner (1997) estimam valores de entre 90-110 l CH₄/(m² d). Estas e outras referências bibliográficas sobre emissões de gases em aterros sanitários, ou seja, de metano, estão agrupados na Tabela 2. Segundo Fricke et al. (2002), a emissão máxima de metano por área específica em diversos exemplos prognósticos para Resíduos sólidos urbanos com tratamento mecânico e biológico encontram-se abaixo de 3 l CH₄/m² por hora, ou seja, 72 l CH₄/m² por dia.

Em 1996, a emissão de metano em aterros chineses alcançou valores de cerca de 9,5 bilhões de toneladas, que equivale, devido a grande relevância climática do metano, a cerca de 200 milhões de CO₂-equivalente (eCO₂). Valor este comparável com a emissão de CO₂ emitida pelo trânsito (184 milhões t) ou pelo setor privado (333 milhões t). A emissão mundial de metano por aterros é estimada em 60 milhões de toneladas, sendo 15% deste proveniente de aterros chineses.

Tabela 2: Quantificação da emissão de metano em corpos de aterros

Fonte de metano	Carga por área [l CH ₄ /m ² d]	Referências bibliográficas
Aterro em funcionamento nos primeiros 10 anos, 20 m de profundidade	ca. 340	(Humer & Lechner, 1997)
Resíduo restante após separação do resíduo orgânico, nos primeiros 10-15 anos, 20 m profundidade	ca. 120 -160	(Humer & Lechner, 1997)
Resíduo mecânica e biologicamente tratado, 20 m profundidade	< 25	(Humer & Lechner, 1997)
Resíduo mecânica e biologicamente tratado	max. 72	(Fricke et al., 2002)
Áreas abandonadas, após 10-15 anos	ca. 90 - 110	(Humer & Lechner, 1997)
Lixão doméstico	ca. 400	(Kightley & Nedwell, 1994)
Medida média inferior das emissões em aterros	ca. 300	(Bajic % Zeiss, 2001)

3 MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL)

O Protocolo de Kyoto criou o chamado “Mecanismos de Flexibilização”, diferentemente dos princípios anteriores predominantes de ordem legal para proteção climática e ambiental. A idéia central é, com o instrumento de comércio de certificados, direcionar investimentos de projetos em medidas de redução de emissões, onde este apresenta-se economicamente mais viável ou onde a maior eficiência do recurso utilizado seria alcançada. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) ancorado no Protocolo de Kyoto, apresenta-se como instrumento de investimento para medidas de proteção climática em países em desenvolvimento e emergentes através de recursos financeiros provenientes de países industrializados. O MDL pertence a um dos dois mecanismos de flexibilidade e orientado a projetos do Protocolo de Kyoto. A realização de projetos em países em desenvolvimento de redução dos gases que contribuem para o efeito estufa é um pré-requisito do MDL. Estas diminuições das emissões serão inspecionadas através da Mesa Executiva da Secretaria da EU (União Européia) para o Clima com respeito a um processo de certificação. Certificados de Redução de Emissões (CER) serão emitidos para reduções atingidas de emissões, que podem ser utilizados após a entrada em vigor da Norma complementar para a atual Norma do Mercado de Emissões da EU desde 01/01/2005, também para cumprimento do correspondente Compromisso de Emissões com respeito ao sistema de Mercado de Emissões.

Um país, presente no Anexo B do Protocolo de Kyoto, poderá estruturar projetos de redução de emissões em um país não presente neste anexo e se beneficiar desta diminuição na forma de “Créditos de Carbono” (CERs). Assim existe a possibilidade de reduzir as emissões dos gases causadores do efeito estufa em lugares onde os custos de projeto se apresentam mais baixos. Um outro objetivo do MDL é a contribuição para o desenvolvimento sustentável do país anfitrião. Um efeito secundário desejado é também a transferência de tecnologia para os países em desenvolvimento e emergentes.

Pré-requisito para a geração de “Créditos de Carbono” é que a redução de emissões aconteça juntamente com as medidas que também ocorreriam sem o reconhecimento do projeto como MDL-Projeto. Este conhecido “Suplemento” de minimização das emissões serão verificados através da confrontação dos cenários de referência que refletem o mercado usual.

Os preços para créditos de carbono apresentava-se no passado entre 0,4 USD por tonelada de CO₂ na Dinamarca e cerca de 18 € em processos acionários na Grã-Bretanha. Prognoses sobre os preços de créditos de carbono mostram uma margem bastante ampla. Estimativas da Comissão Européia assumem valores entre 15 a 75 € por tonelada de CO₂, enquanto a Associação Federal da Indústria Alemã assumem valores de 200 €. O

desenvolvimento do mercado para permissões europeias de “direitos de emissão” é bastante íngreme desde da criação do Sistema de Comércio Europeu (Figura 2). Estes custam no momento (dato referente ao mês de agosto) 22 €/t CO₂ [Pfaff-Simoneit, 2006].

Em muitos projetos reconhecidos como MDL pôde-se alcançar reduções significantes de emissões de aterros, isto através do pré-tratamento térmico ou biológico dos resíduos sólidos com coleta e tratamento dos gases do aterro, através da combustão ou utilização energética em estações geradoras de energia térmica e elétrica. Outros projetos encontram-se em fase de desenvolvimento e serão em tempo estimado aplicados [UNFCCC, 2005]. Devido ao alto potencial de efeito estufa do metano (1 t CH₄ = 21 t eCO₂) serão alcançados projetos para aterros em relevante quantidade. O preço de mercado para créditos de carbono variam no momento, dependendo das condições de contrato, entre 5 e 15 US\$/t eCO₂. Juntamente com técnicas de tratamento de resíduos, como por exemplo a compostagem, é possível cobrir cerca de 20 até 30 % dos custos de operação do tratamento através deste financiamento.

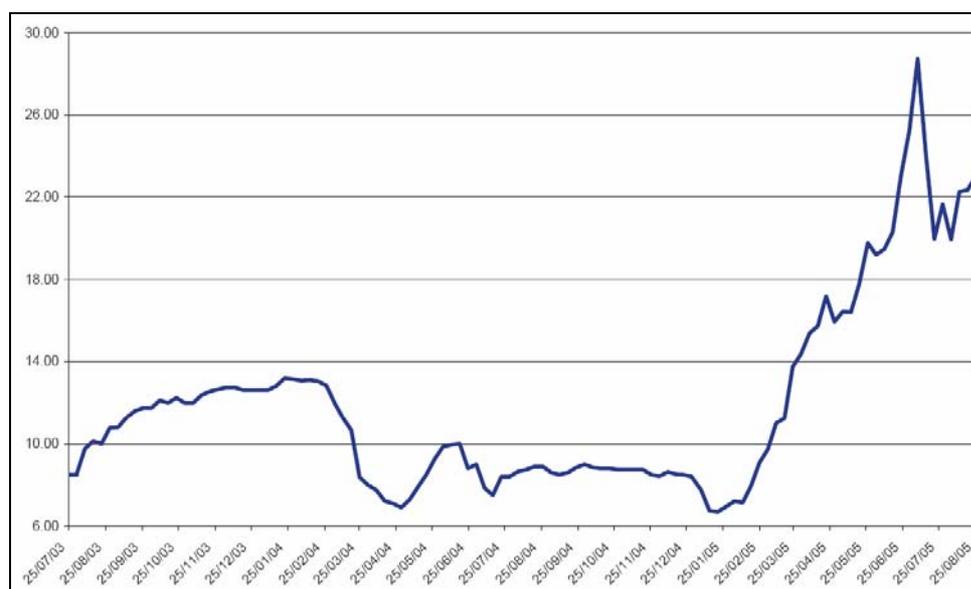


Figura 2: Variação de preços para Direitos de Emissões da EU (Pfaff-Simoneit, 2006)

4 REDUÇÃO DE EMISSÕES DE RELEVÂNCIA CLIMÁTICA

Para a disposição de resíduos apresenta-se dois instrumentos técnicos:

- Prevenção de geração de metano através de:
 - Aproveitamento de componentes biodegradáveis (aproveitamento de papel/papelão, fermentação e compostagem de resíduos de cozinha e de jardinagem)
 - Pré-tratamento de resíduos antes da disposição através de técnicas biológicas ou térmicas;
- Redução das emissões de metano resultantes através de oxidação térmica ou biológica:
 - Oxidação térmica (captação e queima de gases de aterro ou aproveitamento energético, por exemplo, em geradores de energia térmica e elétrica)
 - Oxidação microbiológica em filtros de oxidação de metano

4.1 *Pré- tratamento de Resíduos antes da Disposição através de Técnicas Biológicas ou Térmicas*

Visto que para técnica aqui projetada está previsto o uso do processo de tratamento mecânico-biológico de resíduos, sendo assim a explanação limitada, neste artigo, a este tipo de pré-tratamento, sem com isso, propor uma preferência em relação às outras opções de pré-tratamento.

Embora em países emergentes e em desenvolvimento exista um grande potencial para a degradação biológica de componentes dos resíduos e as condições técnicas sejam baratas, a utilização dessa fração biológica para a produção de biogás e compostagem não é encontrada em valores significativos.

Também técnicas de pré-tratamento de resíduos antes da disposição com o objetivo de redução de massa e aumento da estabilidade biológica são muito limitadas na prática. Isto está fundamentado em duas causas principais:

- Os custos para o aproveitamento e tratamento de resíduo geralmente não são, ou são apenas parcialmente cobrados através de impostos aos cidadãos;
- A má qualidade dos produtos da compostagem (composto) produz o fechamento das plantas de produção.

Na China a concepção integrada de tratamento de resíduos mostra uma solução para ambos os problemas apresentados :

- Através do reconhecimento do tratamento mecânico-biológico de resíduos sólidos residuais nos aterros como MDL serão gerados investimentos para o funcionamento do aproveitamento mecânico-biológico, assim como para o funcionamento do equipamento de tratamento de resíduos.
- Uma nova possibilidade é aberta através do aproveitamento como material de filtro de oxidação de metano dos compostos provenientes do tratamento mecânico-biológico de resíduos residuais impróprios para a aplicação na agricultura.

Nas técnicas de tratamento de resíduos é realizado um pré-tratamento mecânico-biológico com a integração do aterro. A fração com grande poder calorífico (fase grosseira) é na fase mecânica separada e utilizada energeticamente em fábricas de cimento locais. A fração fina, caracterizada por um alto teor de umidade e substâncias biodegradáveis, é estabilizada biologicamente e finalmente disposta ou aproveitada para finalidades técnicas como, por exemplo, como material para filtro de oxidação de metano. O processo é apresentado na figura 3. Experiências com equipamentos de técnicas MBA com diferentes padrões também existem na Tailândia e no Brasil (Fricke et al., 2001 und 2005).

O grau de degradação microbiológica possível no resíduo é determinado pela qualidade da degradação biológica das substâncias orgânicas (sólidos voláteis). Na Alemanha o valor da degradação biológica de sólidos voláteis para restos de resíduos é de, no máximo, 65%. Processos anaeróbios podem apresentar taxas de degradação de aproximadamente 50-55% (Fricke et al. 2004). O potencial de componentes degradáveis anaerobicamente – equiparado com o potencial de produção de metano – é reduzido em cerca de 80% (Müller et al. 1998).

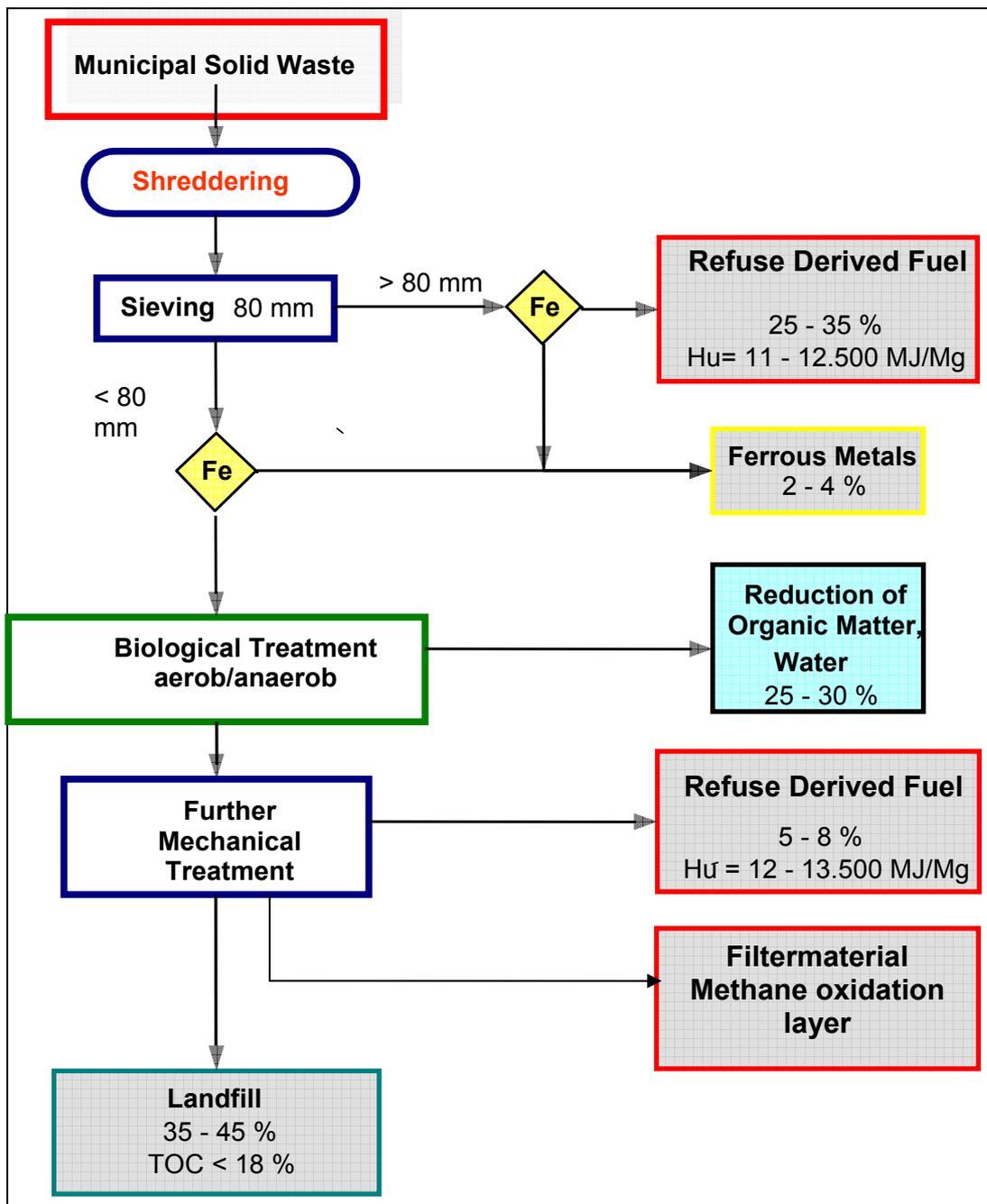


Figura 1: Esquema do processo de tratamento mecânico-biológico de resíduos com integração do aterro

4.2 Redução de Emissões de Metano Originadas através de Oxidação Térmica

Em países emergentes e em desenvolvimento o tratamento térmico (combustão) e o aproveitamento dos gases de aterros em geradores de energia térmica e elétrica é, na maioria das vezes, a técnica aplicada. Desde o início do ano de 2005, 10 projetos deste tipo foram registrados pela Convenção Marco das Nações Unidas sobre Mudança Climática (UNFCC - United Nations Framework Convention on Climate Change - dado atualizado em 1.3.2006). Entretanto existem diferentes problemas. Estes são particularmente: a longa duração e limitação na produção de gás em intervalos de tempo, limitação na coleta dos gases durante o funcionamento do corpo do aterro e as emissões restantes do aterro após o processo torna-se economicamente inviável. Além disso existe a falta em aterros antigos de instalações para a retirada dos gases.

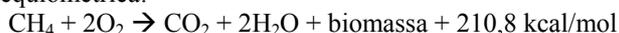
4.3 Redução de Emissões de Metano através de Oxidação Microbiológica em Filtros de Oxidação de Metano

A aplicação de camadas de oxidação de metano se apresenta como uma alternativa inovadora e com baixos custos para o tratamento de emissões difusas recorrentes de metano. Como camada oxidativa de metano são usados compostos (produto resultante de compostagem) e produtos similares provenientes de tratamento mecânico-biológico de resíduos (MBA), por tais materiais apresentam condições favoráveis para o processo de oxidação de metano não existindo a necessidade de grandes gastos técnicos in-situ.

4.3.1 Princípios Fundamentais

Por todos os lugares onde metano recentemente gerado, seja ela fóssil ou abiogênico, alcança a área aeróbica da atmosfera, ocorre uma oxidação aeróbica do metano em dióxido de carbono e água e uma assimilação do carbono metanogênico pelas substâncias orgânicas através da atividade de um grupo de microorganismos que podem ser encontrados em toda parte. Sendo este um processo conhecido há muitos anos especialmente em ecossistemas aquáticos e no solo.

A oxidação biológica de metano através de bactérias metanotróficas segue a seguinte fórmula estequiométrica:



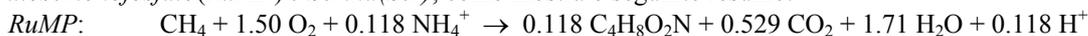
A oxidação microbiológica de metano oferece vantagens nos ramos dos conceitos da gestão de resíduos, principalmente em lugares onde uma ativa coleta e tratamento de gás não é aplicável por motivos econômicos. É especialmente o caso, quando os gases do aterro são produzidos em quantidades muito pequenas ou quando o gás apresenta uma qualidade muito baixa. Isto pode ter por causa os seguintes fatos:

- Aterros do tipo MBA – tratamento mecânico-biológico de resíduos (na Alemanha a partir de 2005);
- Aterros antigos;
- Aterros pequenos e/ou mal impermeabilizados (típicos em muitos países latino-americanos).

Além disso, as camadas de metano-oxidação oferecem uma aplicação em países emergentes e em desenvolvimento, onde os recursos financeiros para a instalação de sistemas de captação de gás são muito pequenos.

Com a ajuda de instalação técnica de uma camada de revestimento do aterro e através de uma seleção controlada dos substratos desejados, os parâmetros ambientais para os microorganismos metanotróficos, e com isso, a oxidação ótima de metano pode ser alcançada. Para os efeitos de diferentes parâmetros ambientais sobre a eficiência da oxidação existem uma grande quantidade de pesquisas internacionais (por exemplo: Boeckx et al. 1996; Bronson et al. 1993). Nestes diferentes projetos de pesquisa foram identificados uma série de parâmetros de relevância (ver Tabela 2).

O crescimento de bactérias metanotróficas é limitado pela disponibilidade de carbono (C), nitrogênio(N), fósforo(P) e enxofre(S) em alguns casos raros. Além disto existe uma dependência clara da oxidação de metano quanto à relação C/N. Boeckx e Van Cleemput (1996) descobriram que para altas relações C/N a oxidação de metano não é sujeita a restrições significativas. Bactérias metanotróficas absorvem nitrogênio em forma de nitrato ou amônia. Respectivamente são assimilados 1 Mol de nitrogênio paralelamente a 4 Mol de carbono. A equação estequiométrica para a assimilação de oxigênio e nitrogênio tem como base as vias *Ribulosemonofosfato(RuMP)* e *Serina(Ser)*, como mostra o seguinte resumo:



Algumas ligações persistentes de nitrogênio como cloreto de amônio ou nitrito, inibem fortemente a oxidação de metano. Amônia atua como inibidor mais “competitivo” sobre a metano-oxigenase (MMO) A inibição da oxidação de metano baseia-se não somente na concorrência de substrato já descrita mas também no efeito tóxico. BOECKX (1996) também descobriu que a taxa de nitrificação tem uma influência maior do que o teor de umidade. Desta maneira, as camadas de oxidação de metano feitas de composto e de resíduos provenientes de tratamento mecânico-biológico devem conter altos teores de nitrogênio somente em ligações estáveis.

Ao lado da amônia, o teor de umidade também se apresenta como um parâmetro fundamental. Bender (1992) descreve, de maneira similar a Boeckx e Van Cleemput(1996), que a atividade do agente oxidante de metano diminui claramente para valores de teor de umidade abaixo de 15%. De acordo com Figueroa (1998) as maiores taxas de oxidação de metano são obtidas na faixa entre 40 e 80%. Segundo Mancinelli (1995) o potencial de umidade de uma camada porosa é melhor para a descrição da influência exercida sobre a oxidação de metano do que o teor de umidade. No caso das células bacterianas o potencial de umidade se encontra aproximadamente em equilíbrio com o teor de umidade do micro-ambiente celular. De acordo com Schinner e Sonnleitner (1996)

potenciais de umidade favoráveis para bactérias se encontram entre -0.1 und -1.0 bar. Um outro parâmetro que auxilia na descrição da necessidade de água para o agente oxidante é a atividade de água, que indica a porcentagem de água no gás contido nos poros.

Tabela 3: Parâmetros ambientais para microrganismos metanotróficos (HUMER, 1998)

Parameter/ environmental conditions	optimal	tolerable	Notes
Temperature	25°C – 35°C	10°C – 40°C	Exothermal process of oxidation
pH-value	5 – 8,5 5,8 – 7,5 for growth	4 -9	very tolerant
water content	40%-80% of max. water-holding capacity	< 80% of max. water-holding capacity	Upper limit is defined by interaction of air- and water-filled pore volume
Methan	100 – 10.000 ppm; population is growing with raising supply	> 2 ppm	reacting flexibel on varying methan supply
Oxygen	stoichiometrical ratio CH ₄ : O ₂ = 1 : 2		organisms existing from approx. 2% O ₂ in subsurface air
soil, filter material, cover system	high pore volume and water-holding capacity, good supply of nutrients		as possible: high pore volume in high water content
Inhibitors: ammonium nitrite copper salts	< 350 ppm DM (Dry Matter) under detection limit < 720 ppm < 2%		
Nutrients	sufficient nutrient supply, TOC > 8% DM		high ratio especially of nitrogen and phosphor

Com relação à influência da temperatura, estudos de campo mostram com ajuda de técnica de isótopos [Chanton und Liptay, 2000], que aumentos de temperatura na faixa de 5 °C e 35 °C causam um claro aumento na taxa de oxidação de metano. É discutível como o aumento da temperatura influencia efetivamente o processo. Boeckx et al. (1996) descrevem que pesquisas de laboratório mostraram apenas pouca influência sobre a taxa de oxidação de metano. A sensibilidade térmica provavelmente é superada através de outras condições do ambiente na camada de oxidação, como por exemplo, através do teor de umidade. Através do aumento do teor de umidade o transporte dos gases nos poros é afetado e assim a entrada de metano e de oxigênio são limitadas. Então a temperatura ótima é estabelecida, sob a influência de um aumento do teor de umidade, através de uma relação entre atividade bacteriana e a entrada de metano e oxigênio através de difusão.

No caso de pequenas concentrações de metano, a oxidação de metano pode ser comparada como sendo uma reação de primeira ordem, sendo influenciada pela taxa de reação e concentração do substrato. Para altas concentrações de metano a oxidação corresponde a uma reação de ordem zero, como na cinética de saturação, de von Michaelis e Menton e também de Monod, são derivadas. Bogner et al. (1997) descrevem que existem basicamente dois grupos de bactérias metanotróficas. Um grupo de bactérias que suportam apenas uma quantidade muito pequena de metano (metano-limitadas) e se desenvolvem quando expostas ao O₂ em condições ambientais normais. O segundo grupo se desenvolve apenas na presença de altas concentrações de metano e sob condições limitadas de oxigênio. De acordo com Nach Ren et al. (1997) não ocorre nenhuma alteração significativa na faixa de 0.45 até 20% de oxigênio. Somente em porcentagens abaixo de 0.37 e acima de 63% ocorre uma redução clara no rendimento da oxidação de metano.

Os resultados de muitas pesquisas mostram que o potencial natural da metano-oxidação biológica pode ser claramente favorecido através da criação de condições ambientais propícias com uma respectiva instalação de uma camada de cobertura no aterro (sistema de oxidação de metano).

Em pesquisas atuais compostos com estruturas grosseiras se mostraram particularmente adequados como substrato para o crescimento de bactérias. Em condições de laboratório, experimentos de Humer & Lechner (1997, 2001a) foram capazes de degradar aproximadamente 10 – 13 l CH₄ / m² h. Também quantidades extremas de 25 l CH₄ / m² h puderam ser transformadas com mais dias de duração no tempo de adaptação. Isto significa uma produção superficial de 1 m³ de gás de aterro por m² por dia (teor de metano 60 %), o que equivale a produção de gás de um aterro médio de resíduos domésticos.

Compostos amplamente maturados e estabilizados oferecem para os microorganismos degradadores de metano condições ideais de desenvolvimento. Como padrão de estabilidade pode ser usado o parâmetro de atividade respiratória. Um valor de AT₄ (atividade respiratória após 4 dias) de < 5 mg O₂ / g DM é considerado o valor adequado.

Em alguns experimentos em escala piloto foi investigado a aplicabilidade de resíduos de MBA para a construção de uma camada de oxidação de metano (Bahr, 2003).

Os resíduos investigados, tratados através de técnicas aeróbicas de tratamento mecânico-biológico, correspondem amplamente ao composto de lixo pesquisados em outros projetos. Materiais degradados diferentes e diferentes técnicas de tratamento proporcionam naturalmente compostos com diferentes características de qualidade. Uma adaptação do processo de decomposição para alcançar uma qualidade de Output desejada para as tecnologias de decomposição mostra-se possível.

A alta porcentagem de poros de gás em materias provenientes de tratamento de MBA, provocam devido a baixa condutividade de calor e após formação de uma camada superficial hidrofóbica após períodos secos, um efeito isolante favorável contra a influência da temperatura externa e a desidratação. Isto favorece a manutenção de um ambiente estável e favorável para o Biocenose de oxidantes de metano.

4.3.2 Construção da Camada de Oxidação de Metano

Juntamente com a seleção de um substrato adequado, mostra-se decisiva a escolha da espessura da camada de oxidação e do suprimento homogêneo de gás. A redução principal de metano em um perfil de solo concentra-se na maioria dos casos na região entre 10 e 30 cm de espessura, conhecida como horizonte de oxidação de metano. Neste horizonte devem dominar um ambiente com condições adequadas, de maneira que os organismos metanotróficos possam se desenvolver fortemente.

Principalmente em climas de temperatura variável evidenciou-se como adequada, isto após algumas investigações, uma altura inicial mínima de 120 cm. A instalação de uma camada de distribuição de gás na base da camada de oxidação mostra-se necessária para um amplo fluxo homogêneo de gás de aterro na camada de oxidação de metano. A entrada limitada de material fino da camada de oxidação na camada de distribuição de gases não apresenta nenhum impedimento de funcionalidade para as duas camadas (Humer & Lechner, 2001b). A camada de distribuição de gases deve apresentar uma espessura de aproximadamente 50 cm e ser composta por cascalho pobre em carbonato. A figura 4 mostra a estrutura recomendada para um sistema de oxidação de metano.

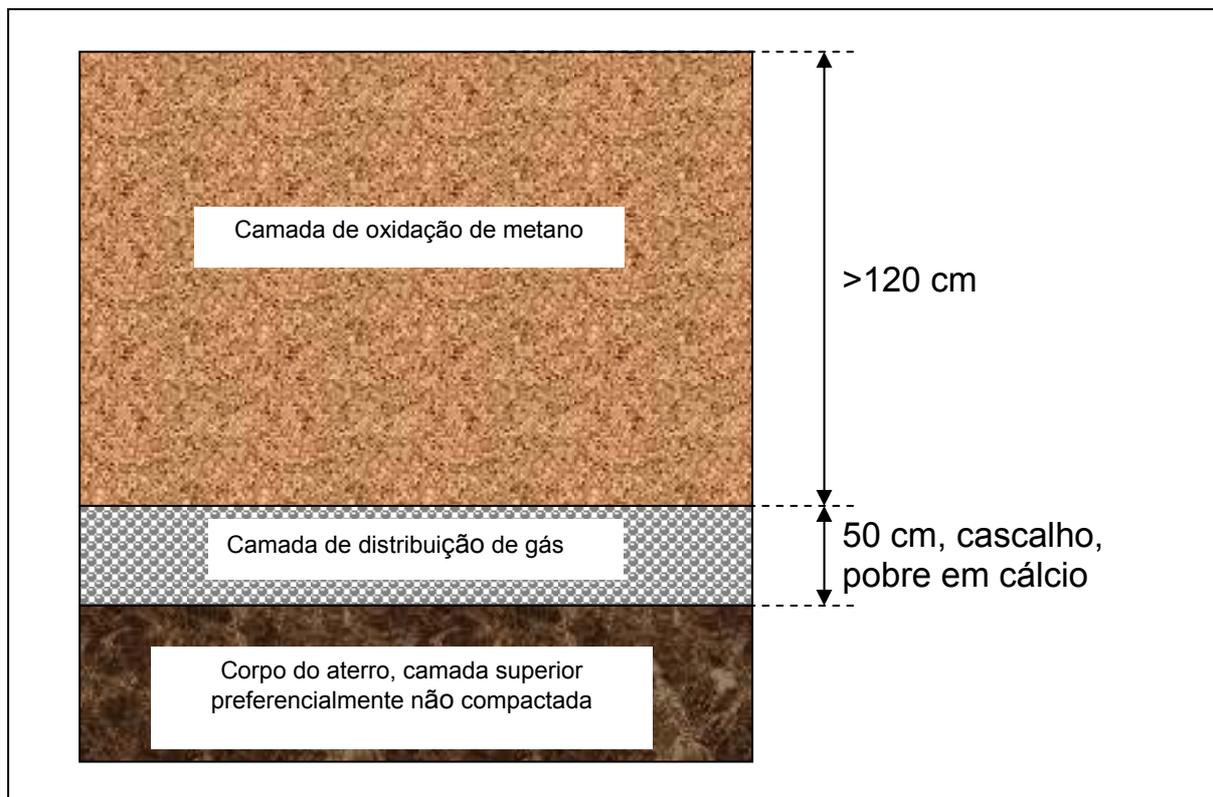


Figura 2: Estrutura recomendada para um sistema de oxidação de metano

4.3.3 Taxas de Oxidação de Metano

Em equipamento piloto experimental para simulação da oxidação do gás metano especialmente em condições úmidas e quente, foi possível, com o sistema de oxidação de metano descrito na figura 4, obter taxas de oxidação de metano de $22 \text{ mol/m}^2 \text{ d}$. O que corresponde a um volume de metano oxidado de $21 \text{ l/m}^2 \text{ h}$. Após fase de adaptação de alguns dias foi possível obter taxas constantes de oxidação de metano de $21 \text{ mol/m}^2 \text{ d}$ ($19,6 \text{ l/m}^2 \text{ d}$). Relacionando ao volume da camada de oxidação de metano apresenta-se com isto uma redução de metano de $16,9 - 17,7 \text{ l/m}^3 \text{ h}$.

Para avaliação das influências climáticas foram conduzidas simulações com diferentes intensidades de eventos de precipitação. Os resultados para eventos representativos de forte precipitação encontram-se resumidos na figura 5. Taxas de oxidação de metano estão apresentadas em $[\text{mol/m}^2 \text{ h}]$ e uma comparação entre as emissões de metano média e esperada de um aterro de resíduo urbano ($340 \text{ l/m}^2 \text{ d}$) com o tempo.

Primeiramente fica perceptível uma queda gradual das taxas de oxidação de metano. Até o momento da quarta medição (precipitação: $50,2 \text{ mm/m}^2$) é assumido um volume suficiente de ar nos poros. Nas medições seguintes, ocorre uma queda considerável das taxas de oxidação. Após uma interrupção de algumas horas de precipitação, a taxa de oxidação de metano retornou ao nível medido antes da precipitação. Mais um evento de precipitação de alta intensidade porém de curta duração (21 mm/m^2) levou para um novo decréscimo imediato na taxa de oxidação de metano. Devido a precipitação anterior é considerada uma saturação imediata da capacidade de absorção de água.

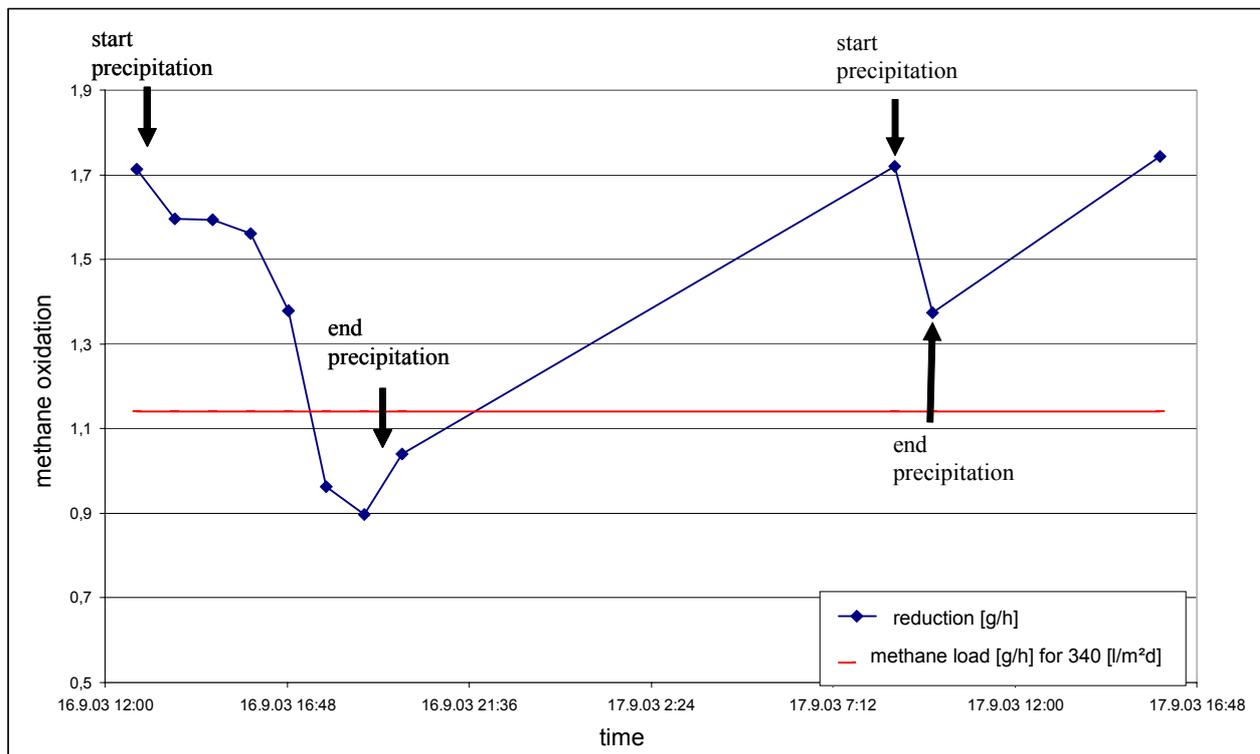


Figura 3: Taxa de oxidação de metano em [mol/m² h], à 27°C, durante e após um evento de precipitação de forte intensidade por 22 horas

A investigação de taxas de oxidação de metano para materiais de MBA após precipitações de diferentes intensidades e durações, indicam pouca influência para eventos com precipitação pequena (baixa intensidade e/ou curta duração) e uma influência significativa para casos de precipitações de alta intensidade. É de importância ressaltar a rápida capacidade de regeneração da camada de oxidação de metano e respectiva eficiência na oxidação de metano.

A falta de investigações in-situ dos materiais de MBA como camada de oxidação de metano impossibilitam ainda uma declaração final segura. Porém os resultados indicam uma adequação, entre boa e muito boa, dos materiais apropriados de MBA como camada de oxidação de metano em condições climáticas úmidas.

5 DIREITO DE EMISSÕES ATRAVÉS DE OXIDAÇÃO DO GÁS METANO - CÁLCULOS ADICIONAIS

Através da utilização de materiais apropriados de MBA mostra-se real a possibilidade de uma redução de 10-20 l CH₄/m² h.

Para construção de uma camada de 1 m² de oxidação de metano sobre um corpo antigo de aterro é necessário 1 tonelada de material estabilizado de MBA (OUTPUT), o que corresponde a cerca de 3 toneladas de resíduo sólido urbano. Tomando por exemplo uma emissão esperada de metano de 100 l/m² d para um aterro antigo, pode-se oxidar totalmente a quantidade de metano, através de uma camada de oxidação adequada com a taxa de oxidação citada. Isto corresponde a um volume de 36,5 m³/m² de gás metano oxidado, anualmente de 26,4 kg de metano ou 0,5 t eCO₂/m²*a. Um lucro de 5,54 US\$/m²*ano é esperado, ou seja 1,85 US\$ por tonelada de resíduo sólido urbano utilizado. Além disto, a camada de oxidação de metano funciona sem custos operacionais por muitos anos. Ao mesmo tempo, os resíduos de MBA, cuja possibilidades de venda de grande importância eram inexistentes, serão utilizados.

Segundo a concepção dos autores, as “camadas normais” sobre o aterro devem ser removidas para alcançar a eficiência de redução citada acima. Assim, será observado que apenas o chamado “suplemento” da redução de emissões será remunerado, comparado ao cenário de referência (no caso aqui as citadas “camadas normais” que refletem o mercado usual).

6 RESUMO E CONCLUSÃO

A cobertura de aterros com camadas de oxidação de metano com componentes do tratamento mecânico e biológico de resíduos apresenta-se como procedimento técnico adequado para redução duradora de emissões em corpos de aterros não (ou não mais) ativos.

Através do reconhecimento como projeto MDL do tratamento mecânico e biológico de resíduos sólidos e do procedimento de oxidação do gás metano em aterros, são gerados recursos financeiros para a operação de instalações de aproveitamento e de tratamento de resíduos sólidos.

Um novo caminho de aproveitamento é aberto com a utilização do produto da compostagem, não aplicáveis em regra para o uso agrícola e provenientes do tratamento mecânico-biológico de resíduos sólidos, como material filtro para oxidação de metano.

Não existe no momento nenhum processo válido para determinação da eficiência da camada de oxidação de metano, necessário para validação desta medida de minimização de emissões como procedimento MDL. O desenvolvimento deste processo é objeto atual de pesquisa na TU Braunschweig.

LITERATURA

Bahr, 2003

Bahr, T. (2003): Eignung von Deponie-Methanoxidationsschichten für den Einsatz in humiden Klimaten, Diplomarbeit, Leichtweiß Institut TU Braunschweig, unveröffentlicht

Bajic und Zeiss, 2001

Bajic, Z. ; Zeiss, C. (2001) : Methane Oxidation in alternative Landfill Cover Soils. Proceedings from the Solid Waste Association of North America's 24. Annual Landfill Gas Symposium, 2001, Dallas Texas

Bender, 1994

Bender, M. (1994): Mikrobieller Abbau von Methan und anderen Spurengasen in Böden und Sedimenten, Konstanzer Dissertationen, Bd. 414, Hartung-Gorre Verlag, Konstanz

Boeckx et al., 1996

BOECKX, P., VAN CLEEMPUT, O. (1996): Methane oxidation in neutral landfill cover soil – Influence of moisture content, temperature, and nitrogen turnover, J. Environ. Qual., 25,178-183.

Bogner et al., 1997

Bogner, J.E., Spokas, K.A., Burton, E.A. (1997): Kinetics of Methane Oxidation in a Landfill Cover Soil: Temporal Variations, a Whole-Landfill Oxidation Experiment, and Modeling of Net CH₄ Emissions, Environ. Sci. Technol., 31, 2504-2514.

Bronson et al., 1993

Bronson, K.F. ; Mosier, A.R. (1993) : Suppression of methan oxidation in aerobic soil by nitrogen fertilizers, nitrification inhibitors an urease inhibitors. Biological Fertil Soils 17, p.263-268

Chanton und Liptay, 2000

CHANTON, J., LIPTAY, K. (2000): Seasonal Variation in Methane Oxidation in a Landfill Cover Soil as Determined by an In Situ Stable Isotope Technique, Global Biogeochem. Cycles, 14, 51-60.

Figueroa, 1998

Figueroa, R.A. (1998): Gasemissionsverhalten abgedichteter Deponien, Economia Verlag, Bonn

Fricke et al., 2001

Fricke, K.; Santen, H.; Bidlingmaier, W. (2001): Biotechnological processes for solving waste management problems in economically less developed countries; 8th Intern. Landfill-Symposium Calary SICA; Grafiche Galeati, Imola, Italy

Fricke et al., 2002

Fricke, K; Müller, K.; Wallmann, R.; Santen, H.; Ziehmann, G. (2002): Stabilitätskriterien für biologisch behandelten Restmüll, Konsequenzen für den Bau und Betrieb von MBA-Anlagen und Deponien, Müll-Handbuch, Kennziffer 5616, Erich-Schmidt-Verlag, Berlin

Fricke et al., 2004

Fricke, K.; Hüttner, A.; Bidlingmaier, W. (2004): Vergärung von Bio- und Restabfällen, Anaerobtechnik, Springer Verlag, Hamburg

Fricke et al., 2005

Fricke, K., Santen, H.; Wallmann, R. (2005): Comparison of Selected Aerobic and Anaerobic Procedures for MSW Treatment, in: Waste Management - International Journal of Integrated waste Management, Science and Technology, Elsevier, USA

- Höper, 1998
 Höper H. (1998): Klimaveränderungen durch Landnutzungsänderungen. In: Lozán J. L., Graßl H., Hupfer P. (Hrsg.): Warnsignal Klima – Wissenschaftliche Fakten. Wissenschaftliche Auswertungen Hamburg
- Huber-Humer, 2004
 HUBER-HUMER, M. (2004): Abatement of landfill methane emissions by microbial oxidation in biocovers made of compost, Doctoral Thesis, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna.
- Humer, 1998
 Humer, M. (1998): Kompost als emissionsmindernde Maßnahme bei der Deponieabdeckung, Tagungsband der 2. Fachtagung Kompostgütesicherung in Österreich 1998, Kopostgüteverband Österreich, Wien
- Humer & Lechner, 1997
 Humer, M.; Lechner, P. (1997): Grundlagen der Biologischen Methanoxidation – Perspektiven für die Entsorgung von Deponiegas, Waste Reports 05/August 1997, Abteilung Abfallwirtschaft / IWAG, Universität für Bodenkultur, Wien
- Humer & Lechner, 2001a
 Humer, M.; Lechner, P. (2001a): Compost covers as a measure for minimisation of methane emissions and leachate from landfills, in Proceeding of the International Conference ORBIT 2001 on Biological proceedings of waste, Rhombos Verlag, Berlin
- Humer & Lechner, 2001b
 Humer, M.; Lechner, P. (2001b): Technischer Aufbau eines Methanoxidationssystems für Deponien, KA – Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Nr. 4, 48. Jahrgang, S.501-513
- IPCC, 1996
 IPCC (1996): Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 3, Greenhouse Gas Inventory Reference Manual
- Kightley & Nedwell, 1994
 Kightley, D.; Nedwell, D.B. (1994): Optimising Methane Oxidation in Landfill Cover Soils, The Technical Aspects of Controlled Waste Management, Department of the Environmental, Report No. CWM 114/94 L
- Müller et al., 1998
 Müller, W., K. Fricke, H. Vogtmann, (1998): Biodegradation of organic matter during Mechanical biological treatment of MSW prior land filling. In: Compost Science & Utilization, Volumen 6, 3
- Pfaff-Simoneit, W. 2006
 Pfaff-Simoneit, W. (2006): Emissionshandel und Deponiegasemissionen – Chance für eine nachhaltige Abfallwirtschaft in Entwicklungs- und Schwellenländern? In Müll und Abfall 3, Erich Schmid Verlag Berlin
- Ren et al. (1997)
 REN, T., AMARAL, J.A., KNOWLES, R. (1997): The response of methane consumption by pure cultures of methanotrophic bacteria to oxygen, Can. J. Microbiol., 43, 925-928.
- Rettenberg, 1996
 Rettenberg, G. (1996) : Abschätzung von Deponiegasemissionen über den Gaspfad, Beiträge zur Abfallwirtschaft, Band 4, Eigenverlag der Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Abfallwirtschaft und Altlasten e.V., Dresden
- UNFCCC, 2005
 UNFCCC (2005): Revision to the approved baseline methodology AM0025 “Avoided emissions from organic waste through composting”, MDL-Executive Board, UNFCCC/CCNUCC