

II-165 – PRODUÇÃO DE COMPOSTOS MICROBIANOS SOLÚVEIS (SMPs) EM REATORES AERÓBIO E ANAERÓBIO DE MISTURA COMPLETA

Patrícia da Luz Mesquita

Engenheira Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Sérgio Francisco de Aquino⁽¹⁾

Professor Adjunto do Departamento de Química da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Amália Luísa Pedrosa Xavier

Estudante de graduação em Química Industrial e bolsista de Iniciação Científica da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Robson José de Cássia Franco Afonso

Professor Adjunto do Departamento de Química da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Endereço⁽¹⁾: Rua Dois, 64 apto 301, Bairro Lagoa, Ouro Preto - MG – CEP:35.400-000 – Brasil - Tel: +55 (31) 3559-1837 - Fax +55 (31) 3559-1636 - e-mail: sergio@iceb.ufop.br

RESUMO

Este trabalho investigou a produção de produtos microbianos solúveis (SMPs – *Soluble Microbial Products*) presentes na fração centrifugada de efluentes de reatores aeróbio e anaeróbio de mistura completa operados em escala de bancada. Os reatores foram alimentados com glicose e acetato e em diferentes condições de operação, permitindo avaliar a influência do tempo de detenção hidráulica, temperatura, tipo de substrato e tipo de tratamento na produção de SMPs. Os resultados mostraram que a produção de SMPs no reator aeróbio foi superior à do anaeróbio (2 a 68% e 9 a 27% da DQO afluente, respectivamente) e aumentou com a diminuição da temperatura e redução do tempo de detenção hidráulica no reator aeróbio. No reator anaeróbio, a carga orgânica aplicada não interferiu na produção de SMPs, contrariamente ao observado no reator aeróbio. A utilização de acetato contribuiu para uma maior produção de SMPs em ambos os reatores e a maior parte da DQO residual não parece ter sido proveniente de proteínas e carboidratos.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento biológico, reatores aeróbio e anaeróbio, SMPs, DQO residual, AGVs.

INTRODUÇÃO

Embora haja uma ampla variedade de processos disponíveis para o tratamento de águas residuárias, o emprego de sistemas biológicos para o tratamento de esgotos sanitários já é consolidado no Brasil. Durante o tratamento biológico, seja ele aeróbio ou anaeróbio, microrganismos utilizam a matéria orgânica presente na água residuária como fonte de carbono e energia. Sendo assim, o crescimento de microrganismos nos reatores biológicos é acompanhado pela redução na quantidade de matéria orgânica, geralmente expressa como demanda química de oxigênio (DQO), afluente ao reator. Com base na premissa de que o aumento da massa microbiana nos reatores biológicos causava aumento na degradação da matéria orgânica afluente, acreditava-se que o aumento do tempo de retenção dos microrganismos (TDC – tempo de detenção celular ou idade do lodo) e/ou do tempo de detenção hidráulica (TDH) no reator biológico resultaria em maiores eficiências de remoção e consequentemente redução da DQO efluente. Entretanto, estudos feitos por Chudoba e seu grupo, ainda na década de 60 (Chudoba, 1967; Chudoba et al., 1968; Chudoba et al., 1968 *apud* Aquino, 2004), mostraram que o aumento exagerado da idade do lodo em sistemas de lodos ativados, ao invés de resultar em aumento da eficiência de remoção, causou um aumento na DQO efluente dissolvida.

Pode-se dizer que os resultados controversos de Chudoba lançaram as bases para a teoria dos produtos microbianos solúveis (SMPs). Tal teoria surgiu da constatação de que a interação dos microrganismos com o meio de cultivo resulta na liberação de compostos orgânicos que causam DQO, tanto na forma solúvel quanto particulada. Sendo assim, a DQO efluente de reatores biológicos é compreendida não apenas por compostos afluentes que não foram degradados, mas também por compostos produzidos pelos microrganismos durante o tratamento. De fato, estudos sobre a caracterização da DQO residual em sistemas de tratamento biológico, feitos por diferentes grupos de pesquisa, demonstraram que a maioria dos compostos dissolvidos efluentes de sistemas aeróbios e anaeróbios não estava presente no afluente, mas foram produzidos durante o tratamento



(Grady Jr e Williams 1975; Siber e Eckenfelder 1980; Parkin e McCarty 1981; Namkung e Rittmann 1986; Barker et al. 1999, *apud* Aquino 2004; Barker e Stuckey 1999; Noguera et al. 1994). Tais compostos oriundos do decaimento endógeno, do metabolismo do substrato e/ou deliberadamente excretados para desempenhar alguma função microbiana, são agrupados no *pool* comumente denominado de SMPs que, segundo Jarusutthirak e Amy (2007), constituem a maioria da matéria orgânica solúvel em efluentes biológicos.

Para a maioria dos sistemas de tratamento bem operados, os fatores que afetarem a produção de SMPs serão os fatores que também afetarão a concentração da DQO residual (Barker e Stuckey, 2001). Em outras palavras, foi mostrado que em sistemas alimentados com afluente biodegradável, em que não há acúmulo de intermediários, tais como os ácidos graxos voláteis (AGVs) formados durante a digestão anaeróbia, a DQO residual efluente será determinada pela produção dos SMPs (Noguera et al. 1994; Aquino e Stuckey 2004). Desta forma, alguns pesquisadores acreditam que a minimização da DQO residual de sistemas biológicos operados na ausência de estresse e alimentados com esgoto tipicamente biodegradável pode estar diretamente relacionada à minimização da produção de SMPs (Barker e Stuckey 1999; Barker e Stuckey 2001).

Além do impacto na qualidade dos efluentes biológicos, a produção de SMPs também é um aspecto importante nos reatores biológicos acoplados a membranas. Vários pesquisadores têm demonstrado que a colmatagem interna de membranas tem sido atribuída em grande parte a tais compostos microbianos (Drews et al., 2007; Fonseca et al., 2007). De fato, os SMPs já têm sido incorporados à modelagem de reatores biológicos (com ou sem membranas, aeróbios e anaeróbios) (Aquino e Stuckey, 2008; Oliveira-Esquerre et al., 2006; Rittmann e McCarty, 2001). Tais produtos foram incluídos na descrição do processo de biotransformação por constituírem a maioria da matéria orgânica no efluente, pelo papel que desempenham no fornecimento de substrato orgânico aos heterótrofos e pela crítica influência que exercem na taxa de fluxo da filtração das membranas (Oliveira-Esquerre et al., 2006). Entretanto, é difícil determinar estas interferências indesejáveis, devido à complexidade química, ao potencial de biodegradação e da carência de informações quanto à natureza dos SMPs.

Há vários fatores envolvidos na geração de produtos microbianos. Alguns deles foram observados trabalhando-se com culturas puras, enquanto outros foram demonstrados em sistemas de tratamento aeróbios e anaeróbios. Diferentes estudos mostraram que alguns SMPs desempenham uma função metabólica, seja pela propriedade quelante que pode ajudar na assimilação de metais nutrientes ou proteção contra toxicidade (Kuo e Parkin, 1996; Aquino, 2003; Aquino e Stuckey, 2004), seja para desempenhar outras funções, tais como para comunicação intercelular (*quorum sensing*). Os SMPs podem ser excretados como resultado de uma deficiência nutricional, como no caso de excreção de compostos orgânicos no meio como mecanismo de 'descarga' de elétrons que não puderam ser utilizados no crescimento celular (Rittmann e McCarty, 2001). Finalmente, os SMPs podem advir ainda da hidrólise de substâncias poliméricas extracelulares (EPS) ou do decaimento endógeno (lise celular).

Embora a comunidade científica internacional já tenha reconhecido a importância dos SMPs para a definição da DQO residual em sistemas de tratamento biológico, pouco se avançou no conhecimento da identidade química desses compostos e nos fatores que afetam sua produção em sistemas aeróbios e anaeróbios. Dessa forma, o objetivo principal deste artigo é apresentar os fatores operacionais e ambientais que afetam a produção de SMPs em reatores aeróbio e anaeróbio de mistura completa operados em escala de bancada.

MATERIAL E MÉTODOS

APARATO EXPERIMENTAL E FASES OPERACIONAIS

O trabalho foi desenvolvido utilizando-se reatores de mistura completa (volume útil de 6L) mantidos sob condições aeróbias e anaeróbias e alimentados com substrato biodegradável de fácil detecção (glicose ou acetato). Os reatores foram construídos em PVC e alimentados continuamente por meio de bombas peristálticas, mantidos sob constante agitação com o uso de placas de agitação magnética e à temperatura constante com o uso de um banho termostatizado. A operação dos reatores de bancada foi feita observando-se as fases descritas na Tabela 1.



Tabela 1: Fases operacionais dos reatores de bancada

Fases	Aeróbio			Anaeróbio			Temp(°C)
	TDH (d)	S ₀ (gDQO/L)	Tipo Substrato	TDH (d)	S ₀ (gDQO/L)	Tipo Substrato	
Fase I	4	5	Glicose	4	5	Glicose	25
Fase II	10	5	Glicose	10	5	Glicose	25
Fase III	16	5	Glicose	16	5	Glicose	25
Fase IV	10	5	Glicose	10	5	Glicose	15
Fase V	10	5	Acetato	10	5	Acetato	15
Fase VI	10	5	Acetato	10	5	Acetato	25

Os reatores foram inoculados e operados continuamente por um período mínimo de três vezes o tempo de detenção hidráulica, para garantir que a condição de equilíbrio dinâmico (*steady-state*) fosse atingida. Durante a condição de *steady-state*, amostras de efluente foram coletadas para análise de DQO, sólidos suspensos totais e voláteis e ácidos graxos voláteis (AGVs), de forma que a quantidade de SMPs produzida pudesse ser calculada para cada condição operacional. Também foram monitorados o pH, a temperatura e o oxigênio dissolvido (para o reator aeróbio). Todas as análises foram realizadas de acordo com o *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). As soluções nutricionais foram sempre autoclavadas antes de serem introduzidas nos reatores. O substrato era injetado na solução autoclavada após seu resfriamento usando filtros de 0,22 µm.

ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SMPs

Os ácidos graxos voláteis (AGVs) foram determinados para permitir o cálculo dos SMPs, conforme as equações 1 e 2. Tais intermediários da degradação anaeróbia (ácidos fórmico, acético, propiônico, butírico, isobutírico, valérico e isovalérico) foram separados, identificados e quantificados por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), com base na metodologia descrita em Aquino e Stuckey (2004).

$$DQO_{AGV} = 0,35 \times (\text{formiato}) + 1,07 \times (\text{acetato}) + 1,51 \times (\text{propionato}) + 1,82 \times (\text{butirato} + \text{isobutirato}) + 2,04 \times (\text{valerato} + \text{isovalerato}) \quad \text{equação (1)}$$

$$DQO_{SMP} = [DQO_{Cent}] - [DQO_{AGV} + DQO_{SubRes}] \quad \text{equação (2)}$$

onde, DQO_{AGV} = DQO devido aos ácidos graxos voláteis; DQO_{SMP} = DQO devido aos compostos microbianos solúveis; DQO_{SubRes} = DQO do substrato (glicose ou acetato) não degradado; e DQO_{Cent} = DQO centrifugada efluente.

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SMPs

O teor de proteínas foi medido usando o método Lowry modificado descrito em Pontes (2003) e o método utilizado para a determinação de carboidratos foi o método do fenol e ácido sulfúrico, baseado na metodologia descrita por Dubois et al. (1956) apud Blundi e Gadêlha (2001). O procedimento para a extração de substâncias poliméricas extracelulares (EPS) foi embasado no estudo de Frolund et al. (1996) e a lise celular foi realizada com base em Guerlavy et al. (1998).

Para avaliação e comparação da característica química entre as amostras de efluentes, afluentes, lisados e polímeros extracelulares, foi utilizada a técnica de espectrometria de massas. Todas as amostras foram previamente liofilizadas para sua concentração e solução aquosa de metanol a 30% v/v foi empregada como

solvente para ressuspensão das amostras secas. Os liofilizados foram analisados no modo de íons negativo e positivo, varrendo as massas molares de 100 a 4.000Da no equipamento LC-IT-TOF-MS da Shimadzu.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

TIPO DE TRATAMENTO: AERÓBIO X ANAERÓBIO

No reator anaeróbio, grande parte da DQO residual é constituída por AGVs, conforme pode ser observado nas Figuras 1 e 2. Observou-se que as situações de estresse das fases I, IV e V (baixo TDH e/ou baixa temperatura) contribuíram substancialmente para que a maior parte da DQO residual se devesse aos AGVs, provavelmente devido ao não atendimento de condições cinéticas e termodinâmicas ótimas (Aquino e Chernicharo, 2005). Com o baixo TDH, ocorre maior *washout* de microrganismos de lento crescimento e em baixas temperaturas, os microrganismos de lento crescimento não conseguem acompanhar o passo dos organismos fermentativos.

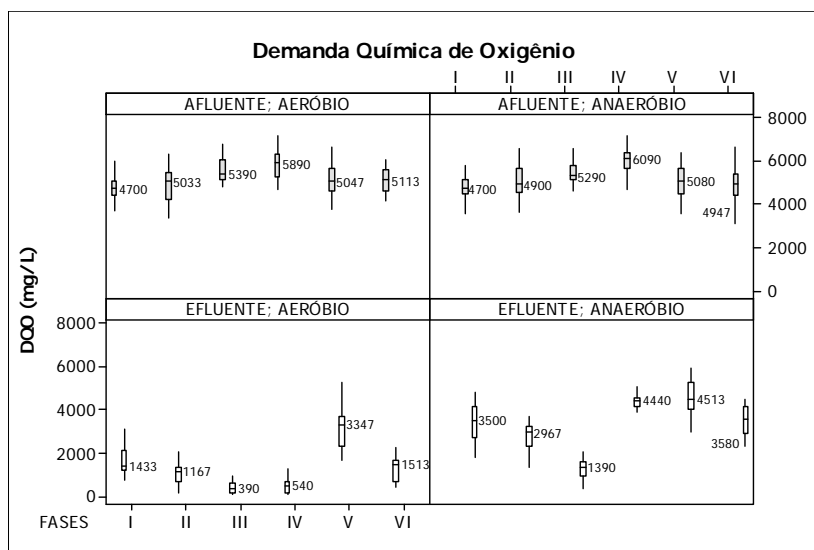


Figura 1: Variação da DQO no afluente e efluente dos reatores aeróbio e anaeróbio ao longo das fases operacionais estudadas (valores expressos como mediana)

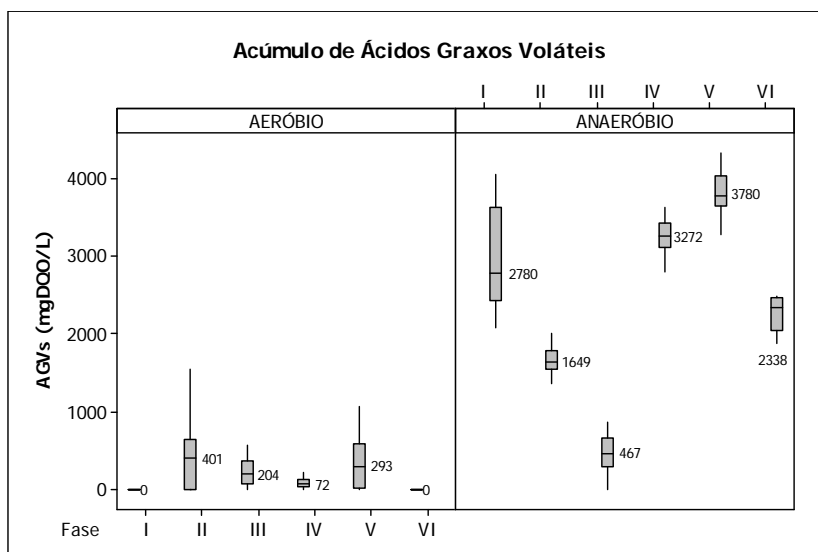


Figura 2: Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) nos reatores aeróbio e anaeróbio nas diferentes fases operacionais (valores expressos em medianas)



O monitoramento feito mostrou que a produção de SMPs no reator aeróbio foi superior à do anaeróbio, conforme previsto, pelo fato de que, no reator anaeróbio, os elétrons do doador (substrato) são canalizados tanto para a produção de SMPs quanto para a de AGVs. Além disto, microrganismos aeróbios crescem mais rapidamente e degradam substrato em velocidade maior.

A Figura 3 exibe a produção normalizada de SMPs em função da DQO afluente (SMP/So) e da biomassa presente no sistema (SMP.Q/SSV.V). Comportamentos distintos foram apresentados pelos dois reatores: enquanto os resultados do tratamento aeróbio divergem substancialmente entre as fases operacionais, variando de 2 a 68% da matéria orgânica afluente, em termos de mediana, o tratamento anaeróbio pareceu seguir uma tendência similar entre as fases, exceto para a fase I, de menor TDH (em que apenas 9% da matéria orgânica afluente foi convertida a SMPs). De modo geral, a produção normalizada de SMPs foi menor para o reator anaeróbio (de 9 a 27%), o que confirma dados observados por outros pesquisadores (Barker e Stuckey, 2001, Kuo e Parkin, 1996). Portanto, os resultados confirmam que, em condições de estresse em reatores anaeróbios, a produção de SMPs é minimizada em função do acúmulo de produtos intermediários (AGVs) não incluídos na classe dos produtos microbianos solúveis. Já para o reator aeróbio, condições adversas podem colaborar para o acúmulo de SMPs no meio, e a população microbiana poderia responder às condições adversas alterando seu metabolismo e excretando compostos no meio, ou ainda liberando produtos de lise celular.

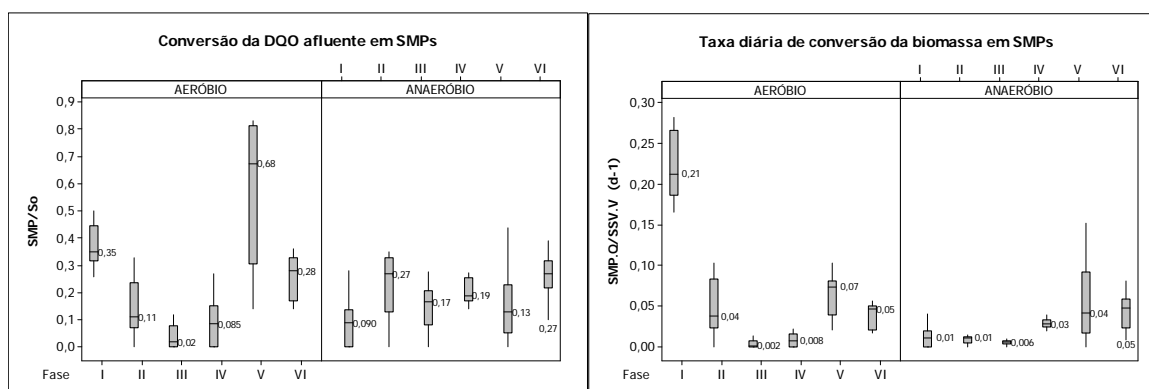


Figura 3: Produção normalizada de SMPs com relação à DQO afluente (SMP/So) e à biomassa (SMP.Q/SSV.V) nos reatores aeróbio e anaeróbio de mistura completa para cada fase operacional (valores expressos em medianas).

CONDIÇÕES OPERACIONAIS

Avaliando-se as condições operacionais (Figura 4), a temperatura interfere de forma inversamente proporcional na produção de SMPs, especialmente no reator aeróbio. Condições adversas de baixa temperatura contribuem para a elevação da produção de SMPs e para o acúmulo de SMPs mais recalcitrantes. A Figura 4 mostra que, a 15°C, cerca de 33,8% da DQO afluente foi convertida a SMPs, enquanto que 18,7% foi a proporção obtida a 25°C. Para o reator anaeróbio, essa tendência não é verificada, uma vez que a conversão da DQO afluente a SMPs ficou praticamente constante com a mudança de temperatura (18,1% para temperatura de 15°C e 18,3% a 25°C). No tratamento aeróbio, o aumento do TDH leva a uma diminuição sistemática na produção/acúmulo de SMPs, para a faixa estudada de 4 a 16 dias. De fato, tempos de detenção muito baixos impõem uma carga orgânica aplicada mais elevada, o que poderia desencadear um excesso de atividade metabólica e excreção de SMPs relacionados ao consumo do substrato. Para o reator anaeróbio, a mesma tendência é observada, exceto para o menor TDH (4 dias). Isto pode ser explicado pela elevada produção de AGVs diante da situação de estresse imposta nesta condição, confirmada pelo monitoramento do pH. Tais resultados sugerem que os SMPs produzidos no reator aeróbio foram mais associados à degradação do substrato (UAPs – *utilization associated products*) do que à lise celular (BAPs – *biomass associated products*), conforme discutido por Aquino e Stuckey (2004). No reator anaeróbio, entretanto, o inverso foi observado. Em relação ao substrato empregado, quando a glicose foi utilizada, a produção de SMPs diminuiu, comparativamente ao emprego do acetato. Isto pode sugerir que o acetato utilizado como substrato, por prover menos energia para a população microbiana que a molécula de glicose, possa ocasionar uma maior produção normalizada de SMPs (por exemplo, provenientes de lise celular). Isto justificaria, inclusive, a interferência do substrato bem mais pronunciada no reator aeróbio que, mediante condições adversas, praticamente não produz AGVs.

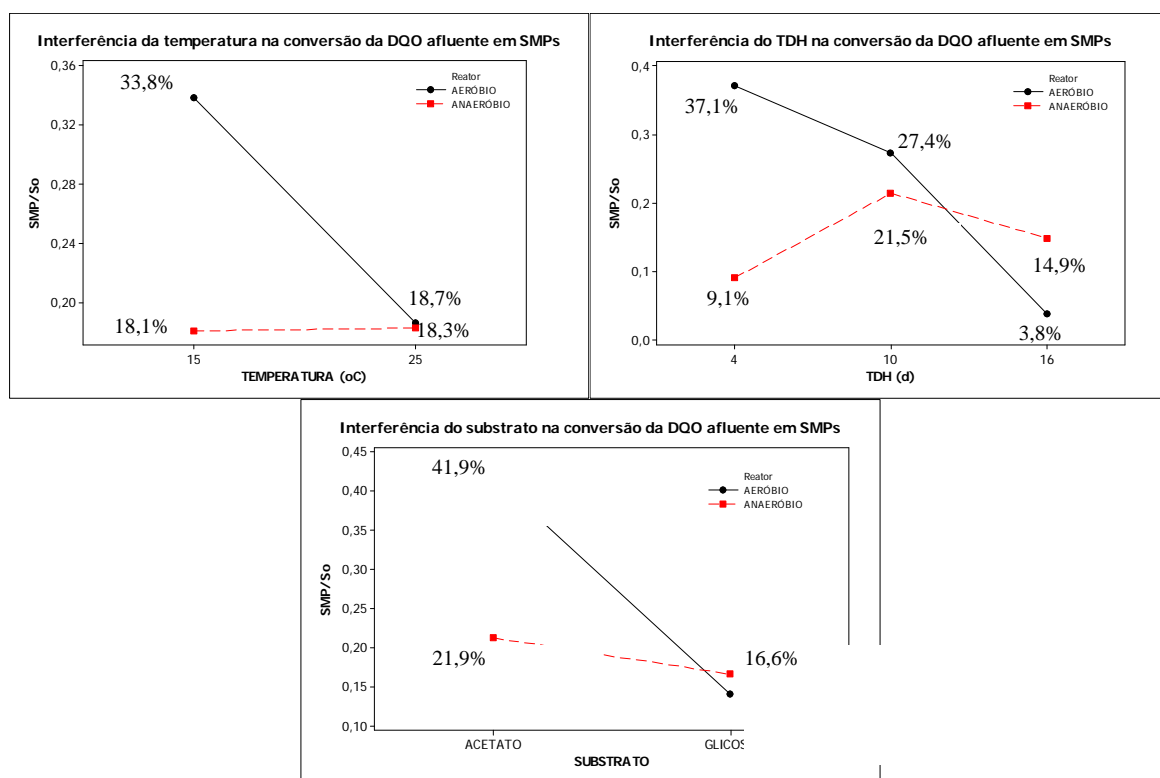


Figura 4: Influência da temperatura, do tempo de detenção hidráulica (TDH) e do tipo de substrato na produção normalizada de SMPs em relação à DQO afluente (SMP/So) nos reatores aeróbio e anaeróbio de mistura completa.

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Os resultados obtidos indicaram baixo conteúdo protéico e de carboidratos nas amostras de efluentes, permanecendo a maior parte da DQO residual em todas as fases operacionais não identificada. Esta avaliação é válida exceto para a fase II no reator aeróbio, em que se verificou que o conteúdo protéico representou 63% da DQO residual. Nas demais fases, ainda no reator aeróbio, a DQO relacionada ao teor de proteínas representou de 5 a 34% da DQO residual e o teor de carboidratos (também em termos de DQO) não ultrapassou 16%. Já para o reator anaeróbio, o teor de proteínas em termos de DQO atingiu seu máximo na fase I, de TDH igual a 4 dias, representando 17% da DQO residual. Para avaliação do teor de carboidratos, nenhuma amostra analisada advinda deste reator apresentou contribuição de carboidratos para a DQO residual.

Nas amostras de produtos de lise e EPS, praticamente todo o seu conteúdo pode ser caracterizado como protéico. A concentração de carboidratos é nula em praticamente todas as amostras, aparecendo apenas nas amostras de EPS provenientes do lodo aeróbio na fase IV e do lodo anaeróbio na fase VI, nas baixas concentrações de 18 e 29 mgDQO/L, respectivamente. Os valores baixos das concentrações de carboidratos obtidos nas amostras de EPS estão de acordo com a literatura especializada. Her et al.(2003), utilizando a técnica de fluorescência por matriz excitação-emissão (EEM), afirmaram que, “comparativamente a proteínas e substâncias húmicas, a intensidade do espectro de carboidratos poderia ser desprezada”. Portanto, os principais sinais de fluorescência para EPS seriam os correspondentes a proteínas e substâncias húmicas (Sheng, 2006).

A Figura 5 apresenta os gráficos de efeitos principais e de interação entre fases, amostras e reator para a avaliação da DQO proveniente de proteínas e carboidratos. Observa-se que nenhuma amostra de produtos de lise celular apresentou carboidratos. De modo geral, o conteúdo de carboidratos nas amostras de efluentes foi maior que em amostras de EPS, destaque dado às fases I e II, para o reator aeróbio. Isto pode indicar que, nas amostras de efluentes em que apareceram carboidratos, estes não eram exclusivamente advindos de polímeros extracelulares. Como em amostras de lise verificou-se sua completa ausência, parte destes carboidratos



presentes no efluente poderiam ser talvez advindos de SMPs-UAP. Isso é coerente com os relatos da literatura de que BAPs seriam de difícil degradação e de maior peso molecular, ao passo que UAPs são de mais fácil degradação e de baixo peso molecular.

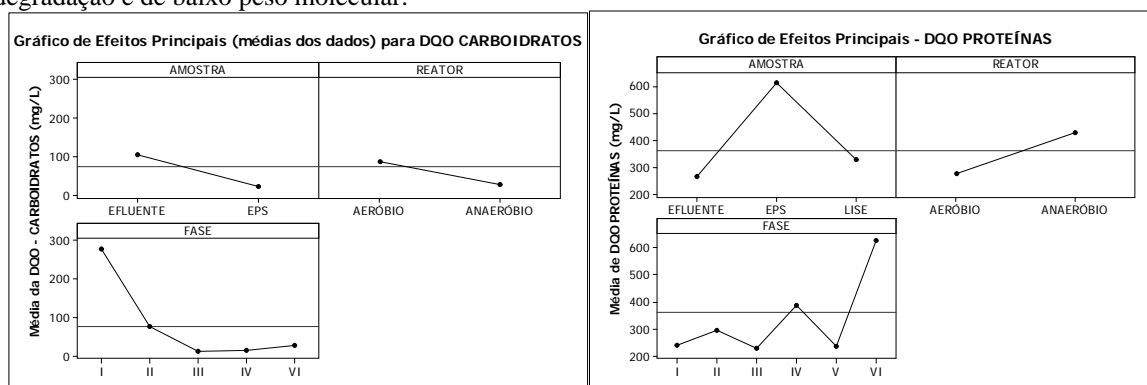


Figura 5: Gráficos de efeitos principais para proteínas e carboidratos (expressos como DQO) nas amostras de efluentes, EPS e lise dos reatores aeróbio e anaeróbio de mistura completa.

De modo geral, as amostras provenientes do reator anaeróbio apresentaram maior concentração de proteínas. Os resultados indicam que o maior conteúdo protéico é observado nas amostras de EPS. Contudo, este teor aumentou consideravelmente na fase VI, empregando-se acetato como substrato a 25°C, especialmente no reator aeróbio. Com base nos resultados, pode-se levantar a hipótese de que, nesta fase, teria ocorrido a liberação de polímeros extracelulares no meio e seu conteúdo protéico solubilizado no efluente teria contribuído consideravelmente para o aumento observado na concentração de SMPs. Em outras palavras, parte do conteúdo de SMPs na fase VI para o reator aeróbio seria constituída de proteínas provenientes de polímeros extracelulares.

Diante da observação de que, em todos os efluentes aeróbios e anaeróbios, há uma considerável fração da DQO que não parece ser proteína e carboidratos (36% a 95% para o reator aeróbio e 87% a 100% para o reator anaeróbio), permanecendo não-identificada, optou-se pela utilização da técnica de espectrometria de massas na tentativa de obter maiores informações acerca da natureza de tais compostos. A ocorrência predominante de SMPs de baixas massas molares (<1.000 Da) foi verificada na análise de espectrometria de massas, indicando produtos associados à utilização do substrato (SMPs-UAP) ou provenientes da degradação e/ou hidrólise de SMPs de alta massa molar (SMPs-BAP). A Figura 6 mostra o perfil obtido por análise de componentes principais com os resultados dos espectros de massas por amostras.

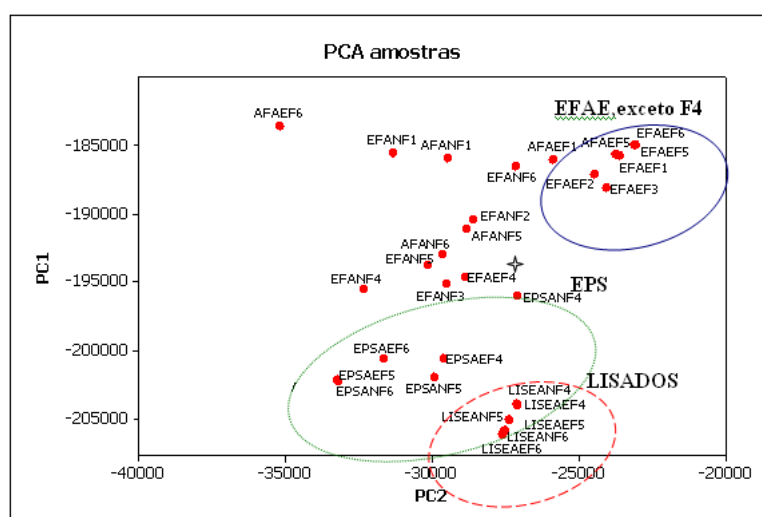


Figura 6: Análise de componentes principais (PCA) das massas obtidas por espectrometria de massas, por amostra (AFAE – afluentes aeróbios; AFAN – afluentes anaeróbios; EFAE – efluentes aeróbios; EFAN – efluentes anaeróbios; EPSAE – substâncias poliméricas extracelulares extraídas do lodo aeróbio; EPSAN – substâncias poliméricas extracelulares extraídas do lodo anaeróbio; LISEAE –



amostras de lisados de células do lodo aeróbio; LISEAN – amostras de lisados de células do lodo anaeróbio; F – fase operacional)

Três grupos podem ser destacados e encontram-se realçados. Observa-se a formação do *cluster* para os produtos de lise celular e de EPS, distintos dos efluentes. Na fase IV, quando foi imposta a condição de redução de temperatura, os polímeros extracelulares extraídos parecem ser de natureza química um pouco diferente (a amostra de EPS desta fase encontra-se claramente separada das demais). O mesmo é observado quando se avaliam as amostras de efluentes ao reator aeróbio. A amostra referente à fase IV destoa das demais, se aproximando inclusive da amostra de EPS desta mesma fase. Ressalta-se, contudo, que, na fase V, em que a temperatura continuou baixa, o efluente aeróbio parece apresentar características químicas similares às demais fases (distintas, pois, dos polímeros extracelulares). Portanto, estas observações podem sugerir que, em termos químicos, condições adversas (por exemplo, baixa temperatura) podem contribuir para SMPs advindos de polímeros extracelulares liberados e solubilizados no meio em resposta ao estresse imposto e que, à medida que a biomassa se adequa a esta nova condição, estes SMPs seriam degradados e os SMPs produzidos voltariam a ser produtos de natureza química diferente de polímeros extracelulares.

Para os efluentes do reator anaeróbio, nenhuma característica específica foi observada. Os SMPs produzidos foram quimicamente distintos de amostras de lise e EPS, bem como distintos entre si, avaliando-se cada fase operacional. Este resultado sugere que, pela complexidade da bioquímica do consórcio microbiano presente neste reator, cada condição operacional imporá características químicas distintas para os produtos microbianos produzidos e que estes não são provenientes de lise celular e nem da extração de polímeros extracelulares. Desta forma, cada condição operacional parece interferir intensamente e ser determinante para a característica química dos SMPs produzidos, o que leva a uma necessidade ainda maior de esforços no avanço de sua identificação.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste artigo mostraram que a produção de SMPs no reator aeróbio foi superior à do reator anaeróbio, onde a carga orgânica aplicada não apresentou interferência significativa na conversão da DQO afluente a SMPs. Além disso, a utilização do acetato como substrato ocasionou uma maior produção de SMPs, comparativamente à glicose.

Sob temperaturas mais baixas, a produção normalizada de SMPs (SMP/So) foi maior para o reator aeróbio (33,8% a 15°C e 18,7% a 25°C); já para o reator anaeróbio, uma tendência praticamente constante de conversão da DQO afluente a SMPs (18,1% a 15°C e 18,3% a 25°C) foi observada.

O conteúdo protéico e de carboidratos nas amostras de efluentes foram baixos e a maior parte da DQO residual em todas as fases não pôde ser atribuída a estes compostos. Os SMPs produzidos em cada fase operacional não parecem provenientes de lise celular nem de EPS, principalmente no reator anaeróbio. Contudo, a produção de SMPs advindos de EPS em reatores aeróbios de mistura completa parece acontecer mediante condições ambientais/operacionais adversas.

A ocorrência predominante de SMPs de baixas massas molares foi verificada na análise de espectrometria de massas, indicando produtos associados à utilização do substrato (SMPs-UAP) ou provenientes da degradação e/ou hidrólise de SMPs de alta massa molar (SMPs-BAP).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA (1998). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Washington DC. American Public Health Association.
2. AQUINO, S.F. e STUCKEY, D.C. (2008). Integrated model of the production of soluble microbial products (SMP) and extracellular polymeric substances (EPS) in anaerobic chemostats during transient conditions. *Biochemical Engineering Journal* 38: 138-146.
3. AQUINO, S.F. e CHERNICHARO, C.A. (2005). Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle. *Eng. San. Ambient.* 10(2):152-161.
4. AQUINO, S. F. (2004). Formation of soluble microbial products (SMP) in anaerobic reactors during stress conditions. Doctor of Philosophy Thesis. Imperial College. London.



5. AQUINO, S. F. e D. C. STUCKEY (2004). Soluble Microbial Product formation in anaerobic chemostats in the presence of toxic compounds. *Water Research* 38(2): 255-266
6. AQUINO, S.F.(2003). Caracterização da DQO efluente de sistemas de tratamento biológico. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 8(3): 135-144.
7. BARKER, D. J. e D. C. STUCKEY (2001). Modelling of soluble microbial products in anaerobic digestion: the effect of feed strength and composition. *Water Environmental Research* 73(2): 173-184.
8. BARKER, D. J. e D. C. STUCKEY (1999). A review of soluble microbial products (SMP) in wastewater treatment systems. *Water Research* 33(14): 3063-3082.
9. BLUNDI, C. E. e GADELHA, R. F. (2001). Metodologia para determinação de matéria orgânica específica em águas residuárias. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: aspectos metodológicos. C. A. L. Chernicharo. Belo Horizonte, PROSAB: 9-18 (2001).
10. DREWS, A., MANTE, J., IVERSEN, V., VOCKS, M., LESJEAN, B., KRAUME, M. (2007). Impact of ambient conditions on SMP elimination and rejection in MBRs. *Water Research* 41: 3850 – 3858.
11. FONSECA, A.C., SUMMERS, R.S., GREENBERG, A.R., HERNANDEZ, M.T. (2007). Extra-Cellular polysaccharides, soluble microbial products, and natural organic matter impact on nanofiltration membranes flux decline. *Environ.Sci.Technol.* 41: 2491-2497 .
12. FROLUND, B, PALMGREN, R., KEIDING, K., NIELSEN, P.H. (1996). Extraction of extracellular polymers from activated sludge using a cation exchange resin. *Wat. Res.* 30(8): 1749-1758.
13. GUERLAVA P., IZAC, V., THOLOZAN, J. (1998). Comparison of different methods of cell lysis and protein measurements in *Clostridium perfringens*: application to the cell volume determination. *Current Microbiology* 36: 131-135.
14. HER, N., AMY, G., MCKNIGHT, D., SOHN, J., YOON, Y. (2003). Characterization of DOM as a function of MW by fluorescence EEM and HPLC-SEC using UVA, DOC and fluorescence detection. *Water Res.* 37: 4295-4303.
15. JARUSUTTHIRAK, C. e AMY, G. (2007). Understanding soluble microbial products (SMP) as a component of effluent organic matter (EfOM). *Water Research* 41: 2787 – 2793.
16. KUO, W. C. e G. P. PARKIN (1996). Characterization of soluble microbial products from anaerobic treatment by molecular weight distributions and nickel-chelating properties. *Water Research* 30(4): 915-922.
17. NOGUERA, D. R., N. ARAKI e B. E. RITTMANN (1994). Soluble Microbial Products (SMP) in anaerobic chemostats. *Biotechnology and Bioengineering* 44: 1040-1047.
18. OLIVEIRA-ESQUERRE, K.P., NARITA, N., YAMATO, N., FUNAMIZU, N., WATANABE, Y. (2006). Incorporation of the concept of microbial product formation into ASM3 and the modeling of a membrane bioreactor for wastewater treatment. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 23(4): 461-471.
19. PONTES, P.P. (2003). Reatores UASB aplicados ao tratamento combinado de esgotos sanitários e de lodo excedente de filtro biológico percolador. Tese (Doutorado em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais.
20. RITTMANN, B. E. e P. L. MCCARTY (2001). *Environmental Biotechnology: principles and applications*, McGraw Hill.
21. SHENG G. E YU, H. (2006). Characterization of extracellular polymeric substances of aerobic and anaerobic sludge using three dimensional excitation and emission matrix fluorescence spectroscopy. *Water Research* 40: 1233-1239.