

# IMPORTÂNCIA DA IDENTIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES RESPONSÁVEIS PELO CRESCIMENTO FILAMENTOSO NAS ETARS

Ana NICOLAU<sup>(1)</sup>; Maria João MARTINS<sup>(2)</sup>; Manuel MOTA<sup>(3)</sup>; Nelson LIMA<sup>(4)</sup>

## RESUMO

Para se ultrapassarem as situações de crescimento filamentoso exagerado, é necessário, antes de mais, identificar correctamente a espécie ou espécies responsáveis por esse crescimento. Após a correcta identificação dos microrganismos causadores do problema filamentoso poder-se-á então optar pelas medidas que incidam sobre as causas do fenómeno e não apenas sobre os efeitos. As acções sobre as causas podem ser complementadas por acções de remoção e/ou desinfecção, mas só quando se tornarem imprescindíveis e nunca substituindo as primeiras por estas.

A identificação dos organismos filamentosos torna-se assim uma ferramenta essencial na gestão das estações de tratamento de águas residuais quando estiverem em causa problemas de *bulking* ou *foaming*. O presente trabalho avança algumas ideias sobre as principais causas do crescimento filamentoso, espécies ocorrentes e modos de resolução do crescimento filamentoso.

## Palavras-chave

Crescimento filamentoso; *bulking*; *foaming*; identificação taxonómica

---

<sup>(1)</sup> Doutorada em Engenharia Química e Biológica, Biotempo – Consultoria em Biotecnologia, Lda.; Braga; Portugal

<sup>(2)</sup> Licenciada em Engenharia Biológica (ramo Controlo da Poluição), Biotempo – Consultoria em Biotecnologia, Lda.; Braga; Portugal

<sup>(3)</sup> Professor Catedrático, Centro de Engenharia Biológica – IBQF, Universidade do Minho; Braga; Portugal

<sup>(4)</sup> Professor Associado, Centro de Engenharia Biológica – IBQF, Universidade do Minho; Braga; Portugal

## INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de água leva a que seja necessário planejar, gerir e integrar o seu fornecimento, o seu uso e, finalmente, o posterior tratamento da água usada, com muito mais premência do que há algum tempo atrás.

Nos últimos 150 anos, foram desenvolvidos vários processos para reduzir a carga orgânica que chega aos ecossistemas aquáticos. À excepção de algumas águas residuais industriais contendo produtos não-biodegradáveis, os métodos biológicos são os mais económicos e frequentes para tratamento de águas residuais (Hawkes, 1983). Os métodos mais disseminados para o tratamento dos efluentes domésticos são o dos filtros percoladores e, mais recentemente, o tratamento biológico por lamas activadas.

O tratamento biológico das águas residuais por lamas activadas tem vantagens importantes sobre os outros, nomeadamente sobre o dos filtros percoladores (Hawkes, 1983): é mais intensivo e por isso requer menos espaço, característica a ter em conta em zonas de elevada densidade populacional, é menos afectado pelas temperaturas baixas do Inverno, é mais fácil manipular as suas variáveis de operação e é menos propenso a maus odores e insectos. Por outro lado, exige mão-de-obra mais especializada, é mais sensível a choques de carga ou entrada de tóxicos, produz mais lamas e exige um maior consumo de energia para o arejamento e para a circulação de fluidos.

As estações de tratamento biológico de águas residuais por lamas activadas podem ser consideradas como ecossistemas criados pelo Homem, e onde as condições a que os organismos estão sujeitos são extremas (Madoni, 1994). A componente biótica que se desenvolve no tanque de arejamento é, essencialmente, representada pelos decompositores (bactérias e fungos que obtêm energia directamente da matéria orgânica dissolvida) e pelos consumidores (flagelados heterotróficos, ciliados, rizopódios e pequenos metazoários que se alimentam de bactérias e outros organismos). A componente abiótica é representada pela estrutura do tanque.

Assim, o tratamento biológico das águas residuais consiste, essencialmente, na acção combinada de uma comunidade de microrganismos que utilizam a matéria orgânica existente para responder às suas próprias necessidades metabólicas produzindo novos organismos, ou seja, mais organismos, na designada fase anabólica ou de síntese. A fase catabólica corresponde à libertação de produtos de excreção, como sejam, a água, dióxido de carbono, nitratos e sulfatos ou dióxido de carbono e metano, conforme se tenha desenrolado em condições aeróbias ou anaeróbias.

A matéria orgânica presente nas águas residuais encontra-se nas formas solúvel, coloidal e particulada e a sua composição abrange uma vasta gama de compostos. A caracterização da matéria orgânica das águas residuais e o conhecimento dos seus processos de degradação são importantes para que se

possa perceber a ocorrência da matéria orgânica residual e, eventualmente, alterar parâmetros da operação de modo a melhorar a qualidade do efluente final (Metcalf & Eddy, 1991).

## FLOCULAÇÃO

Os processos de lamas activadas pressupõem a agregação de vários constituintes, entre compostos orgânicos e inorgânicos, constituindo os flocos. Os flocos contêm um conjunto de bactérias designadas “formadoras de flocos” pertencentes essencialmente aos géneros *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Citromonas*, *Flavobacterium* e *Zooglea*. Estas bactérias são capazes de converter materiais orgânicos em compostos extracelulares específicos que constituem o glicocálice; este aumenta a viscosidade da água, favorecendo, por um lado, a actuação das enzimas extracelulares e, por outro, a agregação destas bactérias a outras superfícies, orgânicas ou inorgânicas.

Por isso, esta floculação pode ser mais correctamente descrita como uma biofloculação. Como um qualquer processo de floculação, consiste na formação de agregados de partículas suspensas do meio líquido com dimensões e pesos específicos suficientes para ser separados da fase líquida por decantação mas, além da componente física correspondente à turbulência, há também um fenómeno de natureza biológica, onde os exopolissacáridos têm um papel fundamental.

A manutenção da estrutura é assegurada pelo crescimento de formas filamentosas, entre as quais se podem encontrar fungos, actinomicetes e bactérias.

A formação do floco compreende, assim, dois processos:

1. a floculação de bactérias a partir das quais se formam os pequenos agregados que englobam também partículas inorgânicas; o fenómeno é possível graças à energia da turbulência e aos exopolissacáridos segregados pelos diversos tipos de bactérias;
2. a formação de um “esqueleto filamentoso” através do qual os flocos aumentam as suas dimensões e resistem às agressões mecânicas.

## COMUNIDADE MICROBIANA

A composição da população microbiana e a sua actividade dependem de diversos factores, entre os quais se podem apontar:

- as constantes cinéticas das várias espécies
- a disponibilidade e natureza do substrato
- as condições físico-químicas prevalecentes
- da configuração do próprio empreendimento
- a resistência à difusão dos substratos nos flocos
- relações bióticas que se estabelecem entre os vários tipos de microrganismos existentes nas lamas

As bactérias presentes nas lamas activadas podem ser classificadas segundo o seu tipo de metabolismo (Tabela 1) e podem aparecer sob a forma de bactérias dispersas, bactérias formadoras de flocos e bactérias filamentosas. O equilíbrio

entre estas duas formas é fundamental para a integridade e boa sedimentabilidade dos flocos.

**Tabela 1** - Grupos de bactérias presentes nas lamas activadas e suas necessidades metabólicas.

<b>Grupo Metabólico</b>	<b>Fonte de Carbono</b>	<b>Fonte de Energia</b>	<b>Aceitador de electrões</b>	<b>Forma de Crescimento</b>
Organotróficas	Orgânica	Oxidação aeróbia	O <sub>2</sub>	FF,FIL
Anaerobias Fermentativas	Orgânica	Fermentação	Comp. Org.	FF(?)
Desnitrificantes	Orgânica	Oxidação anóxica	NO <sub>3</sub> -N	FF,FIL(?)
Nitrificantes	Inorgânica	Oxidação aeróbia	O <sub>2</sub>	Aderidas
Poli-P	Orgânica	Fosfatos	O <sub>2</sub>	Clusters
Oxidante-S	Inorgânica	Oxidação aeróbia	O <sub>2</sub>	FIL,FF
Redutoras-SO <sub>4</sub>	Orgânica	Oxidação anaeróbia	SO <sub>4</sub> -S	FF(?)

FF-Formadoras de flocos      FIL-Filamentosas

Nos últimos anos, tem sido dada particular atenção a algumas populações bacterianas específicas, quer devido à sua actividade benéfica, donde se destacam as nitrificantes, as desnitrificantes e as que acumulam fósforo, quer pelos problemas que podem vir a ocasionar, destacando-se nestas as formas filamentosas.

## **OS ORGANISMOS FILAMENTOSOS**

As bactérias filamentosas são organismos unicelulares que se multiplicam por cissiparidade, mas cujas células-filhas se mantêm vizinhas, resultando na formação de uma cadeia ou filamento. Podem ou não ser envolvidas por uma baínha, mas mesmo no caso dos septos celulares serem invisíveis ao microscópio óptico, sabe-se que as células constituintes dos filamentos estão separadas e que aqueles septos existem. Por outro lado, o crescimento sob a forma de filamentos não é uma resposta a determinadas condições ambientais, mas antes uma característica intrínseca de determinadas espécies.

## IDENTIFICAÇÃO DOS ORGANISMOS FILAMENTOSOS

Existe uma grande variedade de organismos filamentosos que apresentam grandes variações no que diz respeito a um conjunto de características como a dimensão, a forma das células, a forma do filamento, a presença ou ausência de baínha, a existência ou não de crescimento sésil, o tipo de crescimento nas lamas activas, a resposta a colorações, a mobilidade dos filamentos, etc.

Com ajuda de um microscópio óptico, munido de contraste de fase, podem ser facilmente identificadas. As colorações são uma etapa fundamental para a identificação da maior parte delas: as colorações de Gram e de Neisser e o teste do Enxofre evidenciam características importantes dos organismos filamentosos que crescem nas lamas activadas, contribuindo para uma correcta identificação.

Durante muitos anos, pensou-se que *Sphaerotilus natans* era o único responsável pelos fenómenos de *bulking* filamentoso. Mas no início dos anos 80, D. Eikelboom (1983), no seguimento de vários trabalhos de identificação, publicou um manual onde já são descritas 29 grupos que aparecem nos tanques de arejamento dos sistemas de tratamento de águas residuais por lamas activadas.

Só um grupo restrito destas bactérias têm um nome válido do ponto de vista taxonómico, como a *Microthrix parvicella* e *Nostocoida limicola*; a maior parte delas é conhecida somente pelas suas características morfológicas, não havendo informação sobre estas no que respeita às suas características bioquímicas e genéticas, sendo insuficiente a informação que actualmente se dispõe para se proceder à sua classificação (Madoni, 1996). São conhecidas por números ou siglas, de que são exemplo a Tipo 1701, a Tipo 021N ou a Tipo 0041.

## DISFUNÇÕES NO DECANTADOR

Na patologia ao nível do decantador secundário, podem ocorrer vários tipos de disfunções, algumas das quais muito frequentes e que estão na origem de problemas graves e persistentes de gestão das estações. Entre elas, podem citar-se o *bulking* filamentoso e não filamentoso; o *foaming* filamentoso e não filamentoso; o *rising*, o *pin-point*, o *ashing* e o *washout*. Nem todos se devem a um crescimento exagerado das formas filamentosas, mas são muitas vezes confundidos entre si.

O exagerado crescimento das formas filamentosas, traduzindo-se numa perda de sedimentabilidade das lamas (*bulking* filamentoso) ou pelo aparecimento de espumas (*foaming* filamentoso), é a origem mais frequente dos problemas ao nível do decantador secundário, ocasionando uma perda da qualidade do efluente final. De um modo geral, o crescimento excessivo das formas filamentosas pode ser atribuído a um conjunto restrito de factores:

- a qualidade da água residual, sobretudo se existe uma grande quantidade de matéria orgânica facilmente degradável dissolvida; alguns substratos também favorecem o aparecimento de determinadas filamentosas: é o caso dos óleos e gorduras que ocasionam frequentemente um crescimento exagerado de *Microthrix parvicella* e de *Nocardia* sp.;
- o baixo teor em oxigénio dissolvido;

- a carência em nutrientes, incluindo a indisponibilidade destes em períodos intermitentes;
- a presença de águas sépticas
- uma baixa razão alimento/microrganismos
- a idade das lamas
- a temperatura

## **BULKING FILAMENTOSO**

Diz-se que ocorre *bulking* quando há redução da velocidade de sedimentação e, simultaneamente, uma menor compactação das lamas no decantador secundário, levando a uma diminuição da qualidade do efluente final. É possível diagnosticá-lo através da determinação do IVL (Índice Volumétrico de Lamas) e da observação microscópica das lamas, numa tentativa de se determinar se há um crescimento excessivo de filamentosas e, nesse caso, identificar o microrganismo em causa (Seviour, 1999b).

O *bulking* filamentoso é caracterizado pela formação de flocos de malha larga ou mesmo pontes entre os flocos. Em ambos os casos, a lama sedimenta mal. Há uma grande diversidade de microrganismos que podem originar este fenómeno e, como tal, uma grande variedade de causas subjacentes ao fenómeno.

No entanto, trabalhos realizados no Mundo inteiro evidenciam o facto dos mesmos organismos serem observados em diversas zonas do globo e que somente cerca de uma dezena destes microrganismos é responsável por 90 % das disfunções associadas ao decantador secundário (Spigoni, 1992).

## **FOAMING FILAMENTOSO**

O *foaming* é caracterizado pela produção de espumas que podem vir a originar problemas quer pela saída destas no efluente final, quer pela cobertura da superfície do licor misto e conseqüente deficiência do arejamento (Seviour, 1999b). Ao contrário da espuma devida a detergentes ou outras substâncias tenso-activas, estas espumas, de natureza biológica, levam a uma verdadeira separação das fases (Tandoi, 1992). Este facto pode levar a confusões entre este fenómeno, em que as lamas podem também ficar sobre a superfície do tanque de arejamento ou do decantador secundário, e o fenómeno de *bulking* filamentoso. Os dois fenómenos são, muito frequentemente, encarados como iguais e tratados do mesmo modo.

O *foaming* filamentoso é provocado pela proliferação excessiva de filamentosas, livres, no tanque de arejamento e, depois, no decantador secundário. É castanha, persistente e viscosa.

Quando no tanque de arejamento existem condições para o crescimento de filamentosas, estas tendem a flutuar quer no tanque de arejamento, quer no decantador, na interface ar-água, favorecendo-se a evaporação. Estas formas são fortemente hidrófobas e a perda de água ocasiona a formação de uma camada de espumas rígidas. A observação microscópica desta espuma evidencia uma forte concentração dos organismos filamentosos relativamente ao licor misto.

O principal responsável pela formação de espumas parece ser *Nocardia* sp., particularmente *Nocardia amarae* (Tandoi, 1992). Além de ser fortemente hidrófoba, produz substâncias tensoactivas a partir da metabolização dos hidratos de carbono. Consegue degradar uma grande variedade de hidratos de carbono, incluindo os de elevado peso molecular e, por isso, é comum em estações que tratam efluentes urbanos ricos em óleos e gorduras. *Microthrix parvicella* é outra das filamentosas comuns nestes sistemas, produzindo igualmente espumas.

## AS FILAMENTOSAS COMO ORGANISMOS INDICADORES

Os diversos microrganismos filamentosos diferem entre si quanto às necessidades de substrato e nutrientes, capacidade metabólica e resistência aos diversos factores ambientais. Por isso, a identificação das causas de determinado desequilíbrio do crescimento filamentoso apela também ao conhecimento das características ecológicas de cada espécie ou tipo. Na Tabela 2 estão assinalados alguns destes microrganismos e as causas que lhe estão associadas (segundo Jenkins *et al.*, 1993).

**Tabela 2** - Alguns organismos filamentosos e o seu valor indicador.

CAUSA	ORGANISMO INDICADOR
Baixo teor em oxigénio	Tipo 1701, 1863, <i>Sphaerotilus natans</i> , <i>Haliscobenobacter hydrossis</i>
Baixo carga	<i>Microthrix parvicella</i> , <i>Nocardia</i> sp., Tipos 0041, 0675, 0581, 0961, 0803
Esgotos sépticos	<i>Thiothrix</i> sp., <i>Beggiotoa</i> , Tipo 021N
Carência de nutrientes	<i>Thiothrix</i> sp., <i>S. natans</i> , <i>H. hydrossis</i> , Tipos 021N, 0041, 0675
Baixo pH	Fungos

Pela observação da Tabela 2, pode constatar-se, por exemplo:

- que o Tipo 1701 é um bom indicador porque a sua presença está associada a um único factor, neste caso, um baixo teor em oxigénio dissolvido;
- que *Thiothrix* sp. e o tipo 021N podem não permitir facilmente um diagnóstico correcto.

Por outro lado, a morfologia destes microrganismos também pode fornecer indicações úteis: por exemplo, quando se verifica carência em nutrientes, *Thiothrix* sp. apresenta crescimento em roseta, o tipo 021N forma gónadas e o tipo 0041 dá resposta atípica à coloração Neisser; em águas ricas em enxofre, *Thiothrix* sp. e o tipo 021N exibem grande quantidade de grânulos de enxofre (Madoni, 1996).

## RESOLUÇÃO DAS DISFUNÇÕES DO DECANTADOR

As estratégias de controlo para a redução de problemas originados pelo crescimento exagerado de filamentosas consistem essencialmente na adição de substâncias químicas ou então na modificação das condições operativas, geralmente através da introdução de uma zona com funções de selector.

Quanto à primeira opção, podem-se citar adições de cloreto de ferro ou de polímeros sintéticos de acção coagulante para contribuir para a sedimentação da biomassa; estes métodos só resolvem os problemas de *bulking* momentaneamente, não os eliminando. Também com uma acção imediata mas não duradoura, podem citar-se os compostos que têm uma acção destrutiva sobre os microrganismos, como a água oxigenada e, sobretudo, o hipoclorito. Há numerosos casos de sucesso empregando baixas concentrações de hipoclorito para combater o crescimento excessivo de filamentosas.

De qualquer modo, estes métodos só devem ser utilizados quando é necessária uma acção imediata; é de longe preferível uma intervenção ao nível do próprio sistema no sentido de se favorecer o crescimento das formadoras de flocos em detrimento das filamentosas.

Um dos casos mais comuns é o da prevalência de filamentosas ditas “de baixa carga” (ver Tabela 2); neste caso, sabe-se que, numa situação de competição por um substrato carbonoso em quantidade limitada, as formadoras de flocos, que apresentam uma taxa máxima de crescimento e uma constante de saturação mais alta do que os organismos filamentosos, perdem para estas. Uma situação deste género é comum em sistemas de baixa carga e a solução pode passar pelo abaixamento da idade das lamas (aumentando-se assim a carga orgânica), favorecendo o crescimento das formadoras de flocos.

Outro modo muito estudado de se fazer uma pressão selectiva no sentido de se prejudicar o crescimento das filamentosas é mediante a introdução de um selector onde se façam prevalecer condições desfavoráveis à espécie ou espécies em questão. No caso de *Microthrix parvicella*, por exemplo, pode-se fazer uma passagem das lamas a condições de completo arejamento a 2/3 mg/L, no sentido de se favorecer o crescimento das formadoras de flocos. No caso de *Nocardia* sp., sugere-se, pelo contrário, a passagem a condições anaeróbias ou anóxicas, pois estes microrganismos parecem não poder assimilar, nestas condições, quantidades de substrato carbonoso suficientes ao seu crescimento (Tandoi, 1992).

No entanto, muitas vezes, são necessárias medidas acessórias a estas para se ter sucesso. No caso das espumas formadas por *Nocardia* sp., por exemplo, é necessário concentrar a espuma e, sobretudo, impedir a sua recirculação de modo a evitar uma inoculação contínua das lamas activadas no tanque de arejamento.

Mesmo assim, há diversos estudos que atestam o sucesso de determinadas medidas e o insucesso das mesmas medidas, perante os mesmos microrganismos, noutras condições. Apesar dos notáveis progressos feitos nos últimos anos, o conhecimento ainda não é suficiente para garantir o sucesso numa primeira tentativa de resolver uma disfunção no decantador secundário devido ao crescimento de microrganismos filamentosos.

A actuação sobre a origem do problema, após a identificação do microrganismo que provoca uma situação de *bulking* ou de *foaming*, é ainda a melhor solução.

## CONCLUSÕES

Se a fase de separação das lamas do efluente final não se desenrola correctamente, a qualidade do efluente, e por isso do tratamento, decresce drasticamente e pode-se mesmo chegar à impossibilidade de gestão do processo. Uma vez instalada uma situação patológica, é necessário identificar correctamente a causa para se agir sobre ela; se nos limitarmos a eliminar momentaneamente os organismos causadores da disfunção, há uma elevada probabilidade de, passado pouco tempo, estarmos perante o mesmo problema, muitas vezes drasticamente amplificado. A individualização da origem do problema é crucial: intervenções desastrosas em pequenas patologias são a causa mais frequente do mau funcionamento de estações de tratamento de águas residuais. Por isso, para se identificar a causa do crescimento filamentoso é necessário, em primeiro lugar, identificar a espécie em questão e saber-se também as necessidades ecológicas de cada espécie.

A identificação das formas filamentosas e o conhecimento das suas necessidades ecológicas permite, ao gestor de uma estação de tratamento de águas residuais, tomar as medidas mais convenientes e específicas para impedir a proliferação dos organismos em causa. A adopção de medidas genéricas de combate a filamentosas pode, ao contrário de erradicá-las, favorecer o seu crescimento e agravar as disfunções. Algumas vezes, quando o organismo está definitivamente instalado, é necessário erradicá-lo por meios físicos ou químicos que pressupõem, por exemplo, a adição de hipoclorito de sódio. No entanto, estes métodos nunca tornam prescindível ou menos necessária a actuação sobre as causas desse crescimento, sob pena do fenómeno se tornar crónico ou tão grave que leve à impossibilidade de gestão dos processos de tratamento.

Do que disse, se conclui que a identificação dos organismos filamentosos que crescem nas estações de tratamento constitui etapa fundamental para a prevenção e resolução de problemas causados pelo crescimento excessivo destas formas. A monitorização destes organismos deve tornar-se um procedimento rotineiro na gestão das estações de tratamento de águas residuais, mesmo quando os problemas ainda não estão instalados ou mesmo após a sua resolução. A detecção precoce deste fenómeno, em conjunto com o conhecimento dos parâmetros físico-químicos prevaletentes na estação, pode contribuir para uma resolução rápida das disfunções no decantador ou, na melhor das hipóteses, pode mesmo evitá-las.

## BIBLIOGRAFIA

Eikelboom, D. H. e van Buijsen, H. J. J. – *Microscopic sludge investigation manual*, Report A94, TNO Research Institute for Environmental Hygiene, Delft, Holanda, 1983.

Hawkes, H. A. - “*Activated Sludge*” in *Ecological aspects of used-water treatment*, 2, editado por C. R. Curds e H. A. Hawkes, Londres, Academic Press, 1983, pp. 77-162.

Jenkins, D., Richard, M. G. e Daigger, G. T - *Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming*. 2ª ed. Lewis Publishers, Michigan, 1993.

Lindrea, L. L. – “Practical methods for the examination and characterization of activated sludge” in *The microbiology of Activated Sludge*, editado por R. J. Seviour e L. L. Backall, Holanda, Kluwer Academic Press, 1999, pp: 257-300.

Madoni, P. - *Atlante fotografico: guida all’analisi microscopica del fango attivo*. Itália, Azienda Gas Accqua Consorziale di Reggio Emilia/Università degli Studi di Parma, 1996.

Madoni, P. - *La microfauna nell’analisi di qualità biologica dei fanghi attivi*. Itália, Azienda Gas Accqua Consorziale di Reggio Emilia/Università degli Studi di Parma, 1994.

Metcalf e Eddy, Inc. - *Wastewater Engeneering – Treatment, disposal and reuse*. 3ª ed., Nova Iorque, McGraw-Hill, 1991.

Seviour, R. J. – “Factors affecting the occurrence of filamentous bacteria in activated sludge plants” in *the Microbiology of Activates Sludge Sludge*, editado por R. J. Seviour e L. L. Backall, Holanda, Kluwer Academic Press, 1999, pp: 257-300.

Seviour, R. J. – “*The normal microbial communities of activated sludge plants*” in *The Microbiology of Activates Sludge Sludge*, editado por R. J. Seviour e L. L. Backall, Holanda, Kluwer Academic Press, 1999, pp: 76-98.

Spigoni, G. – “*Illustrazione del manuale sul riconoscimento e controllo dei principali microrganismi filamentosi*” in *Il bulking filamentoso: controllo e gestione. Convegno Nazionale*, editado por AGAC, Reggio Emilia, Itália, 1992.

Tandoi, V. – “*Le dimensioni nel problema bulking: lo stato dell’atre sul controllo del fenomeno*” in *Il bulking filamentoso: controllo e gestione. Convegno Nazionale*, editado por AGAC, Reggio Emilia, Itália, 1992.