



ESTUDO DE MÉTODOS PARA REDUÇÃO DE FÓSFORO EM TRATAMENTO BIOLÓGICO

Andressa Casiraghi^a, Raquel Finkler^{b*}

a) Centro Universitário da Serra Gaúcha.

Informações de Submissão

* Endereço: Rua Os Dezoito do Forte, 2366 -
Caxias do Sul - RS - CEP: 95020-472 .

Palavras-chave:

Fósforo, degradação, tratamento biológico.

Resumo

Atualmente um dos maiores problemas que a sociedade enfrenta é a contaminação de recursos hídricos por esgoto doméstico lançados muitas vezes sem tratamento ou com tratamento ineficiente. A contaminação pode ocorrer por inúmeros poluentes, porém alguns possuem fácil remoção e outros nem tanto. Por isso, o estudo de alternativas para a remoção de poluentes é muito importante, uma vez que permite otimizar o tratamento de elementos, tais como o fósforo, que não possui remoção eficiente. O fósforo é um dos elementos causadores da eutrofização de rios e lagos, este fenômeno é responsável por causar a mortandade de peixes e diminuir a qualidade da água, dentre outros problemas. Neste artigo foi realizado uma revisão bibliográfica nas bases da Scielo com o intuito de identificar formas de tratamento biológico de fósforo a partir de organismos acumuladores de fósforo (PAO's). Entre os métodos analisados, merece destaque o mecanismo de remoção biológica de fósforo avançado (EBPR) que obteve resultados eficientes para a remoção de fósforo. Vale salientar que dentre as pesquisas analisadas, nenhuma trata fósforo individualmente e os resultados para a remoção do mesmo não são precisos.

1 INTRODUÇÃO

Há algumas décadas os corpos d'água vem sendo afetados pela poluição causada por efluentes sanitários e industriais. Um dos grandes problemas ambientais que a sociedade enfrenta atualmente, é a eutrofização de rios e lagos gerada pelo acúmulo de nutrientes como nitrogênio e fósforo provenientes, principalmente, de diferentes fontes de esgotos. Concentrações elevadas destes nutrientes prejudicam a qualidade e o tratamento da água, afetando diretamente à saúde pública.

O fósforo tem grande importância para a agricultura, sendo amplamente utilizado como fertilizante para o solo. Porém, em concentrações elevadas em corpos d'água o fósforo se torna um grande poluente. A elevada quantidade deste nutriente em rios e lagos é responsável por estimular o crescimento de algas e plantas. Estes

vegetais utilizam todo o oxigênio presente no ambiente, desta forma causando a mortandade de peixes e tornando a água imprópria para o consumo humano (KLEIN; AGNE, 2012).

O fósforo está muito presente em detergentes e ocorre na forma de polifosfatos solúveis ou, após hidrólise, na forma de ortofosfatos. Este composto pode representar até 50% da concentração de fósforo total no esgoto doméstico (MOTA; VON SPERLING, 2009). Além disso, podem se apresentar em concentrações maiores dependendo da classificação dos corpos d'água. Para este tipo de situação a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) vem para dispor sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes, juntamente com a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011.

Para a maioria das empresas não é fácil atender às exigências impostas pelos órgãos regulamentadores, especificamente, para o parâmetro de fósforo, pois em tratamentos biológicos convencionais não é possível degradar este nutriente. Faz-se necessário a remoção através de um sistema terciário, mais conhecido como a etapa de polimento, onde ocorre a precipitação de fósforo. O problema é que nem todas empresas possuem condições de implantarem este sistema, podendo ocorrer o lançamento de efluentes tratados que nem sempre atinjam os padrões adequados de emissão para fósforo .

Em vista deste grande problema gerado pelas altas concentrações de fósforo em ambientes aquáticos e pela falta de métodos eficientes de redução de fósforo em estações de tratamento de esgoto, este trabalho apresentará uma revisão bibliográfica apresentando métodos de remoção biológica de fósforo a partir da aclimatação e isolamento de bactérias consumidoras deste nutriente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

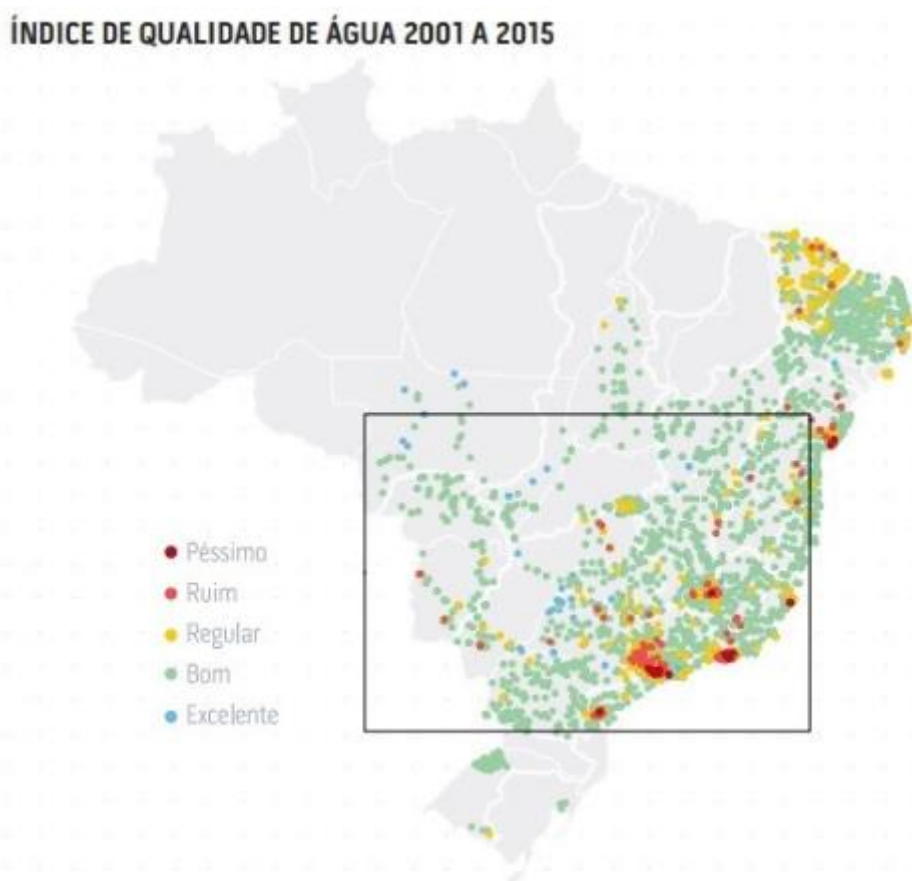
2.1 Situação dos recursos hídricos e saneamento básico no Brasil

O Brasil é um dos países que possui maior disponibilidade de água doce no mundo, porém uma pequena parcela é própria para consumo humano. Além disso, os recursos hídricos estão distribuídos de forma desigual ao longo do país. As regiões que possuem alta densidade deste recurso o utilizam de forma

irracional. Já outras regiões, como o Nordeste, possuem recursos hídricos muito escassos e para agravar a situação enfrentam uma grande crise no saneamento básico. (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

A Figura 1 mostra o índice de qualidade da água nos anos de 2001 a 2015, período em que ocorreu um grande investimento por parte do governo em esgotamento sanitário. Os resultados ruim ou péssimo se referem aos pontos de monitoramento situados nos corpos hídricos de grandes centros urbanos. Estes resultados estão relacionados ao despejo de esgoto doméstico diretamente em corpos d'água sem tratamento eficiente ou sem nenhum tipo de tratamento. (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

Figura 1: Índice de qualidade de água de 2001 a 2015.



Fonte: Agência Nacional de águas (2017).

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em 2017, coletou dados de água e esgoto no território brasileiro. A quantidade de municípios que enviaram dados é de 3.872, cuja população urbana é de 161,4 milhões de habitantes, resultando em uma representatividade de 69,4% em relação ao total

de municípios e de 91,9% em relação à população urbana do Brasil. Apenas 2.444 municípios possuem esgotamento sanitário, representando 43,9% dos municípios brasileiros (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2019).

É notório os prejuízos causados à população pela falta de saneamento básico, este é um direito indispensável que o cidadão deve ter. É a garantia da qualidade da água, preservação ambiental, saúde pública, desenvolvimento econômico sustentável e desenvolvimento social.

2.3 Tratamento de esgoto

Segundo Von Sperling (1996), os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9 % de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. Portanto, é devido a essa fração de 0,1% que há a necessidade de tratar o esgoto.

As características dos diferentes tipos de esgotos, ocorre em função dos usos à qual a água foi submetida. Essas características variam de acordo com os hábitos da população e os diferentes usos da água. O esgoto pode ser dividido em três parâmetros que definem a qualidade do mesmo. São eles: parâmetros físicos, químicos e biológicos (VON SPERLING, 1996).

Para realizar o tratamento do esgoto é necessário utilizar tratamentos físicos, que consistem em preliminar e primário, tratamento biológico que refere-se ao tratamento secundário, e por último o tratamento químico que trata-se do terciário.

- Tratamento preliminar: ocorre a remoção de sólidos grosseiros, com o auxílio de grades, que funcionam como peneiras e caixas de areia.
- Tratamento primário: ocorre a remoção de sólidos sedimentáveis.
- Tratamento secundário: ocorre a remoção de matéria orgânica através do tratamento biológico.
- Tratamento terciário: ocorre a remoção de nutrientes como o fósforo e remoção de cor através da precipitação química.

No Brasil na maioria das vezes o tratamento utilizado em estações de tratamento de esgotos (ETE's) consiste somente na etapa preliminar, onde os principais parâmetros a serem tratados serão os físicos, onde ocorre a remoção grosseira dos sólidos totais, matéria orgânica, cor e turbidez.

2.4 Fósforo

Nutrientes são estruturas que constituem os alimentos e que são essenciais para o funcionamento do organismo, fornecem energia, servem como matéria prima para a sustentação do corpo e seu crescimento. O fósforo além de ser um nutriente é um elemento químico de símbolo P. Este elemento é essencial para algumas funções no organismo humano, como formação de dentes e ossos, formação molecular do DNA, entre outras funções. O fósforo desempenha um papel central no metabolismo e na reprodução de organismos (FERREIRA, 2002). Porém em excesso este elemento pode desencadear uma reação indesejável aos corpos de água, como a eutrofização, que é decorrente do acúmulo de nutrientes.

O fósforo não ocorre livre, sendo comum encontrá-lo na forma de fosfatos que constituem cerca de 0,10 % da crosta terrestre. A forma mais significativa de fósforo inorgânico é o ortofosfato (PO_4^{3-}) (FERREIRA, 2002).

As formas de fósforo que são transferidas para o corpo hídrico podem ser: solúvel e particulado. O fósforo particulado divide-se em: fósforo adsorvido à matéria orgânica particulada morta ou constituindo agregados macroorgânicos; ésteres de enzimas de baixo peso molecular, vitaminas, fosfatos de nucleotídeos, como o difosfato de adenosina (ADP) e o 5-trifosfato de adenosina (ATP) que é utilizado nos percursos bioquímicos da respiração e na assimilação do CO_2 . E o fósforo solúvel divide-se em: ortofosfato (PO_4^{3-}) e polifosfatos, muitas vezes provenientes de detergentes sintéticos, colóides orgânicos ou fósforo combinado com colóides por adsorção (FERREIRA, 2002).

2.4.2 Degradação biológica por organismos acumuladores de fósforo

O processo de remoção Biológica avançada, do inglês *Enhanced Biological Phosphorus Removal* (EPBR) – é um processo de tratamento de efluentes, uma opção ambientalmente sustentável para a remoção de fósforo que vem sendo cada vez mais utilizada (NIELSEN *et.al.*, 2010). No processo, microrganismos específicos os PAO's, organismos acumuladores de fósforo (do inglês *Phosphorus Accumulating organisms* - PAO's) que removem ortofosfatos do efluente acumulando-os no interior de suas células como polifosfatos e a partir destas quebras das cadeias de polifosfatos que acontecem no interior célula ocorre a formação

de energia para o consumo de matéria orgânica pelos PAO's. Estas células podem então ser removidas e o efluente clarificado, resultando em uma menor concentração do nutriente alvo (FERREIRA, 2014).

Segundo Martí *et. al.* (2006), o mecanismo de acúmulo excessivo de fósforo se processa em duas fases, sob condições anaeróbias e aeróbias respectivamente. Em condições anaeróbias, ocorre a degradação de polifosfato a partir da ação dos meios de acetato e propionato. Com a degradação do polifosfato, os ortofosfatos são liberados para o meio e são consumidos em condições aeróbias.

As bactérias consumidoras de fósforo possuem uma eficiência muito menor comparado a uma precipitação química. Descobriu-se, com o auxílio de sedimentos naturais esterilizados, que a fixação microbiana e o transporte de fósforo para os sedimentos correspondia a menos do que 5% do movimento total em condições redutoras de anaerobiose. Em aerobiose as bactérias da interface aumentaram de modo significativo o transporte microbiano de fósforo para os sedimentos tendo esta perda sido relacionada com a quantidade de fósforo microbiano que se depositava na interface (FREVERT, 1979 *apud* WETZEL, 1983). Com este estudo pode-se afirmar que as bactérias consumidoras de fósforo sintetizam melhor este nutriente em condições aeróbias.

2.5 Legislação brasileira - Padrão de lançamento de fósforo

A Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), na seção II do artigo 17, define padrões específicos para o parâmetro fósforo no caso de lançamento de efluentes em corpos receptores com registro histórico de floração de cianobactérias, em trechos onde ocorra a captação para abastecimento público. Ou seja, nem todas licenças de operação exigem controle do parâmetro fósforo, somente em alguns casos bem específicos é solicitado.

3 METODOLOGIA

Este estudo constitui uma revisão bibliográfica em artigos nas bases Scielo, a respeito do acúmulo e conseqüente redução de fósforo em bactérias e algas. Sendo assim, para o desenvolvimento do presente artigo, foram utilizadas palavras como tratamento de fósforo, remoção de fósforo e tratamento biológico. Os resultados sobre

métodos que utilizam organismos acumuladores de fósforo são descritos no presente artigo.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a aclimação de bactérias acumuladoras de fósforo, Ferreira (2002) realizou a adaptação inicial do lodo no reator, que tinha como meta: manutenção do lodo, crescimento de microrganismos que permitissem a nitrificação e desnitrificação e posteriormente acumuladores de fósforo.

Inicialmente esperou-se que ocorresse o desenvolvimento de populações de interesse sem que houvesse o enriquecimento do lodo.

Em seguida, foram utilizadas duas estratégias de enriquecimento do lodo com microrganismos acumuladores de fósforo. A primeira, através da seletividade por sedimentação e a segunda, pela adição de fonte adicional de carbono.

- Seletividade por sedimentação: foi retirado somente a biomassa decantada do reator, descartando-se o lodo flotado com a intenção de eliminar possível lodo filamentosos.
- Adição de fonte de carbono: muitos autores ressaltam a importância da utilização de fontes de carbono para o enriquecimento de cultura no reator. Sabe-se que os microrganismos, em especial os acumuladores de polifosfatos (PAO) são capazes de utilizar tanto o acetato quanto o propionato em taxas equivalentes como fonte de carbono (OEHMEN *et. al.*, 2007). Para a realização do trabalho Ferreira (2002) na tentativa de selecionar os microrganismos de interesse dentro dos reatores em escala piloto com esgoto real, e como estratégia de enriquecimento, foi fornecido ao lodo acetato e propionato de forma alternada, com o intuito de fornecer as condições favoráveis para o desenvolvimento de populações microbianas de interesse, capazes de realizar o processo de remoção biológica simultânea de fósforo em detrimento dos organismos acumuladores de glicogênio. Os reatores foram enchidos com lodo enriquecido e em seguida foram submetidos sequencialmente às fases anaeróbia, aeróbia e anóxica. A primeira fase do processo é a fase de reação, que é anaeróbia, onde se espera que ocorra a degradação da matéria orgânica e liberação de fosfato para o meio. Na fase aeróbia ocorrerá o acúmulo de fosfato no interior de organismos acumuladores de fósforo (PAO's) sob a forma de polifosfato. E por último, na

fase anóxica irá ocorrer novamente o acúmulo de polifosfatos pelos PAO's fazendo com que aumente a biomassa destes organismos.

No final de cada fase operacional, onde o sistema já atingiu o equilíbrio estacionário, foram feitas análises para avaliar a remoção de fosfato. A metodologia utilizada para a realização das análises é do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

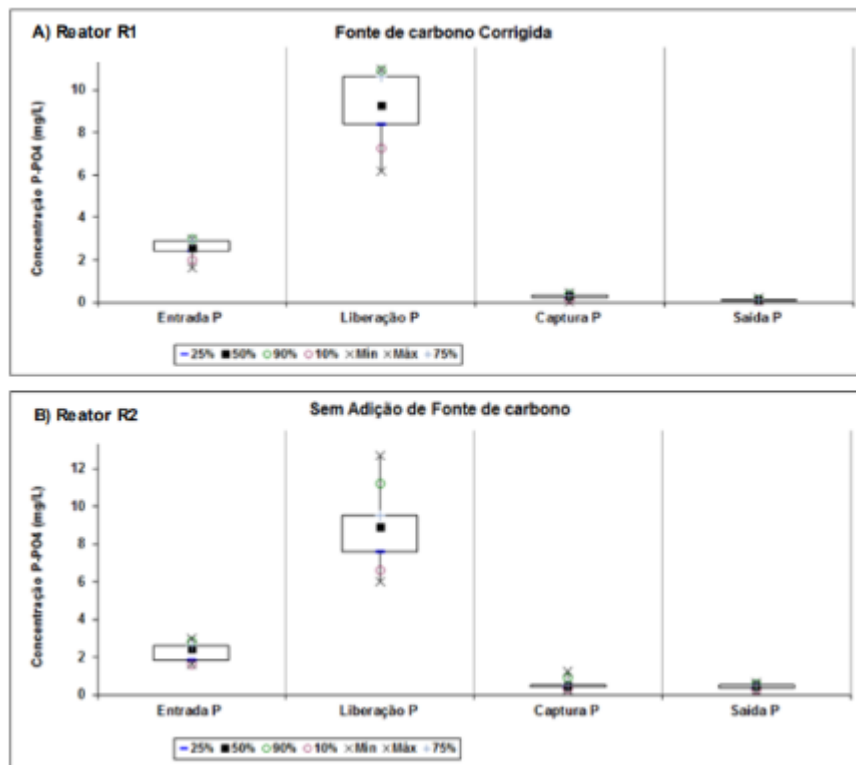
Dentre as análises realizadas as principais para o estudo de acúmulo de fósforo por PAO's foram:

- Temperatura (°C);
- pH;
- Oxigênio Dissolvido (mg.L⁻¹);
- P-PO₄ solúvel (mgP.L⁻¹);
- IVL (mg.L⁻¹);
- Microbiologia do lodo.

Nos estudos realizados por Ferreira (2014) é relacionado que microrganismos acumuladores de fósforo, na presença de ácidos graxos voláteis (AGV's), realizam o mecanismo de captura dos ácidos e consequente liberação, em fase anaeróbica, de fósforo para o meio. Este fenômeno ocorre com a criação de microambientes anaeróbios no reator aeróbio ou dentro dos próprios flocos, que juntamente com a disponibilidade de elevadas concentrações de AGV's proporcionariam a liberação do fósforo. Em outros estudos realizados por Ahn et. al. (2007), mostraram que após o consumo de AGV's do meio, as células procederam a captura de todo fósforo anteriormente liberado, para repor suas energias internas. Ou seja, quanto menor quantidade de AGV's no meio maior será o consumo de fósforo.

Outra forma dos microrganismos acumularem mais fósforo no seu interior é aumentando a quantidade de carbono no meio. Para isso faz-se necessário a aclimação do lodo através da combinação de ácido propiônico e acetato de sódio. O proprionato servirá para o enriquecimento de organismos acumuladoras de fósforo (PAO's) e o acetato como substrato. Com isso foi possível diminuir os valores de P-PO₄ do afluente (Figura 2).

Figura 2 - Alterações após adição de fonte de carbono. A) reator R1, com adição excessiva de fonte de carbono. B) reator R2, sem adição de fonte de carbono.



Fonte: Ferreira, 2014.

Como todo o teste foi realizado em escala piloto não é possível obter-se resultados precisos em relação ao estudo. Para aprimorar este estudo é necessário realizar testes de bancada para a obtenção de uma análise do sistema mais detalhada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os trabalhos revisados neste artigo demonstraram a necessidade de estudar-se organismos acumuladores de fósforo isoladamente para obter informações mais precisas e detalhadas sobre o processo de degradação biológica de fósforo.

Propõe-se um estudo aprofundado para verificação do desempenho de sistemas de tratamento biológico de fósforo que realize os seguintes acompanhamentos diários:

- Degradação de PHA's, usando-se testes de Azul de Metileno;
- Análises físico-químicas: pH, temperatura, oxigênio dissolvido, potencial redox e condutividade.
- Análises microbiológicas: coloração de polibetahidroxibutirato.

Com estas análises e acompanhamentos diários é possível desenvolver um estudo aprofundado com enfoque em organismos acumuladores de fósforo (PAO's). Dando a devida relevância a este nutriente que se torna extremamente prejudicial quando encontrado em ambientes aquáticos.

6 REFERÊNCIAS

- FERREIRA, Carlos Jorge. **BIOGEOQUÍMICA DO FÓSFORO E EUTROFIZAÇÃO – ECOSISTEMAS LÊNITICOSEMPARTICULAR**. 2002. 46 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências do Ambiente, Universidade de Évora, Évora, 2003.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (Org.). **Conjunturas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2017. 177 p.
- RAST, W.; THORNTON, J. A. Trends in eutrophication research and control. *Hydrol. Process.* 1996.
- FERREIRA, Ana Linda Tiago Soares. **REMOÇÃO BIOLÓGICA SIMULTÂNEA DE FÓSFORO E NITROGÊNIO DE ESGOTO SANITÁRIO EM REATORES SEQUÊNCIAIS EM BATELADA**. 2014. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.
- MOTA, Francisco Suetônio Bastos; VON SPERLING, Marcos. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: Copyright, 2009. 430 p.
- KLEIN, Claudia; AGNE, Sandra Aparecida Antonini. **FÓSFORO: DE NUTRIENTE À POLUENTE**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.
- PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 218 p.
- VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: DESA (UFMG), 1996.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (Brasil) (Org.). **Diagnósticos dos serviços de água e esgoto- 2017**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019. 226 p.
- MACKSON, A.R.W. & J.M. JACKSON, 1996. *Environmental Science. The Natural Environment and Human Impact*. Longman;
- NIELSEN, P.H; MIELCZAREK, A.T.; KRAGELUND, C.; NIELSEN, J.L.; SAUNDERS, A.M.; KONG, Y.; HANSEN, A.A.; VOLLERTSEN, J.A.
-

Conceptual ecosystem model of microbial communities in enhanced biological phosphorus removal plants. **Water Research**. v.44. p. 5070-5088. 2010.