

ESTUDO DO PADRÃO DE ROMPIMENTO E DA FORÇA DE DESLIGAMENTO DOS FILAMENTOS DO BISSO DO *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) EM DIFERENTES TIPOS DE SUBSTRATOS¹

Madrith Sthel Costa Duarte²
Claudia Lauria Froes³
Gislene Custódio⁴
José Roberto Tavares Branco⁵

Resumo

O *Limnoperna fortunei* é um molusco bivalve invasor que tem causado prejuízos a sistemas de captação de água e usinas hidroelétricas. Sua presença já foi registrada nas bacias dos rios Paraná, Paraguai, Uruguai e Lago Guaíba. Neste trabalho, estudou-se a força de desligamento e o padrão de rompimento dos filamentos do bisso do *L. fortunei* em três tipos de substratos: cobre, vidro e teflon. O cobre provocou efeito letal em 100% dos mexilhões. A maior parte dos filamentos do bisso analisados se despreendeu dos substratos (vidro e teflon) por rompimento. A falha adesiva ocorreu em 20% dos filamentos que estavam aderidos ao teflon. Os filamentos do bisso aderidos ao vidro e ao teflon romperam em duas regiões distintas: X e Y. Quanto aos tipos de rompimento foram observados dois padrões distintos: superfície estirada de ruptura tipo estricção e superfície plana de ruptura transversal. A região de rompimento dos filamentos do bisso pode estar relacionada com as características estruturais das regiões X e Y não com o tipo de substrato. O substrato parece influenciar os tipos de rompimento e a força de desligamento. Esta apresentou maior valor para os mexilhões aderidos ao vidro em relação ao teflon.

Palavras chave: Bisso; Mexilhão dourado; Padrão de rompimento; Força de desligamento.

STUDY OF THE PATTERN OF DISRUPTION AND DETACHMENT FORCE OF THE BYSSUS FILAMENTS *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) IN DIFFERENT TYPES OF SUBSTRATES

Abstract

The *Limnoperna fortunei* is a freshwater bivalve invader that has caused damage to water catchment systems and hydroelectric plants. His presence has already been recorded in the basins of the rivers Parana, Paraguay, Uruguay and Guaíba Lake. In this present work, was conducted a study about the detachment force and pattern of disruption of the byssus filaments on different substrates. Three types of materials were selected (copper, teflon and glass). Copper had a lethal effect on a 100% of the tested mussels. The adhesive failure occurred only in the Teflon. The byssus filaments adhered to glass and teflon disrupted in two distinct regions: X (next to the body) and Y (away/far from the body). Also there were observed, on these filaments, two distinct types of disruption: stretched surface rupture and flat surface transverse rupture. The region of disruption of the filaments of byssus seems related to the structural characteristics of regions X (next to the body) e Y (away/far from the body) and not with the type of substrate. The substrate appears to influence the kinds of disruption and detachment force. This presents a greater value for the mussels attached to glass compared to Teflon.

Key words: Bysus; Disrupture pattern; Golden mussel; Detachment force.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Química (Mestranda Engenharia de Materiais). Professora Centro Universitário UNA.

³ Bióloga (Mestranda Engenharia de Materiais). Mestranda Cetec.

⁴ Química (Doutora Engenharia de Materiais). Doutora Cetec.

⁵ Engenheiro Metalurgico (Engenharia de Materiais). Pós Doutor Cetec.

1 INTRODUÇÃO

O *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) é um molusco bivalve invasor conhecido como mexilhão dourado, adapta-se facilmente a diferentes tipos de habitats.⁽¹⁾ Dentre os impactos ambientais e econômicos causados pelo *L. fortunei* destacam-se o efeito sobre a comunidade fitoplanctônica e a ciclagem de nutrientes, a competição com outros animais nativos que se alimentam de partículas em suspensão, a obstrução das tubulações de estações de tratamento, reservatórios e barragens, além de outras estruturas que são muito prejudicadas pelo crescimento descontrolado do mexilhão dourado.^(1,2) O *Limnoperna fortunei* produz fios de bisso que possibilitam a macroaglomeração sobre substratos duros.⁽³⁾ Os mexilhões se fixam aos substratos, secretando, sobre suas superfícies, os filamentos do bisso, produzidos a partir de glândulas localizadas no pé do organismo. Esses filamentos constituem-se, principalmente, de colágeno, mas contêm polifenólicos hidrófilos, que são proteínas adesivas, entre as quais ocorre ligação cruzada por reação de oxidação-redução, envolvendo um catalisador de polifenol-oxidase.⁽⁴⁾

O bisso produzido pelo *L. fortunei* permite sua aderência a uma grande variedade de substratos rígidos. A força de desligamento dos mexilhões ao substrato pode estar relacionada a uma variedade de características próprias ao tipo de substrato incluindo a energia livre de superfície. A literatura sugere uma relação entre força de desligamento e energia livre de superfície, indicando-se que, quanto mais baixa a energia livre de superfície do substrato, menor a força de desligamento do *L. fortunei*, sendo que o organismo se liga, fortemente, às superfícies polares e, fracamente, às superfícies não polares.⁽⁵⁾ Com isso, o padrão de rompimento dos filamentos do bisso também poderá variar de acordo com as características de cada material já que a ligação do bisso aos materiais tende a ser menor em substratos com baixa densidade de pontes de hidrogênio e energia livre de superfície, como é o caso do teflon, se destacando assim mais comumente por falhas adesivas. Por outro lado, o bisso tende a se aderir fortemente em superfícies com alta densidade de pontes de hidrogênio e energia superficial como é o caso do cobre e do vidro. Neste tipo de superfície verifica-se a tendência de que o molusco se desligue preponderantemente com a quebra dos fios de bissos.⁽⁵⁾

Diversas pesquisas têm sido realizadas no intuito de investigar materiais e revestimentos, com base na engenharia de superfícies, com potencial de utilização no controle das incrustações do mexilhão dourado em plantas industriais, principalmente em unidades geradoras de energia.⁽⁶⁾

Este trabalho tem como objetivo compreender os padrões de rompimento dos filamentos do bisso em três tipos de materiais com diferentes naturezas químicas e diferentes valores de energia livre de superfície como vidro, cobre e teflon, obtendo-se assim uma melhor compreensão das propriedades físicas e químicas da superfície dos substratos que possam influenciar ou não a fixação do *L. fortunei* e, conseqüentemente, auxiliar no desenvolvimento de tecnologias para o controle desta espécie invasora.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta e Preparo dos Indivíduos

Os exemplares do *Limnoperna fortunei* foram coletados nos estados de São Paulo (reservatórios de Jupia e Porto Primavera) e Rio Grande do Sul (rio Guaíba,

Porto Alegre), e posteriormente mantidos em laboratório. Por se tratar de uma espécie invasora, foram seguidas as normas de biossegurança estabelecidas.⁽⁷⁾

Os mexilhões foram colocados em aquários de 20L, em média 500 indivíduos por aquário, com água decolorada e aeração contínua. A temperatura média da água dos aquários foi de 25°C. A água dos aquários foi trocada três vezes por semana, onde se retirava metade da água de cada aquário, renovando a mesma gradativamente. Organismos mortos eram retirados diariamente.

A alimentação foi fornecida diariamente, sendo utilizado alimento à base da alga *Selenastrum capricornutum* (Printz, 1914) e ração de peixe com teor protéico maior que 40% dissolvida em água destilada. A quantidade de alimento foi definida através de testes realizados em laboratório levando-se em consideração a densidade de mexilhões em cada aquário, onde foi fornecido 100 ml do alimento a base de alga e 50 ml da ração de peixe com teor protéico maior que 40%.

Foram selecionados para os ensaios os mexilhões bissados, com concha intacta e que respondiam a estímulos externos. O tamanho médio dos mexilhões foi de 2,0 cm.

Foram selecionados 100 indivíduos por material testado. Estes foram transferidos para 3 outros aquários testes com medidas: 58x 27x 29cm. A base dos aquários foi revestida com placas de 8x3cm de cada material testado perfazendo uma área de 1,7 m². Foi mantida uma proporção de 2 litros de água decolorada para cada 10 organismos. O primeiro aquário teve sua base recoberta com placas de cobre, o segundo por placas vidro e o terceiro por placas de teflon. Os indivíduos permaneceram nestes aquários testes por 45 dias.

O experimento foi mantido sob aeração e fluxo de água contínuo. Para a geração do fluxo de água foi utilizada uma bomba d'água submersível para aquário (Submersible pump) da marca Resun SP-980, com velocidade do fluxo de 550L/H. Esta bomba foi colocada na porção superior do aquário, no limite com a superfície. O fluxo de água foi utilizado a fim de se aproximar o teste à realidade ambiental dos organismos.

2.2 Seleção e Preparo dos Substratos

Os materiais foram selecionados levando-se em conta as diferenças em suas propriedades, como energia livre de superfície. Foram escolhidos três tipos de materiais:

- um polimérico: politetrafluoretileno – PTFE, conhecido como teflon – com energia livre de superfície de 19,5 mJ/m² segundo Faria;⁽⁸⁾
- um material cerâmico: vidro - com energia livre de superfície de 160,3mJ/m² segundo Faria;⁽⁸⁾
- um metálico: cobre - com energia livre de superfície de 177mJ/m² segundo Müller.⁽⁹⁾

As amostras citadas receberam tratamento padrão adotado por Faria⁸, que consiste em lavagem em solução de surfactante 2% e enxágue em banho ultrassônico com acetona. Antes da colocação em aquários para o teste cada material recebeu limpeza com álcool 70% e enxágue em água destilada.

2.3 Ensaios de Tração

Foi realizado levantamento sobre equipamento capaz de realizar medidas de tração e compressão com carga máxima de avaliação em 3 Kgf que atendesse a

necessidade de ensaio para o estudo de força de desligamento de organismos bivalves. Devido ao alto custo de aquisição e adequação as normas de segurança foram seguidos procedimentos segundo Campos⁷ para adaptação de equipamento de análise de tração.

O equipamento é constituído por uma bandeja móvel com velocidade controlável por um inversor de frequência, transdutor de força acoplado ao sistema com instrumentação eletrônica para indicação de pesagem, garra para fixação do organismo e fio metálico para acoplamento garra-transdutor de força (Figura 1).

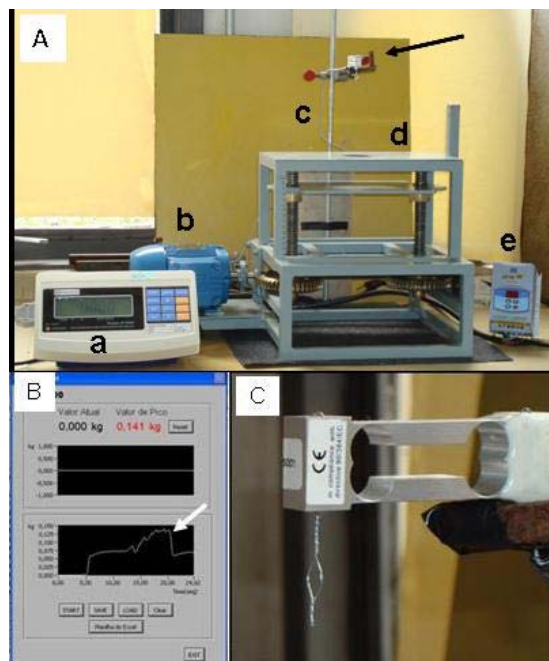


Figura 1: Equipamento de tração para medida da força de desligamento do *Limnoperna fortunei*: a- Indicador de pesagem; b- motor; c- suporte para fixação do transdutor de força (seta contínua); d- suporte com bandeja móvel; e- inversor de frequência para controle de velocidade da bandeja móvel. B- Registro gráfico da força durante o desligamento do organismo ao material e o pico no momento do arrancamento (seta contínua). C- Detalhe do transdutor de força do equipamento de tração.

A estrutura metálica é constituída de suporte fixo onde apenas a bandeja é movimentada a velocidade controlada. A bandeja permite a fixação do material em estudo com o organismo aderido.

Garra apropriada para fixação do organismo é ligada ao transdutor de força por fio metálico. Os transdutores de força selecionados são da marca HBM, modelo PW4KC3, e apresentam capacidade máxima de leitura nas faixas de 2,94N, 4,90N e 29,42N. Os transdutores de força foram certificados no Laboratório Isaac Newton do Setor de Teste Físicos/CETEC, por meio de calibração a compressão segundo ASTM E 74-06 e Norma do Sistema de Qualidade CETEC NSQC 1102.

Software foi desenvolvido no Setor de Materiais Óticos e Eletrônicos/CETEC para aquisição de dados força em relação a tempo.

Para os ensaios com o organismo as placas de teflon, vidro e cobre contendo exemplares de mexilhão dourado aderidos por 45 dias foram retiradas dos aquários. Estas foram secas com papel toalha e fixadas na bandeja do equipamento de tração. Os filamentos de bissos tracionados aderidos as placas de cada material teste foram analisados em seguida através de microscopia óptica.

2.4 Análise dos Bissos Rompidos (Padrão de Rompimento)

As regiões de possível rompimento foram definidas a partir de observações morfológicas e características dos filamentos do bisso encontradas na literatura. Para este estudo foram consideradas duas regiões de possível rompimento: região distante do corpo, região do filamento bisso com comprimento de até 400 μm a partir da placa bissal (Y) e região próxima ao corpo (X), comprimento superior a 400 μm (Figura 2). O tipo de rompimento foi definido durante a observação microscópica dos filamentos.

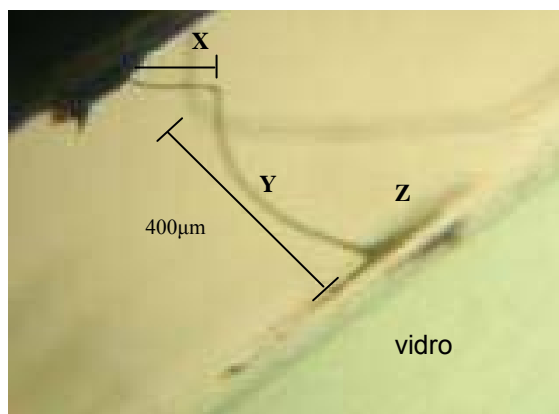


Figura 2: Fotomicrografia de um filamento de bisso aderido a uma lâmina de vidro (magnitude 100x). X – Região próxima ao corpo; Y – Região distante do corpo; Z – Placa bissal aderida ao vidro.

2.5 Análise Estatística

Foram analisados 100 filamentos de bisso tracionados para cada material testado independente do animal que o produziu com o intuito de se conhecer o comportamento mecânico destes filamentos quando submetidos a forças de tração.

A análise estatística dos resultados do padrão de rompimento e da força de desligamento dos filamentos do bisso aos materiais testados foi realizada através de testes não paramétricos com um baixo valor de n. Utilizou-se o teste U de Mann-Whitney para as comparações entre dois grupos independentes e correlação de Spearman entre grupos. Todas as análises foram feitas utilizando-se nível de significância $\alpha \leq 0,05$. O programa estatístico utilizado foi o Statistica program for windows, version 7, Statsoft, Inc. EUA. 1984 – 2004.

3 RESULTADOS

Entre os materiais testados nos ensaios de tração, somente o cobre demonstrou ser tóxico aos mexilhões (100% de efeito letal sobre os organismos testados).

3.1 Força de Desligamento

Durante os ensaios de tração, os filamentos de bissos tracionados sofreram uma deformação média no estiramento entre 20% e 50% linearmente à tensão aplicada até o momento da ruptura (Figura 3).



Figura 3- Filamentos do bisso de um exemplar de mexilhão dourado aderido a uma lâmina de vidro sendo estirados quando submetidos ao ensaio de tração.

As informações de força de desligamento para os materiais segundo análise estatística descritiva se encontram na Tabela 1.

Tabela 1- Resultados de teste de tração em materiais

Substrato	Força de desligamento (N)		Número de bissos secretados	
	Média	Desvio	Média	Desvio
Vidro	2,53	1,64	17,89	9,69
Teflon	1,77	0,91	15,30	1,27

No teste de normalidade (distribution fitting) se verificou assimetria para os dados de força de desligamento dos organismos em Teflon, $p= 0,000$, e em vidro, $p= 0,007$ ($p < 0,05$ diferença significativa). Para os dados de filamentos de bissos observou-se simetria em relação ao teste de normalidade tanto para Teflon, $p= 0,168$, quanto para vidro, $p= 0,063$ ($p > 0,05$ não há diferença significativa). Os resultados estatísticos podem ser visualizados na Tabela 2 e ainda na Figura 6.

Tabela 2. Resultados de Teste U de Mann-Whitney para comparação de material em vidro e Teflon

Material	Força de desligamento	Nº de filamentos de bissos
Vidro	Houve diferença significativa	Não há diferença significativa
Teflon	$p= 0,000$	$p= 0,076$

De acordo com análise estatística houve diferença significativa em relação à força de desligamento entre os materiais testados onde os filamentos aderidos ao vidro apresentaram maior valor (Figura 4).

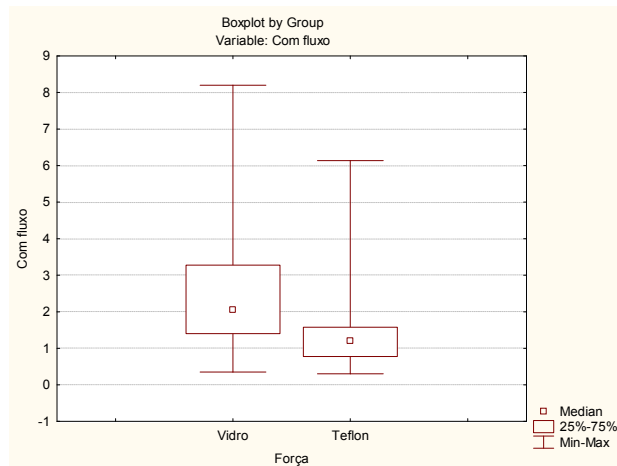


Figura 4: Comparação entre força de desligamento em materiais, vidro e teflon.

3.2 Padrão de Rompimento

No teflon, 80% dos filamentos do bisso analisados se desprenderam do substrato por rompimento. O restante, 20%, se desprende do substrato através de falha adesiva, ou seja, descolamento da placa bissal do substrato (Figura 5). No vidro 100% dos filamentos analisados se desprenderam dos substratos testados por rompimento.

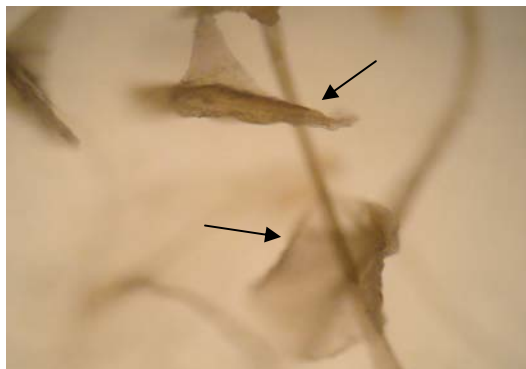


Figura 5: Foto micrografia (magnitude 400x) de duas placas bissais (setas) que se descolaram do substrato teflon durante os ensaios de tração.

Os filamentos dos bissos rompidos analisados romperam em duas regiões distintas, X, próxima ao corpo ($> 400 \mu\text{m}$) (Figura 8 A) e Y, distante do corpo ($< 400 \mu\text{m}$) (Figura 6 B).

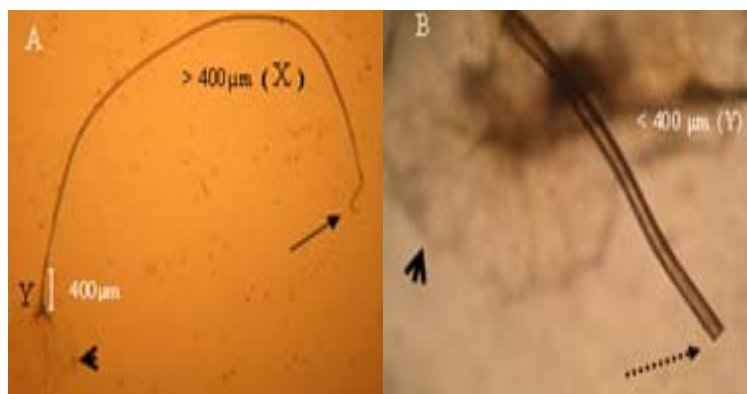


Figura 6: Fotomicrografia de filamentos do bisso do mexilhão *Limnoperna fortunei* rompidos após ensaio de tração. A (magnitude 100x) – Filamentos do bisso aderidos a um substrato através da placa bissal ou placa adesiva (cabeça de seta) que apresentaram rompimento na região X (seta contínua). B (magnitude 400x) – Filamento do bisso com rompimento na região Y (seta tracejada) e placa bissal (cabeça de seta).

O resultado da ocorrência das regiões de rompimento dos filamentos do bisso do *Limnoperna fortunei* está apresentado na Figura 7. Foi observado uma maior ocorrência de rompimentos na região X dos filamentos, tanto para o vidro (95%) quanto para o teflon (80%).

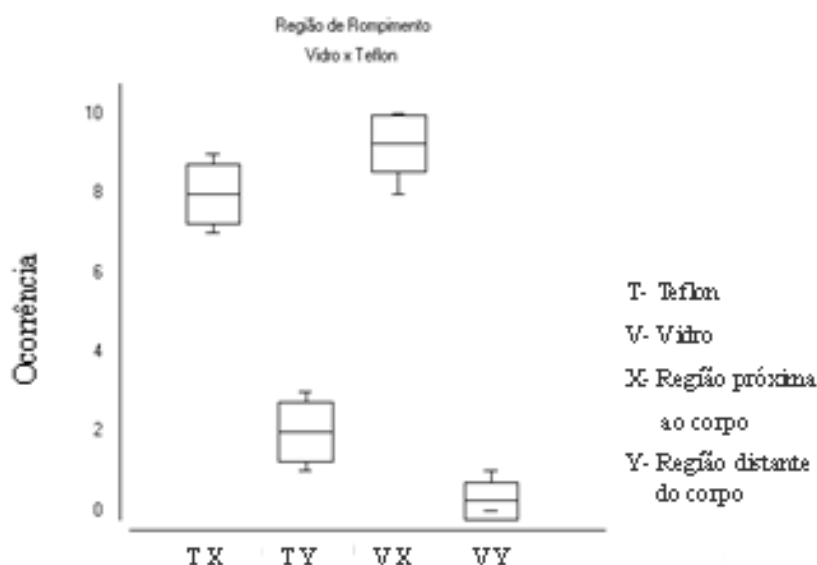


Figura 7: Ocorrência das regiões de rompimento dos filamentos do bisso do *Limnoperna fortunei* para o vidro e para o teflon.

Os filamentos do bisso tracionados apresentaram também dois tipos de rompimento: superfície plana de ruptura transversal (Figura 8 - A e B) e superfície estirada de ruptura tipo estrição (Figura 8 - C e D).

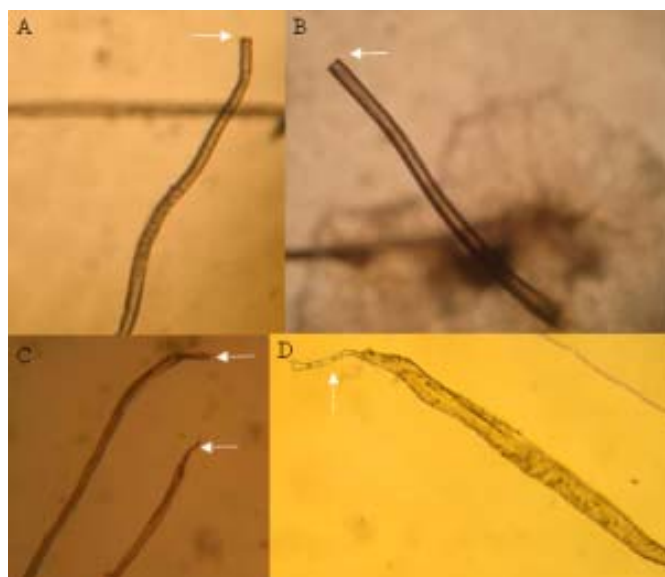


Figura 8: Fotomicrografia de filamentos de bisso (magnitude 400x) após ensaios de tração, com diferentes tipos de rompimento. A e B – Tipos de rompimento: superfície plana de ruptura transversal (setas). C e D – Tipos de rompimento: superfície estirada de ruptura tipo estrição (setas).

A Figura 9 mostra o resultado da ocorrência dos dois tipos de rompimento dos filamentos de bisso para o vidro e o teflon. Foi observada uma prevalência do tipo superfície plana de ruptura transversal para os filamentos que estavam aderidos ao vidro (56%) quando comparados ao teflon (30%). Quanto ao rompimento superfície estirada de ruptura tipo estrição observou-se uma maior ocorrência no teflon (70%) em relação ao vidro (44%).

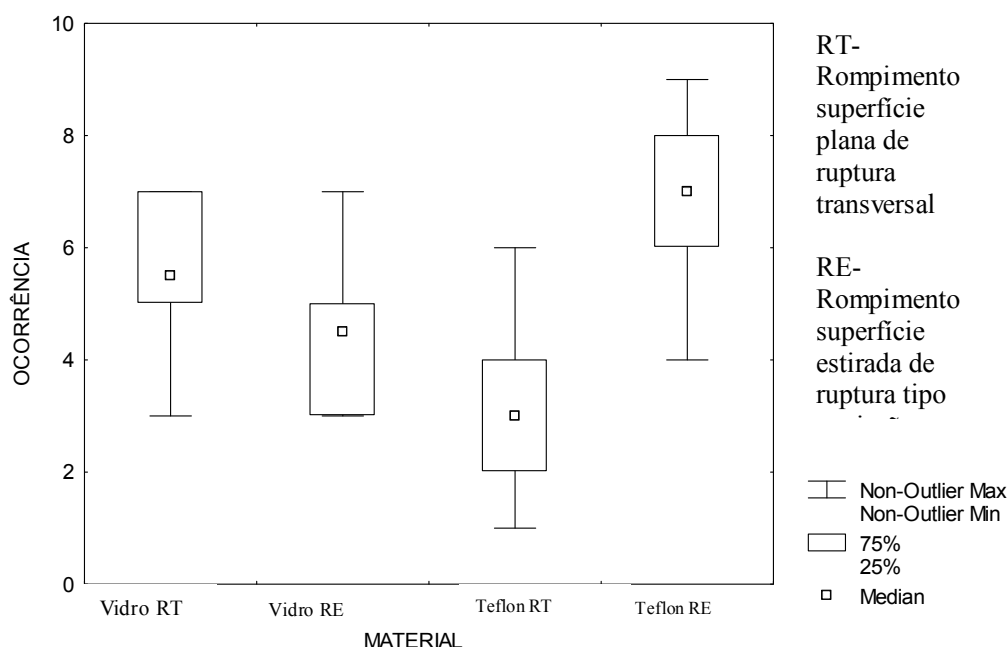


Figura 9: Ocorrência dos tipos de rompimento (superfície plana de ruptura transversal e superfície estirada de ruptura tipo estrição) dos filamentos de bisso do *Limnoperna fortunei* para o vidro e para o teflon.

4 DISCUSSÃO

Segundo Matsui et al.⁽⁵⁾ e confirmado por Faria,⁽¹⁰⁾ os filamentos do bisso tendem a se aderir fortemente a superfícies com alta energia livre superficial gerando uma maior força de desligamento. Dados obtidos por estes pesquisadores podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3 Dados obtidos em experimentos com mexilhão dourado por diferentes pesquisadores

Autor	Matsui et al.⁽⁵⁾		Faria⁽¹⁰⁾
Substrato	Força Média de desligamento (N)	Número Médio de fios de Bissos Secretados	Força Média de desligamento (N)
Vidro	1,49	32,2	0,490
Teflon	0,12	14,7	0,198

Nota-se que a diferença entre os valores de força de desligamento dos organismos para os mesmos tipos de substratos testados encontrados pelos autores citados acima e dados da Tabela 1 pode estar relacionada a variáveis utilizadas no ensaio, como: tempo de adesão dos organismos, presença de fluxo de água, estado do substrato e equipamento de medida de força de desligamento.

Nos ensaios realizados por Matsui et al.⁽⁵⁾ mexilhões coletados em rio e mantidos em laboratório para nova adesão em sistema estático aos materiais de estudo por um período de 7 dias apresentavam tamanho de concha entre 2-3cm saudáveis e respondendo a estímulos externos. O equipamento utilizado para ensaios de tração foi o EZ Test 20N, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão.

No trabalho de Faria,⁽¹⁰⁾ as condições de ensaio seguidas foram semelhantes ao de Matsui et al.⁽⁵⁾ onde segundo Faria⁽¹⁰⁾ os organismos foram presos aos materiais testados por um barbante para forçar a fixação dos organismos. O teste teve duração de 7 dias, onde as medições da força de desligamento foram realizadas manualmente com aparato envolvendo fio metálico, garra e balança.

A força de desligamento observada neste trabalho muito superior ao trabalho de Matsui et al.⁽⁵⁾ para teflon pode estar relacionada ao tempo de adesão e fluxo de água. Apesar da quantidade de fios de bissos ser semelhante sugere-se que a maior força observada pode ser devido a um maior número de interações de hidrogênio entre placa bissal e substrato.

Maior força de desligamento também se observa no presente trabalho para o vidro em relação ao estudo de Matsui et al.⁽⁵⁾ apesar de um menor valor de número de filamentos de bissos. Estes dados sugerem, assim como para o teflon, que a adesão mais forte via ligações químicas independem do número de filamentos secretados. O método dinâmico, via fluxo de água, pode ter colaborado para melhor adesão do organismo neste material.

Em materiais com alta energia livre de superfície verifica-se a tendência de que o molusco se desligue preponderantemente com o rompimento dos fios dos bissos⁵. Este fato foi observado nos ensaios realizados onde os filamentos do bisso aderidos ao vidro, energia livre de superfície maior que a do teflon, onde todos os filamentos romperam após os ensaios de tração.

De acordo com Matsui et al.⁽⁵⁾ a ligação dos filamentos do bisso aos materiais tende a ser menor em substratos com baixa energia livre de superfície se desprendendo assim mais comumente por falhas adesivas. Este fato explica a ocorrência da falha adesiva somente nos filamentos que estavam aderidos ao teflon. Devido à baixa energia livre superficial deste material era esperado um número mais

expressivo de falhas adesivas. Porém, os experimentos foram realizados sobre a influência de um fluxo contínuo de água, o que pode ter induzido os mexilhões a produzirem filamentos de bisso mais resistentes. De acordo com Carrington,⁽¹¹⁾ os mexilhões podem detectar e responder as mudanças de fluxo da água em seu ambiente, produzindo um bisso mais forte que resista a elas.

A força de desligamento pode estar associada à ocorrência da falha adesiva observada nos filamentos que estavam aderidos ao teflon o que não aconteceu para o vidro.

De acordo com a Figura 7 a grande maioria dos filamentos dos bissos analisados, tanto no vidro quanto no teflon, romperam na região X, próxima ao corpo. Quando comparamos os filamentos com rompimento na região X que estavam aderidos ao vidro com os que estavam aderidos ao teflon o valor de p foi igual a 1,000. Já para a comparação entre os filamentos com rompimento na região Y para esses mesmos materiais o valor de p foi igual a 0,658. Conclui-se então, de acordo com a análise estatística, que não ocorreu diferença significativa de um material para o outro em relação à região de rompimento dos filamentos do bisso, onde esta parece estar relacionada com as características estruturais das regiões X e Y e não com o tipo de substrato.

Foi observado nos filamentos do bisso com rompimento na região X que estavam aderidos ao vidro e ao teflon que nesta região do filamento, ocorre estiramento antes do rompimento. Este fato está de acordo com Wiegemann⁽¹²⁾ que afirma ser a região proximal (X) mais elástica que a distal (Y), sofrendo estiramento quando submetida a forças de tração.

Já os filamentos tracionados, que romperam na região Y, no vidro e no teflon, não sofreram estiramento antes do rompimento. Isto mostra que as duas regiões apresentam comportamentos mecânicos diferentes: uma sofre estiramento antes do rompimento e a outra não. Fato que pode estar ligado às diferenças estruturais de cada região do filamento, onde segundo Carrington,⁽¹¹⁾ a região Y, distante do corpo, é mais dura, formada por fibras de colágeno densamente empacotadas, mais forte e menos extensa do que a região proximal considerada um material compósito, com fibras de colágeno reforçando uma matriz protéica macia.

Ao se comparar os dois materiais em relação ao tipo de rompimento, pode-se inferir após análise estatística que houve diferença significativa de um material para o outro em relação ao tipo de rompimento. No vidro, a quantidade de filamentos com rompimento do tipo superfície plana de ruptura transversal foi maior que no teflon ($p= 0,003$). Já a quantidade de filamentos de bissos com rompimento do tipo superfície estirada de ruptura tipo estrição foi maior no teflon do que no vidro ($p= 0,003$).

O tipo de rompimento variou de um material para o outro. Esta variação pode ser devida a valores distintos da energia livre de superfície entre os dois materiais testados fato que pode ter influenciado no processo de formação dos filamentos do bisso podendo assim alterar as suas propriedades mecânicas. Esta alteração nas propriedades mecânicas dos filamentos pode acarretar em diferenças em relação ao tipo de rompimento.

O comportamento da região X em relação ao tipo de rompimento foi diferente no vidro e no teflon. Este fato pode ser devido a alta energia livre de superfície do vidro que pode ter influenciado no processo de formação dos filamentos do bisso. Em relação ao tipo de rompimento, a região X parece sofrer influência do substrato, diferentemente do observado na região Y.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que o cobre provocou efeito letal em 100% dos mexilhões testados.

A força de desligamento maior foi observada para o vidro em relação ao teflon onde pode-se observar presença de falha adesiva. Em materiais com alta energia livre de superfície verifica-se a tendência de que o molusco se desligue preponderantemente com o rompimento dos fios dos bissos.

Em relação ao padrão de rompimento, os filamentos do bisso romperam em duas regiões distintas (X e Y). Houve uma predominância de rompimento na região X dos filamentos de bisso que estavam aderidos ao vidro e ao teflon em relação ao rompimento Y destes filamentos para os mesmos substratos. A região de rompimento, X ou Y, parece estar relacionada com as suas características estruturais e não com o tipo de substrato.

Foram observados dois tipos de rompimento distintos nos filamentos que estavam aderidos ao vidro e ao teflon: superfície estirada de ruptura tipo estrição e superfície plana de ruptura transversal.

O tipo de rompimento variou de um material para o outro. Esta variação pode ser devida a valores distintos da energia livre de superfície entre os dois materiais testados fato que pode ter influenciado no processo de formação dos filamentos do bisso podendo assim alterar as suas propriedades mecânicas. Esta alteração nas propriedades mecânicas dos filamentos pode acarretar em diferenças em relação ao tipo de rompimento.

Agradecimentos

Ao CETEC e IEAPM.

REFERÊNCIAS

- 1 DARRIGRAN, G.; PASTORINO, G. The recent introduction of a freshwater Asiatic bivalve, *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) into South America. **Veliger**, Santa Barbara, v. 38, n. 2, p. 171-175, 1995.
- 2 DARRIGRAN, G.; DRAGO, I. E. Invasion of the exotic freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1876) (Bivalvia: Mytilidae) in South America. **Nautilus**, Sanibel, v. 114, n. 2, p. 69-73, 2000.
- 3 MANSUR, M. C. D.; PEREIRA, D. Bivalves límnicos da bacia do rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, Brasil (Bivalvia, Unionoidea, Veneroidea e Mytiloidea). **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 23, n 4, p. 1123-1147, 2006.
- 4 BRADY, R. F. JR. A fracture mechanical analysis of fouling release from nontoxic antifouling coatings. **Progress in Organic Coatings**, Washington, v. 43, p. 188-192, 2001.
- 5 MATSUI, Y.; NAGAYA, K.; YUASA, A.; NARUTO, H.; YAMAMOTO, H.; OHKAWA, K.; MAGARA, Y. Attachment strength of *Limnoperna fortunei* on substrates, and their surface properties. **Biofouling**, Londres, v. 17, n. 1, p. 29-39, 2001.

- 6 BERGMANN, C.P; MANSUR, M.C.D; PEREIRA, D; BERGONCI, P.E.A; SANTOS, C.P. dos; BASEGIO, T; VICENZI, J; SANTOS, S.C.A.. Avaliação de materiais e revestimentos para controle de incrustações do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857). **Revista Biotemas**. Florianópolis, v.23, n.02, p.87-100, 2010.
- 7 CAMPOS, M.C.S.; RUCKERT, G.; ROLLA, M.E. Nota sobre procedimento de segurança no cultivo e manutenção de *Limnoperna fortunei* (Dunker,1857) em laboratório. In: IX Congresso Brasileiro de Liminologia, Juiz de Fora, 2003.
- 8 FARIA, E. A.; BRANCO, J. R. T.; CAMPOS, M. C. S.; OLIVEIRA, M. D.; ROLLA, M. E.. Estudo das características antiincrustantes de materiais. **Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, v.59, n.01, p.233-238, 2006.
- 9 MÜLLER, A. **Solidificação e análise térmica dos metais**. 1^a ed. Porto Alegre. Editora UFRGS, 2002. 278 p.
- 10 FARIA, E. A. **Caracterização de superfícies anti-incrustantes para o *Limnoperna fortunei*- mexilhão dourado**. 2005. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) -Universidade Federal de Ouro Preto.
- 11 CARRINGTON, E. The ecomechanics of mussel attachment: from molecules to ecosystems. In: ANNUAL MEETING OF THE SOCIETY FOR COMPARATIVE AND INTEGRATIVE BIOLOGY, 42., 2002, Anaheim. **Anais...** Anaheim: SICB, 2002. p. 846-852.
- 12 WIEGEMANN, M. Adhesion in blue mussels (*Mytilus edulis*) and barnacles (genus *Balanus*): Mechanisms and technical applications. **Aquatic Sciences**, Bremen, v. 67, p. 166-176, 2005.