

Estabelecimento da Operativa de um Mecanismo de Transposição de Peixes do Tipo Elevador com Caminhão-Tanque

Paulo dos Santos Pompeu, Carlos Barreira Martínez

Centro de Pesquisas Hidráulicas – UFMG

pompeups@uai.com.br

Recebido: 26/04/05 revisado: 19/07/05 aceito: 15/08/05

RESUMO

Nos mecanismos de transposição de peixes é necessária a adução de uma vazão variável de água, que é utilizada para atrair os cardumes para a entrada do sistema. Tal procedimento acarreta uma redução no volume de água disponível para a geração da Usina Hidrelétrica. Neste trabalho avalia-se a possibilidade de estabelecimento de uma regra operativa de um elevador para peixes, em que se maximize o número de exemplares transpostos e minimize o uso de água. Desta forma, acompanhou-se a operação do mecanismo de transposição de peixes do elevador com caminhão-tanque, instalado na UHE Santa Clara, entre os dias 19 de novembro de 2003 e 19 de março de 2004. A partir dos resultados levantados, duas alternativas puderam ser propostas: a priorização de ciclos de transposição durante o dia, com a realização de operações noturnas somente em dias chuvosos e a operação do mecanismo em períodos de maior vazão. Comparado com o tipo de operação atual, a alternativa proposta poderia representar acréscimo de até 35 % no número de indivíduos de espécies migradoras transpostos, bem como uma economia em valor presente de até R\$ 547.000,00, considerando-se taxas de juros anuais de 8% e vida útil do empreendimento de 30 anos.

Palavras-chave: transposição de peixes, vazão variável.

INTRODUÇÃO

A reprodução representa um dos aspectos mais importantes da biologia de uma espécie, visto que de seu sucesso depende a manutenção, em longo prazo, de populações viáveis. Migração reprodutiva ou “*piracema*”, termo mais utilizado no Brasil, é um importante fator do ciclo reprodutivo de muitas espécies de peixes (Petrere, 1985; Welcomme, 1985). Nas últimas décadas, a intensificação do uso de cursos d’água pelo homem tem contribuído substancialmente com alterações que afetam adversamente este processo. Deste modo, em diversos rios tem sido detectada diminuição de estoques pesqueiros, atribuída, entre outros fatores, a falhas no recrutamento por interrupção da migração dos peixes (Godinho & Godinho, 1994).

Entre os empreendimentos que afetam a migração, destacam-se as barragens, estando incluídas entre estas, as destinadas à formação de reservatórios de usinas hidrelétricas.

Muitas alternativas para minimizar os efeitos adversos dos barramentos sobre a migração dos

peixes têm sido propostas e implementadas. Entretanto, este é um processo complexo que exige estratégias integradas entre diversas áreas e profissionais, em especial, biólogos e engenheiros.

Entre as estratégias empregadas para atenuar os efeitos do bloqueio exercido por barramentos na migração dos peixes está a construção de mecanismos de transposição, estruturas hidráulicas que têm como objetivo principal permitir a subida e/ou descida dos peixes. A Legislação recente de alguns estados (p.e. Minas Gerais, 1997) tem tornado obrigatória sua construção em barragens, incluídas as destinadas à formação de reservatórios de Usinas Hidrelétricas.

Estruturas para transposição de peixes têm uma história relativamente longa, com os mais antigos registros datando de mais de 300 anos atrás, na Europa. No Brasil, têm sido objeto de atenção de técnicos e outras pessoas interessadas desde 1911, com a construção da primeira escada para peixes na barragem da Usina de Itaipava, no rio Pardo, estado de São Paulo.

São, essencialmente, condutos de água, através ou por volta de um obstáculo, que dissipam a

energia hidráulica de maneira a permitir que o peixe possa subi-lo sem excessivo estresse (Clay, 1995). São considerados mecanismos de transposição de peixes as escadas, eclusas e elevadores.

A escada para peixe, mecanismo de transposição mais popular e mais utilizado em todo o mundo, consiste em uma série de tanques em degraus comunicando o trecho de montante com o de jusante, com água passando de tanque para tanque (Clay, 1995). Os peixes sobem a escada pulando ou nadando através dos tanques.

O funcionamento de eclusas é bastante parecido com o daquelas construídas para navios. Tais mecanismos consistem basicamente em câmaras que são fechadas após a entrada do peixe, onde o nível da água é aumentado através de uma canalização de adução interna. Para a saída do peixe da câmara, são criadas correntes descendentes dentro da mesma que posteriormente são quebradas com a abertura da comporta de montante.

Elevadores para peixes são sistemas mecânicos no qual o peixe é capturado em um tanque apropriadamente dimensionado e localizado na base da barragem, sendo o mesmo posteriormente elevado e aberto a montante, permitindo a saída dos peixes em direção ao reservatório.

É possível encontrar ainda uma variante desse mecanismo, conhecida como elevador tipo caminhão-tanque. Nesse sistema, o peixe após ser capturado é conduzido a um tanque de um caminhão apropriado que fará o deslocamento de jusante para montante da barragem (Clay, 1995). Estes mecanismos tem sido utilizados como sistemas temporários ou permanentes, seja durante ou após a construção dos barramentos (Bengeyfield, *et al.*, 2001).

O funcionamento de um elevador com caminhão-tanque pode ser entendido através do detalhamento das diferentes etapas que caracterizam um ciclo de transposição:

- as espécies migradoras são atraídas através de um fluxo de água para o interior do elevador;
- após entrar no elevador, um sistema de grades aprisiona os peixes sobre uma caçamba submersa;
- a caçamba é içada e direcionada sobre um caminhão-tanque;
- os peixes são transferidos da caçamba para o tanque, que então os transporta até o local de liberação a montante.

A maior vantagem de um sistema do tipo elevador com caminhão-tanque consiste na sua versatilidade com relação ao local de liberação dos indivíduos transpostos, o que o torna bastante apropriado para algumas situações (Pompeu & Martinez, 2003).

Em rios com barramentos em cascata, o elevador com caminhão-tanque permite que os peixes sejam capturados junto à barragem de jusante e transportados diretamente para o reservatório de montante. Desta maneira, evita-se que sejam efetuadas sucessivas transposições, ou que sejam construídos diversos mecanismos.

A maior flexibilidade do sistema também é o motivo pelo qual este tipo de mecanismo se aplica em barramentos que apresentam a casa de força distante da barragem. Quando a probabilidade de vertimentos é pequena mesmo nos períodos de maior precipitação, situação comum em pequenas centrais hidrelétricas, a eficiência de um mecanismo de transposição instalado junto à barragem fica comprometida, já que os peixes freqüentemente têm dificuldade em alcançá-lo. Nestes casos, o mecanismo do tipo elevador com caminhão-tanque permite que os peixes sejam atraídos e capturados junto à casa de força, local onde geralmente são observadas concentrações dos cardumes, e transportados até o reservatório.

Os mecanismos do tipo elevador apresentam, no entanto, duas desvantagens com relação às escadas para peixes, que são mais acentuadas no caso da utilização de caminhões-tanque. Este tipo de mecanismo apresenta custo de operação mais elevado, por demandar um maior número de operadores e manutenção de equipamentos mais complexa. Além disto, mecanismos desta natureza têm suscitado desconfiância por parte da sociedade com relação a efetividade de sua operação por parte do empreendedor (Pompeu & Martinez, 2003).

Para qualquer tipo de mecanismo de transposição de peixes é necessária a adução de vazão variável de água que é utilizada para atrair os cardumes para a entrada do sistema (Clay, 1995). Durante períodos de menor disponibilidade hídrica, sem vertimentos pela barragem, esta vazão impõe perdas energéticas ao empreendimento.

Assim, quando comparados com escadas para peixes, elevadores também apresentam como vantagem a possibilidade de ajustamento do número

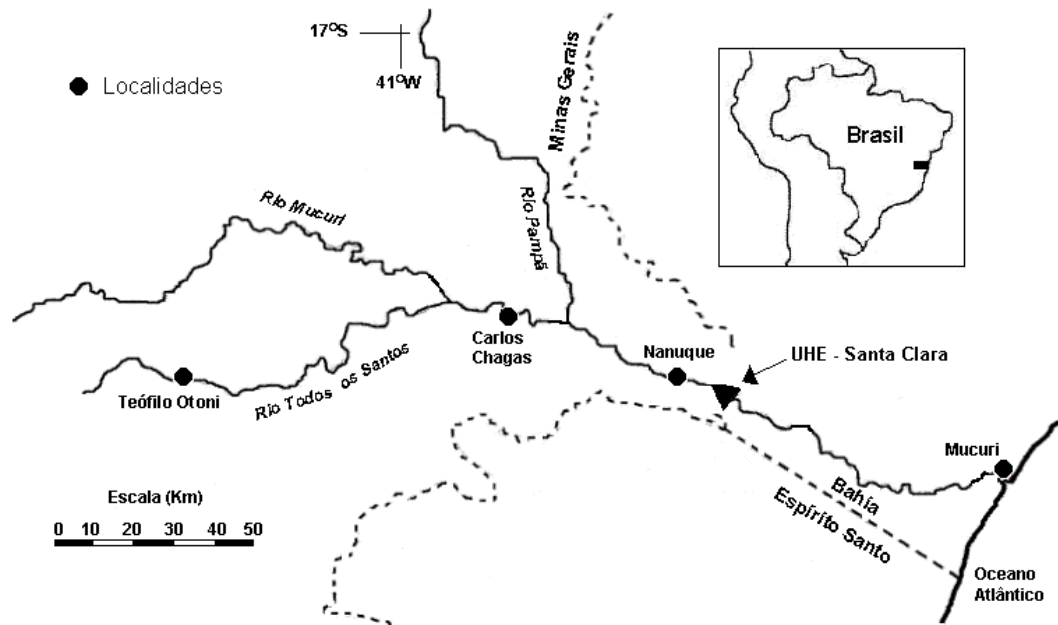


Figura 1 - Mapa da bacia do Rio Mucuri, indicando as principais cidades da região e a localização da Usina Hidrelétrica de Santa Clara.



Figura 2 - Foto do mecanismo de transposição de peixes do tipo elevador com caminhão-tanque implantado junto à Usina Hidrelétrica de Santa Clara. À direita vê-se a caçamba do elevador em ascensão para deslocamento em direção ao caminhão-tanque (à esquerda).

e horário dos ciclos de transposição às ocasiões com maior afluxo de peixes, procedimento que, em alguns casos, pode significar considerável economia de água. Entretanto, este ajuste só pode ser obtido através do estudo detalhado do comportamento migrador da ictiofauna local.

Este trabalho objetiva avaliar se é possível o estabelecimento de uma regra operativa de um elevador para peixes, em que seja maximizado o número de exemplares transpostos e minimizado o uso de água.

LOCAL DE ESTUDOS

A usina Hidrelétrica de Santa Clara, cuja concessão é da Construtora Queirós Galvão, está localizada no rio Mucuri, no limite dos municípios de Mucuri (BA), Nanuque (MG) e Serra dos Aimorés, a cerca de 80 km da foz (MG) (Figura 1).

O rio Mucuri faz parte do conjunto de bacias independentes que drenam a região leste do Brasil. Sua área total de drenagem é de 15.100 km², sendo 94,7% dentro do território mineiro (Cetec, 1983).

Pelo menos 61 espécies de peixes podem ser encontradas na bacia, distribuídos em 45 gêneros e 26 famílias (Pompeu & Vieira, 2002). Os grupos predominantes no rio Mucuri correspondem às ordens dos Characiformes e Siluriformes, padrão amplamente reconhecido para os rios da América do Sul (Lowe-McConnell, 1975, 1987). Também podem ser encontradas no rio Mucuri pelo menos 12 espécies de origem marinha, que se utilizam deste curso d'água com fins de alimentação. Algumas espécies de água doce do rio Mucuri podem ser consideradas potencialmente migradoras, todas elas Characiformes dos gêneros *Prochilodus* (curimatás), *Leporinus* (piaus) e *Brycon* (piabanha e vermelha).

As obras para a construção da barragem iniciaram-se em 1999, sendo que a primeira turbina entrou em operação em fevereiro de 2002. Sua barragem de concreto possui 60 metros de altura máxima sobre as fundações e 240 metros de comprimento.

A Usina é composta por 3 unidades geradoras do tipo Francis vertical rápida, com potência instalada de 20,60MW em cada unidade, sob uma queda de 50,70m. A vazão é aduzida por três tubulações forçadas de 2,78m de diâmetro sendo ligadas a três caixas espirais que orientam a entrada da água até os rotores das turbinas. Cada turbina Francis vertical recebe 45,05 m³/s, gira a

257,14 rpm e possui rotor de 2,16m de diâmetro composto de 13 pás fixas.

O vertedor da barragem apresenta três comportas de serviço do tipo segmento, localizadas na superfície. A dimensão de cada comporta é de 10,60 m de largura por 15,86 m de altura com acionamento cilindro/hidráulico. A vazão de descarga máxima em cada comporta é de 1.607,00 m³/s. No final da pista do vertedor tem-se um salto de esqui e uma bacia de dissipação do tipo "salto de esqui".

Em novembro de 2003, entrou em operação junto à barragem da UHE Santa Clara um mecanismo de transposição do tipo elevador com caminhão-tanque (Figura 2), que utiliza vazão de 3 m³/s para atração e captura dos peixes.

METODOLOGIA

Acompanhou-se a operação do mecanismo de transposição de peixes do elevador da UHE Santa Clara entre os dias 19 de novembro de 2003 e 19 de março de 2004.

Ao longo deste período de transposição, de segunda a sábado, realizaram-se seis ciclos de transposição, nos horários de 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 e 18:00 horas. Com frequência quinzenal, também realizaram-se ciclos de transposição noturnos, nos horários de 20:00, 22:00, 24:00, 02:00, 4:00 e 6:00 horas, com o objetivo de averiguar a ocorrência de peixes nestes horários.

No total, realizaram-se 636 ciclos de transposição, 588 diurnos e 48 noturnos, sendo que, em cada um deles adotou-se os seguintes procedimentos: identificação das espécies capturadas; contagem do número total de peixes capturados por espécie; observação de eventuais indivíduos mortos e/ou machucados durante a operação de transposição; e liberação dos indivíduos no reservatório.

Para cada espécie, calculou-se a captura por unidade de esforço (CPUE) diária (CPUE), para os períodos noturno e diurno, e para intervalos de duas horas ao longo do dia, segundo a equação (1):

$$CPUE = N_i/N_c, \text{ onde:} \quad (1)$$

N_i = Número de indivíduos transpostos da espécie i ;
 N_c = Número de ciclos de transposição no período avaliado.

O cálculo das CPUE's teve como objetivo padronizar o esforço empregado, para permitir comparações entre os períodos noturno e diurno.

Tabela 1 - Número total, abundância relativa e número relativo de indivíduos mortos ou machucados para as espécies de peixes registradas durante a operação do elevador.

Espécie	Nome vulgar	Abundância		Condição (%)	
		N	%	Feridos	Mortos
<i>Astyanax intermedius</i>	Lambari	24.775	36,52	0,00	0,19
<i>Prochilodus vimboides</i>	Curimatá	23.012	33,92	0,10	0,08
<i>Leporinus conirostris</i>	Piau-branco	5.825	8,59	1,02	0,67
<i>Astyanax bimaculatus</i>	Lambari	5.694	8,39	0,02	0,00
<i>Leporinus steindachneri</i>	Piau-capim	4.943		0,12	
			7,29		1,32
<i>Brycon ferox</i>	Piabanha	1.075	1,58	0,09	1,41
<i>Pogonopoma wertheimeri</i>	Cascudo	670		1,05	
			0,99		1,05
<i>Centropomus undecimalis</i>	Robalo	541		0,00	
			0,80		1,11
<i>Cyphocharax gilbert</i>	Sagüiru	439	0,65	0,00	0,00
<i>Centropomus paralellus</i>	Robalo	350		0,00	
			0,52		1,72
<i>Mugil curema</i>	Tainha	172	0,25	7,10	4,14
<i>Parauchenipterus striatulus</i>	Cumbaca	71		0,00	
			0,10		2,82
<i>Oligosarcus acutirostris</i>	Bocarra	48		0,00	
			0,07		0,00
<i>Geophagus brasiliensis</i>	Cará	42	0,06	0,00	0,00
<i>Leporinus copelandii</i>	Piau-	38		0,00	
	mutengo		0,06		0,00
<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	27	0,04	0,00	0,00
<i>Hoplias malabaricus</i>	Traíra	24	0,04	0,00	0,00
<i>Prochilodus affinis</i>	Curimatá	24	0,04	0,00	0,00
<i>Pseudauchenipterus affinis</i>	Ferrolho	15		0,00	
			0,02		0,00
<i>Trichomycterus</i> spp.	Cambeva	15	0,02	0,00	6,67
<i>Rhamdia quelen</i>	Bagre	10	0,01	0,00	0,00
<i>Awaous tajassica</i>	Peixe-flor	6	0,01	0,00	0,00
<i>Oreochromis niloticus</i>	Tilapia	5	0,01	0,00	0,00
<i>Pachyurus adspersus</i>	Corvine	4	0,01	0,00	0,00
<i>Pimelodella vittata</i>	Mandi	4	0,01	0,00	25,00
<i>Characidium</i> spp.	Bananinha	3	0,00	0,00	0,00
<i>Hypostomus affinis</i>	Cascudo	3	0,00	0,00	0,00
<i>Brycon vermelha</i>	Vermelha	2	0,00	0,00	0,00
<i>Charanx latus</i>	Xaréu	1	0,00	0,00	0,00
<i>Gymnotus carapo</i>	Sarapó	1	0,00	0,00	0,00
<i>Hypostomus luetkeni</i>	Cascudo	1	0,00	0,00	0,00
<i>Achirus lineatus</i>	Linguado	1	0,00	0,00	0,00

No entanto, para esta comparação, excluíram-se os dados das transposições rotineiras do horário das 8:00 horas, visto que neste horário capturaram-se

peixes dos dois períodos, uma vez que a água de atração era liberada continuamente à noite, mesmo quando não eram realizadas transposições noturnas.

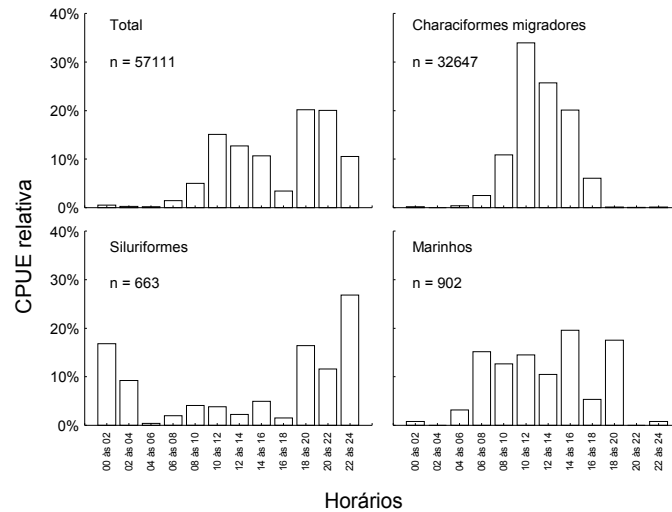


Figura 3 - Distribuição das capturas totais, de Characiformes migradores, Siluriformes e peixes marinhos ao longo do dia, no elevador da UHE Santa Clara.

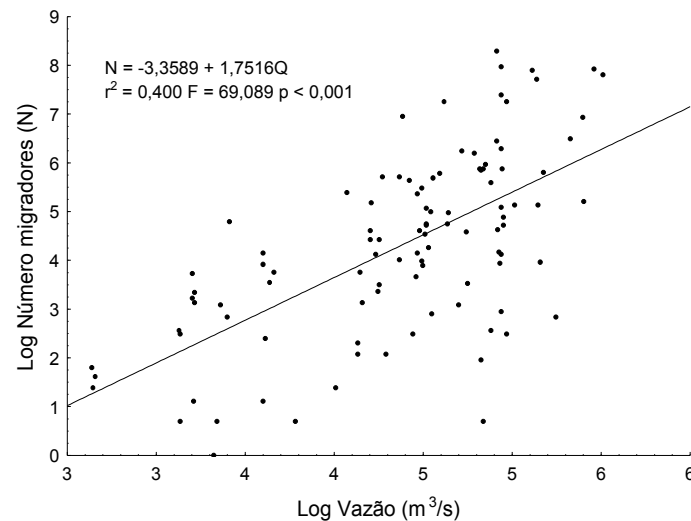


Figura 4 - Relação entre o número diário de peixes migradores transpostos e as vazões afluentes no rio Mucuri.

Tabela 2 - Relações estatísticas entre a abundância (CPUE) de diversos grupos de espécies transpostas e as vazões e precipitação no rio Mucuri

Espécies	Vazão x CPUE		Precipitação x CPUE		Vazão e Precipitação x CPUE			
	p	r ²	P	r ²	P modelo	P Vazão	P precipit	r ²
Migradores	0,001	0,406	0,039	0,086	0,001	0,001	0,051	0,422
<i>P. vimboides</i>	0,001	0,365	0,109	0,057	0,001	0,001	0,022	0,410
<i>B. ferox</i>	0,003	0,199	0,649	0,009	0,021	0,007	0,205	0,285
<i>L. conirostris</i>	0,001	0,138	0,309	0,023	0,036	0,018	0,338	0,140
<i>L. steindachneri</i>	0,001	0,171	0,890	0,001	0,287	0,118	0,980	0,060
Marinhos	0,001	0,463	0,049	0,077	0,001	0,001	0,081	0,549
Siluriformes	0,400	0,010	0,004	0,206	0,009	0,240	0,006	0,237
Total	0,001	0,415	0,071	0,065	0,001	0,001	0,140	0,456

(Variáveis transformadas para a escala logarítima; modelos significativos encontram-se em negrito).

As relações entre o número de peixes transpostos e a precipitação diária em Nanuque e as vazões efluentes da barragem, bem como as relações entre as taxas de mortalidade e o número de peixes transportados por ciclo, foram testadas através de análise de regressão. Esta mesma análise foi utilizada para o ajuste da curva da relação entre o número diário de peixes migradores transpostos e as vazões afluentes no rio Mucuri.

Através da equação obtida pela regressão do número de indivíduos transpostos versus vazões afluentes no rio Mucuri, estimou-se mês a mês, o número esperado de exemplares transpostos, a partir das vazões médias mensais históricas. Também estimou-se, mês a mês, o número médio esperado de dias sem vertimentos (Vazão do Mucuri $<142 \text{ m}^3/\text{s}$), período em que a água de atração do elevador compete com a geração. A partir destas informações, calculou-se para cada mês, o volume de água efetivamente desviado da geração para o elevador, bem como a energia perdida e seu custo, considerando-se o valor de referência do MW/h para UHE's em R\$ 0,041.

Com base na regra operativa transposta avaliou-se então a eventual economia de água e recursos em um determinado período de piracema, bem como seu valor nominal presente, segundo as equações (2) e (3) (Oliveira, 1982):

$$\text{VNP} = \text{V}/\text{FRC} \quad (2)$$

$$\text{FRC} = ((1+J)^t * J) / ((1+J)^t - 1), \text{ onde:} \quad (3)$$

VNP = valor nominal presente;

V = valor economizado;

FRC = fator de recuperação de capital;

J = taxa anual de juros (%);

t = tempo de retorno (vida útil do empreendimento).

RESULTADOS

Através do elevador para peixes da UHE Santa Clara foram transpostos, durante os quatro meses de operação, 67841 exemplares de 32 espécies de peixes. Destes, os lambarís (*A. bimaculatus* e *A. intermedius*) e os migradores (*P. vimboides*, *L. conirostris*, *L. steindachneri* e *B. ferox*) foram os mais abundantes, representando juntos 96% dos indivíduos transpostos (Tabela 1). Em média, foram transpostos 106 peixes por ciclo, com máximo de 5021, sendo que em 255 ciclos não foi transposto nenhum peixe. Do total de indivíduos

transpostos, apenas 0,48 % morreram ou foram feridos durante os ciclos completos de transposição (Tabela 1), sendo que não foi observada relação significativa entre o número de peixes transpostos por ciclo e as taxas de mortalidade ($F = 1,898$; $p = 0,169$).

Das 22 espécies com pelo menos 5 indivíduos transpostos, 16 podem ser consideradas predominantemente diurnas, e apenas 6 noturnas. No entanto, os dois períodos apresentaram capturas totais por unidade de esforço equivalentes, da ordem de 88 indivíduos por ciclo.

Dos grandes grupos de peixes da região, Characiformes migradores e Marinhos podem ser considerados de atividade diurna, se contrapondo aos Siluriformes (peixes de couro). Como resultado, considerando-se todas as espécies, podem ser individualizados dois grandes picos de captura pelo elevador: um ao meio do dia e outro ao entardecer (Figura 3).

Todas as espécies consideradas migradoras, principais alvos da transposição, apresentaram picos de captura pelo elevador entre 10:00 e 16:00 horas (Figura 3), sendo que 99,7 % das capturas (CPUE) dos indivíduos destas espécies foram efetuadas durante o período diurno.

Para o conjunto de dados analisados, a vazão do rio Mucuri a jusante da barragem da UHE Santa Clara foi a principal variável explicativa da abundância de indivíduos transpostos. Para algumas espécies, em especial para o conjunto de siluriformes, a precipitação também contribuiu significativamente com o modelo ajustado, sendo para este grupo, a principal variável explicativa (Tabela 2).

Embora vazões superiores a $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ocorreram durante 40% do tempo de transposição, de 60 a 80 % dos indivíduos foram transpostos nestas ocasiões. Esta tendência foi ainda mais evidente para as espécies migradoras, que tiveram 90 % dos indivíduos transpostos em dias com vazão superior a $90 \text{ m}^3/2$, que apresentou, no período de estudos, recorrência de 50%. A relação entre o número diário de peixes migradores transpostos e as vazões afluentes no rio Mucuri é apresentada na figura 4.

Através da equação de regressão do número de indivíduos transpostos versus vazão do rio Mucuri, foi possível estimar mês a mês, o número esperado de exemplares transpostos, a partir das vazões médias mensais. Também foi possível estimar, mês a mês, o número médio de dias sem vertimentos (Vazão do Mucuri $<142 \text{ m}^3/\text{s}$), período

Tabela 3 - Número potencial de indivíduos transpostos mensalmente pelo elevador da UHE Santa Clara, estimado a partir da média histórica de vazões; permanência mensal de vazões inferiores a 142 m³/s e custo energético da transposição, estimado a partir do número de dias sem vertimentos ($Q < 142 \text{ m}^3/\text{s}$).

Mês	Vazão Média	N potencial Ind. migradores	Permanência (dias) $Q < 142 \text{ m}^3/\text{s}$	Custo Energético (R\$)
Janeiro	164,91	28433	17,52	24194,83
Fevereiro	130,94	22515	20,10	27757,77
Março	124,64	21408	22,47	31030,70
Abril	100,99	17302	23,72	32756,93
Mai	73,78	12565	28,99	40034,71
Junho	63,41	10755	29,68	40987,59
Julho	63,37	10743	30,62	42285,71
Agosto	53,81	9078	30,63	42299,52
Setembro	46,14	7735	30,00	41429,50
Outubro	64,56	10925	28,73	39675,65
Novembro	117,22	20140	21,92	30271,15
Dezembro	183,01	31654	16,07	22192,40

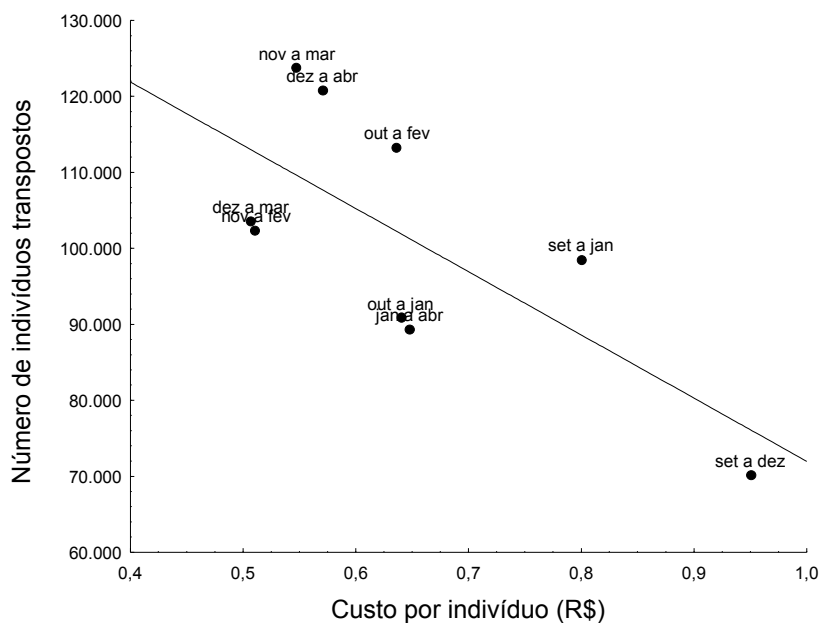


Figura 5 - Relação entre o número de indivíduos transpostos e o custo da perda energética por indivíduo, para diferentes períodos de piracema, considerando-se a operação somente no período diurno.

em que a água de atração do elevador compete com a geração (Tabela 3), e o respectivo custo energético desta operação.

Do conjunto de dados levantados através do acompanhamento da operação do elevador para peixes, três são de fundamental importância para a determinação da melhor regra operativa para o mecanismo: o número de indivíduos transpostos

está diretamente relacionado com as vazões do rio Mucuri, em especial para o grupo de espécies migradoras; as espécies migradoras utilizam o mecanismo de transposição principalmente no período diurno; siluriformes foi o único grupo que predominantemente utilizou o elevador durante a noite, o fazendo com maior intensidade em períodos de chuva.

Tabela 4 - Comparação dos custos e do número de indivíduos migradores transpostos entre o novo período de piracema proposto (novembro a março com operações diurnas) e as piracemas legais mais comuns, com operação ao longo de todo o dia.

	Operação proposta 01/nov a 31/mar
Piracema de 01/outubro a 31/janeiro	
Incremento potencial de indivíduos migradores	35,79%
Energia economizada (MW/h)	1.185.624,76
Energia economizada (R\$)	48.610,62
Valor nominal presente	547.247,83
Piracema de 01/novembro a 28 de fevereiro	
Incremento potencial de indivíduos migradores	20,47%
Energia economizada (MW/h)	894.944,60
Energia economizada (R\$)	36.692,73
Valor nominal presente	413.078,80

Além destes, pode ser considerado que o número de ciclos diários, seis, se mostrou adequado, não sendo observado aumento de taxas de mortalidade quando de maior concentração de peixes na caçamba e no tanque do caminhão. Desta forma, a densidade na caçamba do elevador e no tanque do caminhão não parece ter influenciado na sobrevivência dos indivíduos durante o processo.

A partir dos resultados levantados, duas alternativas podem ser propostas, com o objetivo de minimizar o volume de água utilizado pelo elevador e maximizar o número de exemplares transpostos: a priorização de ciclos de transposição durante o dia, com a realização de operações noturnas somente em dias chuvosos; a operação do mecanismo em períodos de maior vazão.

A priorização de operações diurnas, é capaz de reduzir pela metade a perda energética decorrente da operação do elevador, com pouco efeito sobre o número de indivíduos transpostos. No entanto, também é possível a avaliação do efeito teórico do deslocamento no tempo do período de operação do elevador, considerando-se quatro ou cinco meses de operação (Figura 5).

A operação durante cinco meses, entre os meses de novembro a março, além de propiciar um maior número de indivíduos transpostos, permite uma menor “perda” de água e energia, expressa pelo menor valor do custo de cada indivíduo transposto.

Comparando-se a operação diurna ao longo deste período de cinco meses com a operação

contínua durante os dois períodos de piracema legal mais frequentes (outubro a janeiro e novembro a fevereiro), esta alternativa poderia representar acréscimo de até 35 % no número de indivíduos de espécies migradoras transpostos, bem como uma economia em valor presente de até R\$ 547.000,00, considerando-se taxas de juros anuais de 8% e vida útil do empreendimento de 30 anos (Tabela 4).

DISCUSSÃO

Na América do Sul já existem mais de 50 escadas em operação, distribuídas pelas diversas bacias hidrográficas (Clay, 1995). Elevadores e eclusas são menos comuns (Quirós, 1988), podendo ser citados os elevadores de Yacyretá, no rio Paraná, a eclusa de Salto Grande, no rio Uruguay (Oldani *et al.*, 1998), e o elevador de Funil, no rio Grande.

Na Europa, elevadores e eclusas são mais comuns, enquanto na América do Norte escadas são preferencialmente utilizadas. Apesar destas tendências regionais, alguns fatores devem ser utilizados para a definição de um mecanismo de transposição para peixes (Bengetyfield, *et al.*, 2001):

- espécies alvo;
- número esperado de exemplares migrantes;
- altura da barragem;
- topografia local;
- distância entre a barragem e a casa de força;
- histórico de vazões locais;

- probabilidade de vertimentos durante a estação reprodutiva;
- flutuações do reservatório durante a estação reprodutiva;
- necessidade, disponibilidade e custos da água de atração;
- custos com manutenção e operação.

O maior custo com operação e manutenção é geralmente apontado como a principal desvantagem de um mecanismo do tipo elevador, incluindo aqueles com caminhão-tanque. No entanto, este estudo indica que economia na água de atração através do estudo e ajuste da frequência dos ciclos de transposição pode, em parte, compensá-lo.

Cabe salientar, que uma vazão suficiente para atração de peixes junto à entrada de um mecanismo têm sido fator fundamental para o sucesso de diversos mecanismos de transposição (Novak *et al.*, 2003).

Estímulos ambientais como a temperatura e a velocidade da água, a vazão e o nível do rio parecem desempenhar papel relevante na migração ascendente de peixes (Godoy, 1985; Vazzoler, 1996). O sincronismo entre as migrações para montante e os períodos de maiores vazões já foi descrito em diversos estudos (Godoy, 1975; Lowe-McConnell, 1987), associado à maior atividade reprodutiva durante as cheias (Vazzoler, 1996; Agostinho *et al.*, 2000). Pelo menos dois estudos já haviam demonstrado os efeitos deste sincronismo sobre o fluxo de peixes em mecanismos de transposição brasileiros. Avaliando a ascensão de peixes na escada experimental de Itaipú, sob condições de velocidade e vazão constante na escada, constatou-se uma influência significativa da temperatura da água e da vazão turbinada pela Usina Hidrelétrica de Itaipu sobre a intensidade de ascensão dos peixes (Fernandez, 2000). Na escada da UHE Igarapava, a maior parte dos peixes (75%) utilizam o mecanismo de Outubro a Fevereiro, período correspondente à estação chuvosa na região (Vono *et al.*, 2004).

Por outro lado, padrões migratórios diários, embora descritos para inúmeras espécies Norte Americanas e Européias (Lucas & Baras, 2001) não estão claros para a maior parte de nossas espécies migradoras. Apenas Siluriformes, grupo reconhecidamente de hábitos noturnos (Burguess, 1989), parecem utilizar os mecanismos preferencialmente à noite. Characiformes, por sua vez, parecem apresentar padrão mais variável, com picos de passagem pelos mecanismos variando

bastante entre as espécies (Fernandez, 2000; Vono *et al.*, 2004).

Outros fatores ambientais também têm sido relacionados à migração dos peixes, como a qualidade da água, disponibilidade de alimento (Lucas & Baras, 2001), o tamanho e a forma do corpo dos indivíduos (Peake *et al.*, 1995). Em alguns casos, estes fatores poderão ser considerados para o ajustamento dos ciclos de transposição.

O estudo do fluxo de peixes em um mecanismo de transposição de peixes constitui-se em uma boa alternativa para a maximização do número de peixes transpostos e minimização dos custos com água de atração. No entanto, outra alternativa consiste na recuperação energética da água de atração, através da instalação de uma pequena turbina junto ao mecanismo. Em alguns casos, como no próprio sistema estudado (UHE Santa Clara), esta geração auxiliar poderia potencialmente, aumentar o rendimento da Usina, por permitir a geração com maior rendimento em períodos de pequena vazão (Magalhães *et al.*, 2004).

Mecanismos de transposição de peixes do tipo caminhão-tanque têm sido propostos para um grande número de aproveitamentos hidrelétricos. Em Minas Gerais, estão indicados para pelo menos 10 empreendimentos em processo de licenciamento ou implementação nas bacias do rio Doce, Paraíba do Sul e Jequitinhonha. Por pertencerem ao mesmo domínio biogeográfico, denominado bacias do leste, estas bacias compartilham com o Rio Mucuri, a maioria das espécies migradoras.

O mecanismo de transposição de Santa Clara constitui o primeiro elevador com caminhão-tanque a entrar em operação no Brasil. Desta maneira, espera-se que as informações obtidas através deste trabalho sejam de grande relevância para a avaliação da conveniência, bem como forneça subsídios para a implementação e operação deste tipo de mecanismo em outros empreendimentos hidrelétricos.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A. A.; THOMAZ, S. M.; MINTE-VERA, C. V. and WINEMILLER, K. O. 2000. Biodiversity in the high Paraná River floodplain. In: B. GOPAL; W. J. JUNK; J. A. DAVIS (Eds). Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation. New Delhi: School of Environmental Sciences Jawaharlal Nehru University, V. 1, p. 89-118.

- BENGEYFIELD, W.; HAY, D.; JOYCE, S. & GREENBANK, J. 2001. *Evaluation of restoring historic passage for anadromous fish at BC Hydro Facilities*. Power Supply Environment BC Hydro Burnaby, BC. 194p.
- BURGUESS, W. E. 1989. *An atlas of freshwater and marine catfishes*. TFH, Neptune City, 785 p.
- CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. 1983. Diagnóstico Ambiental do Estado de Minas Gerais. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC. *Série de Publicações Técnicas/SPT-010*. 158p
- CLAY, C. H. 1995. *Design of fishways and other fish facilities*. Second Edition, CRC Press, Boca Raton, Florida. 248p.
- FERNANDEZ, D. R. 2000. *Grau de seletividade da escada de peixes do projeto experimental canal de migração da Itaipu binacional*. Tese apresentada ao curso de pós-graduação em ciências biológicas da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de doutor em Ciências na área de zoologia. 68p.
- GODINHO, H. P. & GODINHO, A. L. 1994. Ecology and conservation of fish in southeastern Brazilian river basins submitted to hydroelectric impoundments. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 5:187-197.
- GODOY, M. P. 1975. *Peixes do Brasil, Subordem Characoidei, Bacia do rio Mogi Guaçu, Piracicaba, Brasil*. Editora Franciscana, 4 volumes.
- GODOY, M. P. 1985. *Aqüicultura. Atividade multidisciplinar. Escadas e outras facilidades para passagens de peixes. Estações de piscicultura*. Florianópolis, Brasil, Eletrosul, 77p.
- LOWE-McCONNELL, R. L. 1975. *Fish communities in tropical freshwaters*, Longman, London and New York, 337p.
- LOWE-McCONNELL, R. L. 1987. *Ecological studies in tropical fish communities*. Cambridge University Press, London. 382p.
- LUCAS, M. C. & BARAS, E. 2001. *Migration of freshwater fishes*. Bodmin, UK. Blackwell Science. 420p.
- MAGALHÃES, V. P. F., POMPEU, P. S. & MARTINEZ, C. B. 2004. A possibilidade de recuperação energética da água de atração do elevador de peixes da UHE Santa Clara. In: XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica. São Pedro, SP. 10p.
- MINAS GERAIS, 1997. Lei nº 12.488, de 09 de abril de 1997. Torna obrigatória a construção de escadas para peixes de piracema em barragem edificada no Estado. Minas Gerais, *Órgão Oficial dos Poderes do Estado*, Belo Horizonte, 10 de abril de 1997.
- NOVAK, J. LOAR, J. & CADA, G. 2003. *Evaluation of mitigation effectiveness at hydropower projects: fish passage, draft report*. Division of Hydropower Administration and Compliance Office of Energy Projects Federal Energy Regulatory Commission. Technical report. 64p.
- OLDANI, N; BAIGÚN, C. & DELFINO, R. 1998. Fishway performances in South American regulated rivers. In: Wetlands Engineering & River Restoration Conference. Denver, Colorado.
- OLIVEIRA, J. A. N. 1982. *Engenharia Econômica*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 236p.
- PEAKE, S.; BEAMISH, F. W. H.; MCKINLEY, R. S.; KATOPODIS, C. and SCRUTON, D. A. 1995. Swimming performance of lake sturgeon, *Acipenser fulvescens*. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. J. Can. Sci. Halieut. Aquat.* 1995 n° 2063, 30p.
- PETRERE Jr., M. 1985. Migraciones de peces de agua dulce en America Latina: algunos comentarios. *COPESCAL Doc. Ocas.*, 1: 17p.
- POMPEU, P. S. & MARTINEZ, C. B. 2003. A transposição de peixes através de elevadores com caminhões tanque. *CPH Notícias / SHP Mews* 5(8): 22-23.
- POMPEU, P. S. & VIEIRA, F. 2002. Monitoramento da ictiofauna do rio Mucuri no período anterior ao fechamento das comportas da UHE – Santa Clara. *Relatório técnico*, IBAMA. 23p.
- QUIROS, R., 1988. *Structures Assisting the Migrations of Non-Salmonid Fish: Latin America*, FAO- COPESCAL Tech. Doc. No. 5, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 50 p.
- VAZZOLER, A. E. A. de M., 1996. *Biologia da Reprodução de Peixes Teleósteos: Teoria e Prática*. Editora da Universidade Estadual de Maringá (EDUEM), Maringá - Brasil, 169 p.
- VONO, V.; BIZZOTTO, P. M., GODINHO, H. P., GODINHO, A. L. & KYNARD, B. 2004. Fish passage at the Igarapava fish ladder, River Grande, Brazil. In: International Congress on the Biology of Fish. Manaus, 4p.
- WELCOMME, R. L. 1985. River fisheries. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 262: 330p.

Establishing the Operational system of a elevator-type fish transfer mechanism using a tanker truck

ABSTRACT

In fish transfer mechanisms it is necessary to provide a variable stream flow that is used to attract the shoals of fishes to enter the system. This procedure requires reducing the volume of water available for power generation at the Hydropower Plant. In this study the possibility is assessed of establishing an operational rule for a fish elevator, in which the number of fish transferred is maximized and water use is minimized. Thus the operation of the fish transfer mechanism using a fish elevator with tanker truck installed at the Santa Clara Hydropower Plant was followed between November 19,

2003 and March 19 2004. Based on the results, two alternatives were proposed: prioritization of transfer cycles during the day, with nighttime operations only when it rains, and operating the mechanism during higher flow periods. Compared to the current type of operation, the alternative proposed might mean an increase of up to 35 % in the number of individuals of migratory species transferred, and also a saving, at current values, of up to R\$547,000.00, considering current interest rates of 8 % and a 30-year life of the enterprise.

Key-words: fish transfer, variable stream flow.