

REGIME TÉRMICO EM ÁGUAS CORRENTES E SUA IMPORTÂNCIA NA ESTRUTURA DO HABITAT E NA BIOLOGIA DE ORGANISMOS AQUÁTICOS

Ibraim Fantin-Cruz

Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH-UFRGS
ibraimfantin@gmail.com

Karina Keyla Tondato

Doutoranda em Biologia Animal, IB-UFRGS
ktondato@hotmail.com

David da Motta Marques

Prof. Dr. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS
dmm@iph.ufrgs.br

Olavo Pedrollo

Prof. Dr. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS
olavopedrollo@gmail.com

RESUMO

O regime térmico em águas correntes e os processos responsáveis por sua variabilidade, são de grande importância ecológica. Uma vez que a temperatura da água influencia a distribuição, reprodução, crescimento e desenvolvimento dos organismos aquáticos, além de produzir efeitos sobre o metabolismo ecossistêmico. Nesta perspectiva, este trabalho revisou os aspectos relevantes à variabilidade térmica de águas correntes, os fatores que os influenciam e sua importância na estrutura do habitat e na biologia de organismos aquáticos. Com este propósito, observou-se que flutuações na temperatura da água podem ocorrer naturalmente devido às condições atmosféricas, topografia, descarga e condições do leito ou por perturbações antrópicas, tais como, represamento, desmatamento e mudanças climáticas. A heterogeneidade térmica ocorre desde escalas locais em gradientes verticais de temperatura da coluna de água, bem como em escalas regionais ao longo do gradiente longitudinal. Flutuações temporais da temperatura também são evidentes e ocorrem diariamente (hora do dia) e sazonalmente (estações do ano). Tanto espacial quanto temporalmente, a estabilidade (ou variabilidade) da temperatura depende da descarga do rio. A temperatura da água influi diretamente nas condições do habitat provocando alterações nas reações químicas, reduzindo as concentrações de oxigênio na água, formando barreiras térmicas, entre outros efeitos. Tais condições podem causar elevação da taxa de crescimento de plantas aquáticas, desequilíbrio no período de eclosão de ovos (principalmente de peixes), aumento à suscetibilidade a doenças, alterando, desta forma, o funcionamento do ecossistema. Portanto, torna-se evidente a importância da temperatura da água como fator relevante no controle ambiental de águas superficiais.

Palavras-chave: temperatura da água; fatores antrópicos, variabilidade térmica, ecologia de rios/riachos.

THERMAL REGIME OF FLOWING WATERS AND ITS IMPORTANCE IN HABITAT STRUCTURE AND IN THE BIOLOGY OF AQUATIC ORGANISMS

ABSTRACT

The thermal regime of flowing waters and the processes responsible for its variability are of great ecological importance, because water temperature affects the distribution, reproduction, growth and development of aquatic organisms, as well as the ecosystem metabolism. Fluctuations in water temperature may occur naturally due to atmospheric conditions, topography, water course bottom discharge and conditions, or anthropic disturbances such as damming, deforestation and climate changes. Thermal heterogeneity occurs from the local scale in vertical temperature gradients of the water column to the regional scale along the longitudinal gradient. Temporal fluctuations in temperature are also evident and occur daily (time of day) and seasonally (seasons of

Recebido em 14/06/2010
Aprovado para publicação em 23/11/2010

the year). Both spatially and temporally, temperature stability (or variability) depends on the discharge of the river of the system. Water temperature directly affects the conditions of the habitat, causing alterations in the conditions of chemical reactions, reducing the concentrations of oxygen in the water, and forming thermal barriers between others. These conditions may elevate the growth rate of aquatic plants, causing imbalances in the period of egg hatching, especially of fishes, and increasing susceptibility to disease, i.e., altering the functioning of the ecosystem. It is therefore evident that water temperature is an important tool for the environmental control of surface waters.

Key words: water temperature; anthropogenic factors, thermal variability, river/stream ecology.

INTRODUÇÃO

A temperatura é uma característica física das águas, sendo uma medida de intensidade de calor ou energia térmica em trânsito, termodinamicamente em equilíbrio (Ward, 1985). Utilizada como um dos parâmetros que determina a saúde global dos ecossistemas aquáticos de água doce, é considerada como um dos padrões de qualidade das águas, que, conectada à sensibilidade dos organismos vivos, torna a água atraente ou não para o consumo, assim como a transparência, sabor, odor e aparência (PERCEBON et al., 2005). Além disso, é altamente sensível aos impactos das atividades humanas diretas e indiretas em ambientes fluviais (WEBB e WALLING, 1993a b).

A temperatura da água provavelmente tem maior influência sobre a vida e os sistemas aquáticos do que qualquer outra variável tomada isoladamente (WHEATON, 1987), uma vez que, influencia na taxa de crescimento, distribuição e desenvolvimento dos organismos aquáticos (MARKARIAN, 1980; JENSEN, 1990; EBERSOLE et al., 2001 entre outros), devido aos efeitos que produz sobre as reações químicas, em graus e formas dependentes de cada espécie (ANGELOCCI e VILLA NOVA, 1995).

Neste contexto, o estudo do regime térmico em rios, ou seja, processos térmicos responsáveis pela variabilidade da temperatura da água em corpos d'água na natureza, tem grande importância ecológica devido às interações entre a variável temperatura e a vida aquática (ANGELOCCI e VILLA NOVA, 1995; CAISSIE, 2006).

Este processo em rios depende fundamentalmente do regime de energia radiante disponível e da propagação de calor na água, sendo o transporte de massa do próprio líquido a forma mais eficiente de propagação calorífica, ocorrendo por redistribuição da própria massa de água (WHEATON, 1987; ESTEVES, 1988).

Deste modo, a variabilidade da temperatura da água e suas relações com a biota foram revisadas com o intuito de fornecer um embasamento teórico aprofundado sobre o assunto. Destacando os principais fatores naturais ou não que afetam o regime térmico, bem como seu papel na ecologia e biologia de organismos aquáticos. Pois, geralmente estes aspectos são negligenciados em pesquisas científicas brasileiras, principalmente no que se refere a ambientes de águas correntes.

Fatores que afetam a temperatura de águas correntes

Segundo Ward (1985), são muitos os fatores inter-relacionados que determinam os componentes principais do regime de temperatura de um riacho natural (Figura 1). De fato, a resposta térmica da água de um rio é, na verdade, a somatória de diferentes efeitos de fatores ambientais e antrópicos a que esse rio, ou sua bacia, está sujeito (PERCEBON et al., 2005).

Qualquer alteração significativa dos aspectos que determinam a temperatura natural do regime das águas correntes irá modificar direta ou indiretamente as condições térmicas locais, podendo criar grandes discontinuidades térmicas ao longo do perfil longitudinal do riacho (WARD, 1985).

Webb et al. (2003) e Brown et al. (2006) relataram que a variabilidade e flutuações da temperatura da água podem ocorrer naturalmente ou como resultado de várias perturbações antropogênicas, como a alteração de fluxo, poluição térmica, desmatamento e mudanças climáticas. Além disso, esta variabilidade é comumente afetada pela latitude, altitude, estações do ano, circulação do ar, nebulosidade e profundidade do corpo hídrico (WARD, 1985). Os

fatores mencionados por Ward (1985) apresentados na Figura 1, foram reclassificados por Cassie (2006), em uma revisão temática do assunto, em quatro grandes grupos: (i) condições atmosféricas; (ii) topografia, (iii) descarga do riacho, e (iv) fundo do riacho) (Figura 2).

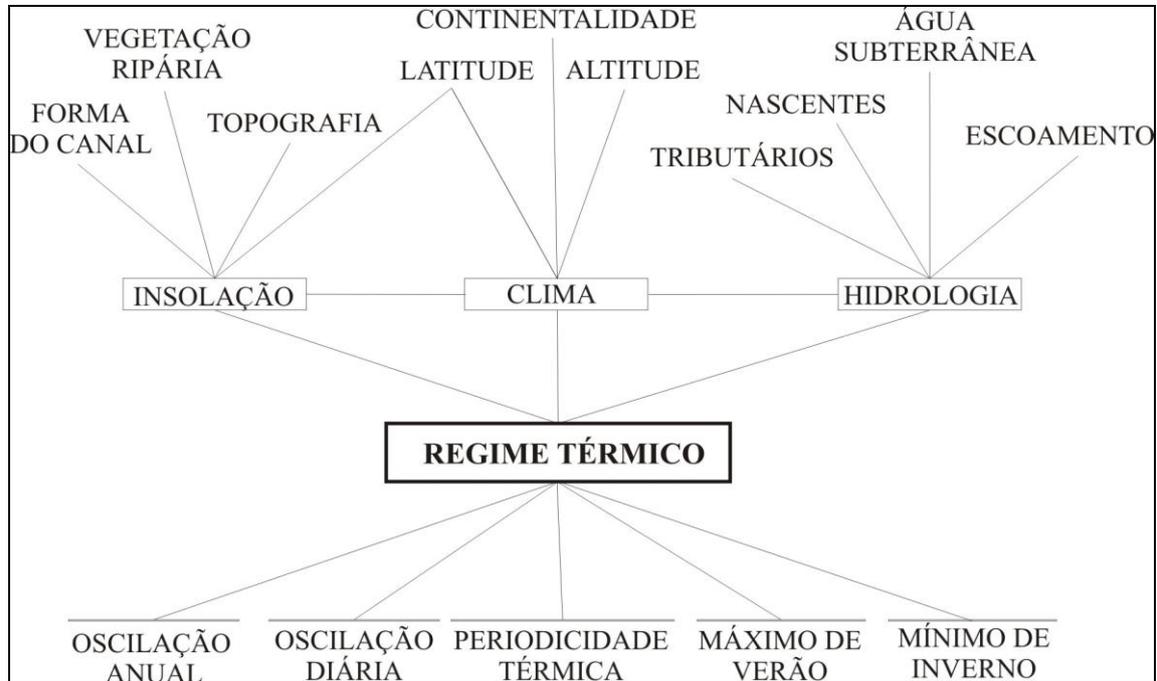


FIGURA 1. Fatores que determinam os componentes principais do regime térmico de riachos naturais (adaptado WARD, 1985).

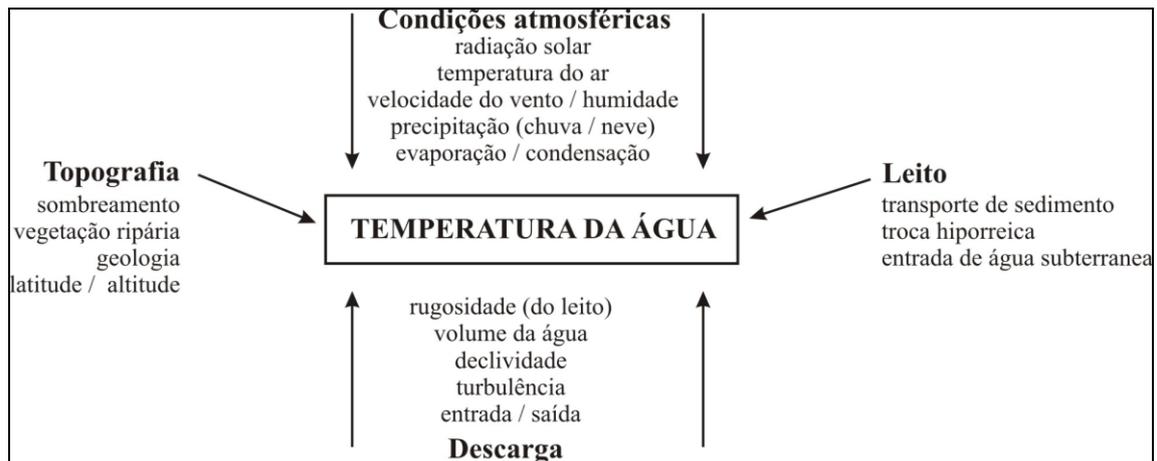


FIGURA 2. Os quatro fatores gerais que influenciam o regime térmico de riachos (adaptado CASSIE, 2006).

As condições atmosféricas estão entre os fatores mais importantes e que são os principais responsáveis nos processos de troca de calor que ocorrem nas águas superficiais, incluindo mudanças de fase, radiação solar, entre outros (CAISSIE, 2006).

A temperatura do ar, o mais importante fator das condições atmosféricas, exerce uma

influência direta sobre a temperatura do riacho e também determina a temperatura das águas subterrâneas, que, quando não termais, são normalmente cerca de 1 °C abaixo da média anual da temperatura do ar de uma determinada região (WARD, 1985). Simultaneamente, junto com outros fatores meteorológicos, tais como a pressão de vapor, ela determina a “temperatura de equilíbrio”, que é a temperatura da água na qual a rede de troca de calor com a atmosfera é zero (WALKER e LAWSON, 1977).

Outros fatores das condições atmosféricas também modificam e influenciam a temperatura do ar em águas correntes, como é o caso da cobertura por nuvens, velocidade do vento, pressão de vapor e precipitação. Mosley (1982), estudando rios das regiões da Nova Zelândia, observou que pequenos riachos expostos tendem a ter suas temperaturas mais influenciadas por condições atmosféricas do que aqueles com frequente nebulosidade, os quais geralmente apresentam menores amplitudes térmicas. Tributários podem ter temperaturas de verão mais elevadas do que o riacho principal se forem menores ou mais expostos à radiação solar, enquanto, tributários protegidos por um dossel de vegetação tendem a ser consideravelmente mais frescos no verão e ligeiramente mais quentes no inverno, em relação ao curso principal (TOWNS, 1979).

A circulação do ar, mais precisamente os ventos, possui um papel significativo, pois ao atuarem sobre a superfície líquida promovem turbulência da água e redistribuição de calor, levando a presença ou ausência de camadas com diferentes densidades da água (ESTEVES, 1988). Logo, a coluna de água pode ficar estratificada termicamente de diferentes formas, com padrões variáveis, em uma mesma região, em função de elementos climáticos (por exemplo, como radiação solar) e fatores específicos do ecossistema, como por exemplo, sua morfometria (BORMANS e WEBSTER, 1998). Em corpos d'água pouco profundos e pequenos, pode ser observada marcante estratificação térmica durante o período diurno em dias de alta irradiância solar e com calmarias. Em algumas situações, a radiação solar direta desempenha um papel importante na determinação condições térmicas em águas correntes (CHUTTER, 1970; HOPKINS, 1971; MOSLEY, 1982) e esta pode ser especialmente verdadeira para riachos tropicais (GEIJSKES, 1942). Igualmente, a precipitação pode elevar temporariamente ou deprimir temperaturas da água (WARD, 1985).

A topografia ou definição geográfica também são relevantes porque influenciam as condições atmosféricas. As temperaturas de riachos são determinadas em grande parte por fatores topográficos, cobertura vegetal, e forma do canal, todos os quais geralmente afetam o grau de exposição da água (e substrato) à luz do sol (CAISSIE, 2006). Em sombreadas cabeceiras de um rio tropical, Geijskes (1942) relata que a temperatura da água manteve-se próxima à média da temperatura do ar, enquanto que em locais onde a cobertura era mais aberta, a temperatura da água aproximou ou até mesmo ultrapassou a temperatura máxima do ar.

Riachos com canais rasos e largos que expõe uma maior superfície da água à luz solar direta, geralmente experimentam maiores flutuações de temperatura que canais estreitos e profundos (CHUTTER, 1970; MOSLEY, 1982). Beumer (1980) analisando um riacho tropical registrou temperaturas mais baixas durante as inundações e atribuiu este fato a dominante nebulosidade característica da época.

Além do efeito direto do sombreamento sobre a temperatura do riacho, a vegetação reduz a erosão na barranca do riacho, exercendo algum controle sobre a forma do canal (WARD, 1985). Portanto, a modificação da vegetação ciliar, independente da causa, pode alterar as condições térmicas naturais do ecossistema lótico. Estudos realizados no Hemisfério Norte (BROWN e KRYGIER, 1970) também demonstram a importância de manter a integridade da mata ciliar.

Fatores relacionados com a insolação mascararam os efeitos da altitude sobre a temperatura dos riachos em duas das seis bacias examinadas por Johnson (1971) na Nova Zelândia. Entretanto, a altitude, latitude e continentalidade determinam as condições do clima regional, que por sua vez, produz efeito sobre o regime térmico em águas correntes (WARD, 1985). A altitude exerce uma primária influência sobre o regime térmico das águas através de sua influência sobre a temperatura do ar e, portanto sobre a temperatura de águas subterrâneas. Estudos em regiões montanhosas têm relatado que a composição de espécies muda bruscamente em relação à altitude devido às alterações dos gradientes de temperatura da água (CECH et al. 1990; RAHEL e HUBERT, 1991).

Outro grupo importante é a descarga do riacho, função da hidráulica fluvial (por exemplo, entrada e saídas de fluxos), que principalmente influi na capacidade de aquecimento devido ao

volume de água e/ou do arrefecimento através de mistura de água a partir de diferentes fontes, incluindo trocas de calor no fundo do riacho (CAISSIE, 2006).

Com relação às variáveis hidrológicas, Ward (1985) relata que em áreas de nascentes a manutenção da temperatura da água ocorre principalmente pela contribuição das águas subterrâneas, bem como, a descarga. Isso se deve à estabilidade térmica das águas subterrâneas. As nascentes que alimentam os riachos, ou de qualquer segmento lótico que recebe, proporcionalmente, um grande afluxo de águas subterrâneas, exibem um alto grau de constância térmica (HOPKINS, 1971; MOSLEY, 1982, 1983). Ao mesmo tempo, a redução e/ou alteração de fluxo pode ser responsável por mudanças na temperatura da água (SINOKROT e GULLIVER, 2000). As condições térmicas das nascentes se estendem mais longe durante os períodos de alta descarga, porque o maior volume de água é menos sensível às condições atmosféricas e se desloca em alta velocidade (BEUMER, 1980; HOCKEY et al., 1982). Contudo, quando as condições hidrológicas resultam em uma grande proporção de contribuição das águas subterrâneas em baixo fluxo, temperaturas máximas de verão podem diminuir, pelo menos localmente, pela redução na descarga (MOSLEY, 1983).

Classificação térmica de águas correntes

No início da década de 1970, foi realizada uma tentativa de categorizar o regime térmico de rios e riachos utilizando altitude e latitude como fatores dominantes (SMITH, 1972), entretanto, tornou-se evidente que tal classificação seria inexequível devido à natureza complexa dos rios. Desde então, tais classificações não tem sido analisadas, embora alguns estudos tenham observado a existência de uma estrutura térmica dentro de rios (por exemplo, ordem de riachos) (ARSCOTT et al., 2001; GARDNER, et al., 2003). Estudos ilustraram o fato de que processos térmicos são complexos, o que torna difícil qualquer classificação. De fato, Ward (1985) constatou que o regime térmico de rios no Hemisfério Sul foi demasiadamente dependente de muitos fatores, o que não permitiu uma classificação refinada dos mesmos. Porém, com base em temperaturas máximas anuais e amplitudes térmicas, um padrão geral foi estabelecido, classificando os rios e riachos em "equatorial", "tropical" e "temperado".

Alterações antrópicas do regime térmico

Desmatamento

As alterações ou própria dinâmica dos fatores que influenciam o regime térmico natural dos rios também podem ser influenciadas ou modificadas por fatores não naturais, como por exemplo, o desmatamento. Este tem sido identificado como uma importante fonte de perturbação para o regime térmico de rio (JOHNSON e JONES, 2000). Brown & Krygier (1967) foram um dos primeiros a mostrar que o desmatamento tem um impacto significativo nas condições térmicas do rio, especialmente para pequenos riachos, devido à sua pequena capacidade térmica. Segundo Caissie (2006), estes estudos são importantes na compreensão global do comportamento térmico dos rios, bem como em estudos de modelagem.

Ao longo dos anos, estudos focaram o impacto da exploração madeireira sobre a temperatura de águas fluviais e demonstraram que as temperaturas aumentam na sequência da remoção da floresta ripária (RUTHERFORD et al., 1997). Mitchell (1999), utilizando a média mensal da temperatura da água durante pré e pós-desmatamento, mostrou que a remoção de vegetação ripária resultou em uma maior taxa de aumento na temperatura da água. A maioria dos trabalhos tem mostrado que leva entre 5 e 15 anos para os rios recuperarem o seu regime térmico natural quando submetidos a desmatamento, seguindo o tempo da recuperação da vegetação natural (MURRAY et al., 2000). A vegetação ripária não se limita apenas na proteção dos riachos contra o aquecimento solar, suas raízes atuam nas margens proporcionando uma melhor estabilidade contra desbarrancamentos.

Reservatórios

O regime térmico dos rios ainda pode ser afetado por muitas outras perturbações antropogênicas, como efluentes térmicos, redução no fluxo do rio (irrigação, hidrelétricas) e lançamentos de águas a partir de barragens a montante do rio.

Muitos trabalhos relatam que redução de e/ou alteração de fluxo resultante da retirada de água (irrigação) ou de projetos de desvios da água (hidrelétricas) afetam a temperatura da água causando modificações (BARTHLOW et al., 2005; SINOKROT e GULLIVER, 2000). Hóckey

et al. (1982) analisando o impacto da retirada da água na temperatura de um rio, observaram que, em fluxos baixos, a temperatura da água fluvial ultrapassa valores críticos por mais de 6 horas. Do mesmo modo, Sinokrot e Gulliver (2000) demonstraram que a redução do fluxo fluvial influencia sobremaneira no regime térmico, resultando, especificamente, no aumento da ocorrência de eventos de alta temperatura.

O regime térmico dos rios é também influenciado a jusante dos reservatórios (WEBB e WALLING, 1993b; LOWNEY, 2000). Walling e Webb (1993b) mostraram que a água a jusante dos reservatórios tem um aquecimento geral, com um aumento da média anual da temperatura da água.

Embora o conhecimento atual sugira simplesmente que reservatórios tendem a regular a vazão e temperatura do rio, um estudo de longo prazo no Reino Unido (WEBB e WALLING, 1997) mostrou que a descarga de reservatório resultou em um grande complexo regime térmico a jusante. Contudo, as modificações a jusante dependem das condições dos reservatórios que estão ligadas às variáveis operacionais (volume, descarga), às variáveis limnológicas (tempo de retenção, padrão de estratificação e gradientes térmicos), e à posição da barragem ao longo do perfil longitudinal do rio (WARD e STANFORD, 1982b).

Mudanças climáticas

Outra questão importante que altera inúmeros outros fatores que se relacionam com o regime térmico é a mudança climática global. O aquecimento global pode modificar a distribuição de organismos aquáticos, como em alguns sistemas em que a temperatura da água já está alcançando o limite letal para os peixes (EATON et al., 1995). Estudos realizados em riachos avaliaram o efeito das mudanças climáticas sobre a estrutura do habitat, além de relacioná-la como uma importante fonte de perturbação em escala global (MOHSENI e STEFAN, 2001; STEFAN et al., 2001; MOHSENI et al., 2003).

Sinokrot et al. (1995) observaram que a temperatura da água a jusante de reservatórios e barragens poderiam ser significativamente afetada pelo aquecimento global, especialmente se a água é liberada ou descarregada a partir da superfície de reservatórios. Webb e Nobilis (1994) mostraram um significativo aumento de 0,8 °C durante um grande período de estudo em curso do rio Danúbio e atribuiu principalmente ao aumento das atividades humanas. Aumentos na temperatura da água durante um período 30 anos foram também observadas na Escócia, sobretudo no inverno e primavera (LANGAN et al., 2001). Há evidências que as alterações climáticas provavelmente estão modificando o regime térmico dos rios e outros habitats aquáticos.

As alterações climáticas não só poderão modificar o regime térmico do rio, mas também outros processos do rio são projetados para sofrerem modificações significativas, o que refletirá sobre os recursos de pesca (SCHINDLER, 2001). Assim, dependendo de sua gravidade, o aquecimento global poderia levar à extinção de algumas espécies aquáticas ou modificar radicalmente a sua distribuição dentro dos sistemas fluviais, como apontado em estudos recentes (MINNS et al. 1995; SCHINDLER, 2001; MOHSENI et al., 2003). Estima-se que mudança climática poderá resultar em uma perda global de habitat de salmão juvenil do Atlântico, na ordem dos 4% (MINNS et al., 1995).

Variabilidade espaçotemporal da temperatura

Os vários componentes principais que compreendem o regime em águas correntes são potencialmente importantes na evolução e ecologia de organismos aquáticos (WARD e STANFORD, 1982a), e podem ser agrupados em padrões temporais e espaciais (WARD, 1985; CAISSIE, 2006).

A heterogeneidade térmica ocorre em pequenas e grandes escalas em águas correntes, a qual pode atuar de forma considerável sobre os organismos desses ambientes (MOSLEY, 1983). Neste sentido, podem ocorrer mudanças nas condições térmicas ao longo do perfil longitudinal do riacho (escala macroespacial), bem como, na localização de gradientes verticais e horizontais em temperatura (escala microespacial; WARD, 1985). Geralmente observa-se que a média diária da temperatura da água aumenta rio abaixo, bem como, no aumento da ordem do riacho (CAISSIE, 2006). Logo, as temperaturas normalmente aumentam a partir da cabeceira para a foz dos sistemas fluviais.

Em relação às alterações das condições de temperatura que ocorrem ao longo do perfil longitudinal dos sistemas fluviais, sabe-se que a altitude é apenas um dos fatores que pode ser

responsável (WARD, 1985). Johnson (1971) encontrou um bom relacionamento entre altitude e temperatura de riacho em quatro das seis bacias examinadas, pois muitas vezes fatores relativos à insolação, aspecto e tipo de cobertura vegetal, mascararam os efeitos da altitude.

Na Amazônia, temperaturas superficiais exibem pequenas, mas progressivos aumentos ao longo do eixo longitudinal, alterando de 26,2 °C (3 489 km da nascente) para 28,2 °C (438 km da foz; Wissmar et al., 1981). Intervalos diários tendem a aumentar a jusante como respostas de fonte de águas por influência atmosférica, mas eventualmente pode diminuir devido aos grandes volumes de água que resistem às flutuações térmicas de curto prazo (CAISSIE, 2006). Apesar de serem encontrados esses padrões, muitas exceções ocorrem. Grandes rios, como o Amazonas, podem apresentar pequenos gradientes verticais de temperatura durante o dia (SIOLI, 1964), embora Patrick et al. (1966) não tenham detectado quaisquer diferenças entre superfície e fundo de águas (18 m), no mesmo rio.

Flutuações diárias da temperatura da água tendem a atingir seu mínimo diário no início da manhã (ao nascer do sol) e o máximo no final da tarde (início da noite) (CAISSIE, 2006). Essas variações, em geral, são pequenas para riachos de cabeceira e aumentam para riachos maiores, quando estes se tornam menos dominados por águas subterrâneas e mais expostos às condições meteorológicas (WARD, 1985; CAISSIE, 2006).

A variabilidade diária frequentemente atinge um máximo em rios de maior largura e com pouca profundidade (rios geralmente mais largos que 50 m e menores que 1,5 m de profundidade, aproximadamente córrego de 4º ordem), enquanto, flutuações diárias eventualmente diminuem em direção a jusante do rio com aumento da profundidade (CAISSIE, 2006). Pequenos riachos, expostos a radiação solar direta e rios trançados, normalmente apresentam as maiores variações diárias na temperatura de água (MOSLEY, 1983).

Associadas à variabilidade diária, os rios também vivenciam um ciclo anual de temperatura, que segue uma função que forma uma curva sinusoidal (WARD, 1963; MOSLEY, 1982; WEBB e WALLING, 1993a). Para regiões frias, este ciclo anual estende a partir da primavera e o outono (CAISSIE et al., 1998), com temperatura próxima do congelamento durante todo o inverno. Uma comparação dos ciclos anuais de pequenos e grandes rios foi feita por Caissie et al., (2005), utilizando dados históricos.

Eles concluíram que ambos os rios tem similar comportamento térmico na primavera e no outono (ou seja, temperatura da água semelhante) e a maior diferença térmica ocorreu no pico das temperaturas de verão. Contudo, a estabilidade térmica é, em parte, uma função da vazão. Pequenos riachos (ou períodos de baixa descarga) apresentam maiores fluxos térmicos e atingem valores máximos diários quando comparados a grandes rios (HÓCKEY et al., 1982).

Assim sendo, devido às várias alterações ao longo do tempo, os padrões temporais de variação térmica podem ter maior importância biológica para muitas espécies de ambientes lóticos do que absolutamente a temperatura (HYNES, 1970).

Organismos aquáticos e a temperatura da água

A temperatura afeta a solubilidade dos gases na água e seu aquecimento empobrece a concentração de oxigênio, influenciando assim a decomposição de matéria orgânica, com consequente efeito sobre a qualidade do líquido e sobre a vida de organismos aeróbios aquáticos. Além disso, muitos fatores biológicos, bem como, ecossistêmicos, estão fortemente ligados à temperatura da água (POFF e WARD, 1990). É uma das principais variáveis de habitat lóticos que influem na estrutura, função e dinâmica populacional de muitos organismos aquáticos, além de afetar as propriedades físico-químicas de riachos (VANNOTE e SWEENEY, 1980; WARD, 1985), devido a sua influência sobre as reações químicas.

A temperatura da água desempenha um papel crucial no desenvolvimento fisiológico, na regulação de eventos sazonais, no comportamento e na sobrevivência de todos os organismos aquáticos de sangue frio, sendo muitas vezes vista como um obstáculo à recuperação de peixes em muitos rios (BARTHLOW et al., 2005).

Esta influência tão evidente e crucial ocorre, pois no reino animal, há formas diferentes de termorregulação entre as espécies, que permitem classificá-las de modo genérico em dois grandes grupos: os homeotérmicos, cuja temperatura corporal depende de sua própria atividade metabólica e os ectotérmicos, cuja temperatura corporal aproxima-se à do ambiente

em que vivem, sendo o calor metabólico de menor importância do que o calor do ambiente em determinar sua temperatura corporal.

Nos ectotérmicos, como resultado da inexistência de mecanismo próprio de manutenção de sua temperatura corporal, o efeito da temperatura do ambiente sobre o crescimento, desenvolvimento e sobrevivência é marcante, uma vez que, a velocidade das reações orgânicas é determinada pela temperatura da água, ocorrendo exigências térmicas delimitadas por temperaturas basais em que ocorre o desenvolvimento, faixas de tolerância, zonas de resistência (tolerância a regimes térmicos desfavoráveis por um tempo definido) e temperaturas letais (HUTCHISON e DUPRE, 1992). Até certo ponto, essas exigências podem ser variáveis dentro de uma espécie em função de sua aclimação ou pela adaptação aos diferentes habitats (WHEATON, 1987). Assim, é observado que cada espécie tem seu nicho térmico ecológico como um recurso de gama de temperaturas (MAGNUSON et al., 1979; HUEY, 1991) dentro do qual sua população é capaz de persistir.

Dentre estes organismos, destacam-se os peixes e os insetos aquáticos, cuja temperatura tem um papel marcante nos padrões de distribuição e abundância de suas espécies (VANNOTE e SWEENEY, 1980; CECH et al., 1990; RAHEL e HUBERT, 1991; HAWKINS et al. 1997). Segundos esses autores, a temperatura da água pode afetar diretamente, controlando suas taxas de alimentação, metabolismo e crescimento ou indiretamente pela mediação de interações bióticas.

A temperatura da água também influencia condições de habitat de peixes no substrato dos riachos (CRISP, 1990). Temperaturas desfavoráveis tendem a ser mais amenas no substrato durante o verão e maior no inverno, quando comparada às temperaturas de águas de superfície. Estas temperaturas não só influenciam o crescimento de insetos, mas também o desenvolvimento de ovos de salmonídeos (HAWKINS et al., 1997; BEER e ANDERSON, 2001). De fato, peixes e outros organismos aquáticos têm preferências específicas em temperatura, que, em última instância, pode determinar a sua distribuição e época de reprodução dentro dos rios (COUTANT, 1977; WICHERT e LIN, 1996; VAZZOLER, 1996).

Além disso, alterações térmicas impostas a um corpo hídrico atuam diretamente na estrutura das comunidades biológicas e processos ecossistêmicos. Segundo Percebon et al. (2005), dentre as principais estão: a) alteração da solubilidade de diversas substâncias; b) mudança nas condições das reações químicas e bioquímicas, (esta pode ser mais nociva que o lançamento de uma carga poluidora pontual num dado trecho do rio); c) presença de barreira física para espécies de peixes migratórias; d) atração para as áreas termicamente poluídas; e) aumento da suscetibilidade dos organismos a materiais tóxicos, bem como a doenças causadas por fungos, parasitas e outros agentes; f) redução do teor de oxigênio dissolvido; g) elevação da taxa de crescimento de plantas microscópicas aquáticas e peixes; h) desequilíbrio pela eclosão de ovos de peixes fora da época apropriada, antes da disponibilidade de sua fonte de alimento; i) choques térmicos podem induzir à mortalidade de pequenos crustáceos, importantes na cadeia alimentar; j) mudanças genéticas, estresse, doenças debilitantes que encurtam a vida ou aumentam a mortalidade de espécies, (isso é notado, principalmente, em locais onde a poluição térmica é intensa e persistente por longos anos).

Deste modo, variações sazonais e diárias de temperaturas da água são aspectos determinantes para a distribuição de espécies aquáticas, bem como descrito no Conceito de Rio Contínuo (VANNOTE et al., 1980). Segundo esta hipótese, mudanças no regime de temperatura e de outros fatores físicos resultam em comunidades bióticas previsivelmente estruturadas ao longo do longitudinal perfil dos sistemas fluviais. Assim, é importante dispor de uma boa compreensão de algumas das implicações biológicas relacionado ao regime térmico de rio para a gestão/manejo eficaz dos recursos pesqueiros bem como para conduzir as avaliações de impactos ambientais.

Outros estudos constataram em altas temperaturas da água, que muitas espécies aquáticas mudam seu comportamento, procurando refúgios (TORGERSEN et al., 1999; ELLIOTT, 2000). Ebersole et al. (2001) mostra que cerca de 10-40% dos peixes eram observados próximos aos refúgios térmicos, ao meio-dia e tal agregação de peixes resultou em maiores densidades do que os observados em outros locais do riacho. Para avaliar o efeito das alterações do regime térmico sobre a biota, pesquisas têm focado no desenvolvimento de modelos de temperatura da água. Modelos funcionais já têm desempenhado um papel importante nas previsões de

taxas de crescimento do salmão do Atlântico (JONSSON et al., 2001) e para o desenvolvimento de ovos de salmonídeos (ELLIOTT e HURLEY, 1998a, b). Tais modelos provem boas predições, mesmo entre rios termicamente diferentes (FORSETH et al., 2001).

Estudos revelam que as condições térmicas (média anual da temperatura da água) e a definição geográfica (latitude) desempenharam um importante papel no crescimento anual da abundância de peixes e podem melhorar a precisão dos modelos do crescimento (Jensen et al., 2000). Portanto, é essencial uma clara compreensão dos processos térmicos em rios, com modelos aproximados e associação de fluxos energéticos para desenvolver modelos adequados para prever temperaturas de águas fluviais. Estes modelos acabarão por resultar em melhorias na gestão e proteção de estoques pesqueiros, no estudo da variabilidade da água em águas correntes naturais, avaliação da degradação ambiental, bem como, na previsão de cenários futuros sobre o habitat e inúmeros organismos aquáticos.

Portanto, é notável que cada rio possua seu perfil térmico, uma vez que, expostos a fatores comuns, cada rio se comporta como uma entidade própria. Logo, o conhecido histórico térmico associado ao regime de descargas dos rios possibilitaria estabelecer uma curva chave de temperatura (PERCEBON et al., 2005), que certamente facilitaria os trabalhos de monitoramento de qualidade do corpo hídrico, pois seria possível estabelecer a temperatura em qualquer trecho do rio.

Além disso, a medida de temperatura da água de um rio é uma análise simples, fácil de ser obtida, pouco onerosa e pode ser um dado importante no controle ambiental das águas superficiais e ser ela própria uma resposta das condições do meio. Assim, com as inúmeras implicações da temperatura da água para as respostas bióticas, este trabalho demonstrou que o regime térmico em rios desempenha um papel crucial na produtividade de rios e riachos e, portanto, necessita de estudos, principalmente no que se refere ao contexto brasileiro, onde este entendimento ainda é insuficiente.

AGRADECIMENTO

À MSc. Cristina Cuiabália Pimentel pelas relevantes sugestões durante a revisão do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANGELOCCI, L.R.; VILLA NOVA, N.A. Variações da temperatura da água de um pequeno lago artificial ao longo de um ano em Piracicaba-SP. **Scientia Agricola**, v. 52, n.3, p. 431-438, 1995.
- ARSCOTT, D.B., TOCKNER K., WARD J.V. Thermal heterogeneity along a braided floodplain river (Tagliamento River, northeastern Italy). **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 58, p. 2359–2373, 2001.
- BARTHOLOW, J.M., CAMPBELL S.G., FLUG M. Predicting the Thermal Effects of Dam Removal on the Klamath River. **Environmental Management**, v. 34, n. 6, p. 856-874, 2005.
- BEER, W.N.; ANDERSON J.J. Effect of spawning day and temperature on salmon emergence: interpretations of a growth model for Methow River chinook. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 58, p. 943-949, 2001.
- BEUMER, J.P. Hydrology and fish diversity of a North Queensland tropical stream. **Australian Journal of Ecology**, v.5, p. 159-186, 1980.
- BORMANS, M.; WEBSTER, I.T. Dynamics of Temperature Stratification in Lowland Rivers. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 124, n. 10, p. 1059–1063, 1998.
- BROWN, G.W.; KRYGIER J.T. Changing water temperatures in small mountain streams. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 22, p. 242–244, 1967.
- BROWN, G.W.; KRYGIER J.T. Effects of clear-cutting on stream temperature. **Water Resources Research**, v. 6, p. 1133-1139, 1970.
- BROWN, L.E.; HANNAH, D.M.; MILNER, A.M. Hydroclimatological influences on water column and streambed thermal dynamics in an alpine river system. **Journal of Hydrology**, v. 325, p. 1-20, 2006.
- CAISSIE D.; EL-JABI, N.; ST-HILAIRE, A. Stochastic modeling of water temperature in a small stream using air to water relations. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 25, p.

250-260, 1998.

CAISSIE, D. The thermal regime of rivers: a review. **Freshwater Biology**, v. 51, p. 1389-1406, 2006.

CAISSIE, D.; SATISH, M.G.; EL-JABI N. Predicting river water temperatures using the equilibrium temperature concept with application on Miramichi River catchments (New Brunswick, Canada). **Hydrological Processes**, v. 19, p. 2137–2159, 2005.

CECH, J.J.; MITCHELL, S.J.; CASTLEBERRY, D.T.; MC ENROE, M. Distribution of Califórnia stream fishes: influence of environmental temperature and hypoxia. **Environmental Biology of Fishes**, v. 29, p. 95-105, 1990.

CHUTTER, F.M. Hydrobiological studies in the catchment of Vaal Dam, South Africa. Part I. River zonation and the benthic fauna. **Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie**, v. 55, p. 445-494, 1970.

COUTANT, C.C. Compilation of temperature preference data. **Journal of the Fisheries Research Board of Canada**, v. 34, p. 739-745, 1977.

CRISP, D.T. Water temperature in a stream gravel bed and implication for salmonid incubation. **Freshwater Biology**, v. 23, p. 601–612, 1990.

EATON, J.G.; MC CORMICK, J.H.; STEFAN, H.G.; HONDZO, M. Extreme value analysis of a fish/temperature field database. **Ecological Engineering**, v. 4, p. 289–305, 1995.

EBERSOLE, J.L.; LISS, W.J.; FRISSELL, C.A. Relationship between stream temperature, thermal refugia and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* abundance in arid-land streams in the northwestern United States. **Ecology of Freshwater Fish**, v. 10, p. 1-10, 2001.

ELLIOTT, J.M.; HURLEY, M.A. An individual-based model for predicting the emergence period of sea trout fry in a Lake District stream. **Journal of Fish Biology**, v. 53, p. 414-433, 1998a.

ELLIOTT, J.M.; HURLEY M.A. Predicting fluctuations in the size of newly emerged sea-trout fry in a Lake District stream. **Journal of Fish Biology**, 53, 1120– 1133, 1998b.

ELLIOTT, J.M. Pools as refugia for brown trout during two summer droughts: trout responses to thermal and oxygen stress. **Journal of Fish Biology**, v. 56, p. 938-948, 2000.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. São Paulo: Intersciência/FINEP, 575p, 1988.

FORSETH, T.; HURLEY, M.A.; JENSEN, A.J.; ELLIOTT, J.M. Functional models for growth and food consumption of Atlantic salmon parr, *Salmo salar*, from a Norwegian river. **Freshwater Biology**, v. 46, p. 173-186, 2001.

GARDNER, B.; SULLIVAN, P.J.; LEMBO, A.J. Predicting stream temperatures: geostatistical model comparison using alternative distance metrics. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 60, p. 344-351, 2003.

GEIJSKES, D.C. Observations on temperature in a tropical river. **Ecology**, v. 23, p. 106- 110, 1942.

HAWKINS, C.P.; HOUGE, J.N.; DECKER, L.M.; FEMINELLA, J.W. Channel morphology, water temperature, and assemblage structure of stream insects. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 16, p. 728-749, 1997.

HOCKEY, J.B.; OWENS, I.F.; TAPPER, N.J. Empirical and theoretical models to isolate the effect of discharge on summer water temperatures in the Hurunui River. **Journal of Hydrology**, v. 21, p. 1-12, 1982.

HOPKINS, C.L. The annual temperature regime of a small stream in New Zealand. **Hydrobiologia**, v. 37, p. 397-408, 1971.

HUEY, R.B. Physiological consequences of habitat selection. **American Naturalist**, v. 137, 90-115, p. 1991.

HUTCHISON, V.H.; DUPRE, R.K. **Thermoregulation**. p. 206–249, 1992. In: FEDER M.; BURGGREN, W.H. (Eds). Environmental physiology of the amphibians. University of Chicago Press, Chicago.

- HYNES, H.B.N. The ecology of stream insects. **Annual Review of Entomology**, v. 15, p. 25-42, 1970.
- JENSEN, A.J. Growth of young migratory brown trout *Salmo trutta* correlated with water temperature in Norwegian rivers. **Journal of Animal Ecology**, v. 59, p. 603–614, 1990.
- JENSEN, A.J.; FORSETH, T.; JOHNSEN, B.O. Latitudinal variation in growth of young brown trout *Salmo trutta*. **Journal of Animal Ecology**, v. 69, p. 1010–1020, 2000.
- JOHNSON, F.A. Stream temperatures in an alpine area. **Journal of Hydrology**, v. 14, p. 322 - 336, 1971.
- JOHNSON, S.L.; JONES, J.A. Stream temperature response to forest harvest and debris flows in western Cascades, Oregon. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 57, n. 2, p. 30-39, 2000.
- JONSSON, B.; FORSETH, T.; JENSEN, A.J.; NAESJE, T.F. Thermal performance of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. **Functional Ecology**, v. 15, p. 701–711, 2001.
- LANGAN, S.J.; JOHNSTON, L.; DONAGHY, M.J.; YOUNGSON, A.F.; HAY, D.W.; SOULSBY, C. Variation in river water temperatures in an upland stream over a 30-year period. **The Science of the Total Environment**, v. 265, p. 195-207, 2001.
- LOWNEY, C.L. Stream temperature variation in regulated rivers: evidence for a spatial pattern in daily minimum and maximum magnitudes. **Water Resources Research**, v. 36, p. 2947–2955, 2000.
- MAGNUSON, J.J.; CROWDER, L.B.; MEDVICK, P.A. Temperature as an ecological resource. **American Zoologist**, v. 19, p. 331–343, 1979.
- MARKARIAN, R.K. A study of the relationship between aquatic insect growth and water temperature in a small stream. **Hydrobiologia**, v. 75, p. 81-95, 1980.
- MINNS, C.K.; RANDALL, R.G.; CHADWICK, E.M.P.; MOORE, J.E.; GREEN, R. Potential impact of climate change on the habitat and production dynamics of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in eastern Canada. In: Climate Change and Northern Fish Population (Ed. R.J. Beamish), **Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 121, p. 699-708, 1995.
- MITCHELL, S. A simple model for estimating mean monthly stream temperatures after riparian canopy removal. **Environmental Management**, v. 24, p. 77-83, 1999.
- MOHSENI, O.; STEFAN, H.G.; EATON, J.G. Global warming and potential changes in fish habitat in U.S. streams. **Climatic Change**, v. 59, p. 389–409, 2003.
- MOHSENI, O.; STEFAN, H.G. Water budgets of two watersheds in different climatic zones under projected climate warming. **Climate Change**, v. 49, p. 77-104, 2001.
- MOSLEY, M.P. **New Zealand river temperature regimes**. Water and Soil Miscellaneous Publ. No. 36. Wellington, N.Z., 87p., 1982.
- MOSLEY, M.P. Variability of water temperatures in the braided Ashley and Rakaia Rivers, N.Z. **Journal of Marine Research**, v. 17, p. 331-342, 1983.
- MURRAY, G.L.D.; EDMONDS, R.L.; MARRA, J.L. Influence of partial harvesting on stream temperatures, chemistry, and turbidity in forests on the western Olympic Peninsula, Washington. **Northwest Science**, v. 74, p. 151-164, 2000.
- PATRICK, R.; ALDRICH, F.A.J.; CAIRNS, Jr.; DROUET, F.; HOHN, M.H.; ROBACK, S.S.; SKUJA, H.; SPANGER, P.J.; SWABEY, Y.H.; WHITFORD, L.A. The Catherwood Foundation Peruvian- Amazon Expedition: limnological and systematic studies. **Monogr. Acad. Nat. Sci.** v. 14, p. I-495, 1966.
- PERCEBON, C.M.; BITTENCOURT, A.V.L.; FILHO, E.F.R. Diagnóstico da temperatura das águas dos principais rios de Blumenau, SC. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 56, p. 7-19, 2005.
- POFF, N.L.; WARD, J.V. Physical habitat template of lotic systems: recovery in the context of

historical pattern of spatiotemporal heterogeneity. **Environmental Management**, v. 14, p. 629-645, 1990.

RAHEL, F.J.; HUBERT, W.A. Fish assemblages and habitat gradients in a Rocky Mountain-Great Plains stream: biotic zonation and additive patterns of community change. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 120, p. 319-332, 1991.

RUTHERFORD, J.C.; BLACKETT, S.; BLACKETT, C.; SAITO, L.; DAVIES-COLLEY, R.J. Predicting the effects of shade on water temperature in small streams. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 31, p. 707-721, 1997.

SCHINDLER, D.W. The cumulative effects of climate warming and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 58, p. 18-29, 2001.

SINOKROT, B.A.; GULLIVER, J.S. In-stream flow impact on river water temperatures. **Journal of Hydraulic Research**, v. 38, p. 339-349, 2000.

SINOKROT, B.A.; STEFAN, H.G.; MC CORMICK, J.H.; EATON, J.G. Modeling of climate change effects on stream temperatures and fish habitats below dams and near groundwater inputs. **Climatic Change**, v. 30, p. 181-200, 1995.

SIOLI, H. (1964). General features of the limnology of Amazonia. **Verhandlungen der Internationalen Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie**, v. 15, p. 1053-1058, 1964.

SMITH, K.; LAVIS, M.E. Environmental influences on the temperature of a small upland stream. **Oikos**, v. 26, p. 228-236, 1975.

SMITH, K. River water temperatures - an environmental review. **Scottish Geographical Magazine**, v. 88, p. 211-220, 1972.

TORGERSEN, C.E.; PRICE D.M.; LI H.W.; MC INTOSH, B.A. Multiscale thermal refugia and stream habitat associations of Chinook salmon in Northeastern Oregon. **Ecological Applications**, v. 9, p. 301-319, 1999.

TOWNS, D.R. Composition and zonation of benthic invertebrate communities in a New Zealand kauri forest stream. **Freshwater Biology**, v. 9, p. 251-262, 1979.

VANNOTE, R.L.; SWEENEY B.W. Geographic analysis of thermal equilibria: a conceptual model for evaluating the effect of natural and modified thermal regimes on aquatic insect communities. **The American Naturalist**, v. 115, p. 667-695, 1980.

VAZZOLER, A.E.A.M. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática**. Eduem, Maringá, Paraná, 169p, 1996.

WALKER, J.H.; LAWSON, J. D. Natural stream temperature variations in a catchment. **Water Research**, v. 11, p. 373-377, 1977.

WARD, J. Annual variation of stream water temperature. **Journal of the Sanitary Engineering Division**, v. 89, p. 3710-3732, 1963.

WARD, J.V.; STANFORD J.A. Thermal responses in the evolutionary ecology of aquatic insects. **Annual Review of Entomology**, v. 27, p. 97-117, 1982a.

WARD, J.V.; STANFORD J. A. **The serial discontinuity concept of lotic ecosystems**. In: Fontaine, T. D.; Bartell, S.M. (eds). Dynamics of Lotic Ecosystems. Ann Arbor Sci. Publ., Ann Arbor, Michigan, 29-42, 1982b.

WARD, J.V. Thermal characteristics of running waters. **Hydrobiologia**, v. 125, p. 31-46, 1985.

WEBB, B.W.; CLACK, P.D.; WALLING, D.E. Water-air temperature relationships in a Devon River system and the role of flow. **Hydrological Processes**, v. 17, p. 3069-3084, 2003.

WEBB, B.W.; NOBILIS F. Water temperature behaviour in the River Danube during the twentieth century. **Hydrobiologia**, v. 291, p. 105-113, 1994.

WEBB, B.W.; WALLING, D.E. Longer-term water temperature behaviour in an upland stream. **Hydrological Processes**, v. 7, p. 19-32, 1993a.

WEBB, B.W.; WALLING, D.E. Temporal variability in the impact of river regulation on thermal regime and some biological implications. **Freshwater Biology**, v. 29, p. 167-182, 1993b.

WEBB, B.W.; WALLING, D.E. Complex summer water temperature behaviour below a UK regulating reservoir. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 13, p. 463-477, 1997.

WHEATON, W. The cyclic behavior of the National Office Market. **AREUEA Journal**, v. 15, n. 4, p. 281-299, 1987.

WICHERT, G.A.; LIN, P. A species tolerance index of maximum water temperature. **Water Quality Research Journal of Canada**, v. 31, p. 875-893, 1996.

WISSMAR, R.C.; RICHEY, J.E.; STALLARD, R.F.; EDMOND, J.M. Plankton metabolism and carbon processes in the Amazon River, its tributaries, and floodplain waters, Peru- Brazil, May-June 1977. **Ecology**, v. 62, p. 1622-1633, 1981.