

TEMPERATURAS MÍNIMAS E TIPOS DE TEMPO DO INVERNO EM RIO CLARO – SP

Antonio Carlos Tavares¹
Thiago Salomão de Azevedo²
Iara Regina Nocentini André³
Anderson Luís Hebling Christofolletti⁴

Introdução

A cidade de Rio Claro, estado de São Paulo (SP), está situada na Média Depressão Periférica Paulista, a 22° 25' de latitude sul e 47° 34' de longitude oeste. Ocupa, principalmente, o interflúvio entre o rio Corumbataí e seu afluente pela margem esquerda, o Ribeirão Claro, que, do ponto de vista geomorfológico, é um pedimento detrítico elaborado nos primórdios do quaternário, com altitude aproximada de 600 metros. Nele há pequenos desníveis com inclinações predominantes entre 1% a 5%, frutos das incisões de três pequenos córregos que cortam a cidade. Com uma população aproximada de 187 mil habitantes (BRASIL, 2011), a área urbanizada possui cerca de 37 km² (TAVARES, 2008).

Segundo o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI, 2011), a temperatura média anual de Rio Claro é 21,6° C. Com temperatura média de 24,3° C e média das máximas de 29,9° C, fevereiro é o mês mais quente. Dotado de temperatura média de 17,9° C e média das mínimas de 10,7° C, julho é o mais frio. Janeiro, fevereiro e março formam o trimestre de temperaturas mais elevadas e junho, julho e agosto são os meses de temperaturas mais baixas. A precipitação média anual é de 1366,8 mm. O mês mais chuvoso é janeiro, com média de 234,1 mm, e o mais seco é julho, cuja precipitação média é de 26,9 mm.

No posto pluviométrico situado no campus da UNESP, no Bairro Santana, a pluviosidade anual do período 1993/2005 oscilou entre 1184,2 mm, no ano de 2001, e 1760,3 mm, em 1995. Nos meses de janeiro a março, que constituem o trimestre mais chuvoso, a precipitação variou de 455,1 mm, em 1996, a 1026,9 mm no ano de 1994. Nesse trimestre, a chuva correspondeu a 34,48% de um total anual de 1319,8 mm, tombados em 1997, e a 72,39% de 1269,2 mm

em 1999. Em 1995 houve seis dias, nesses três meses, em que as precipitações superaram 50 mm num período de 24 horas, cinco dias em 1991 e 2004 e quatro dias nos anos de 1999 e 2003. As chuvas superiores a 100 mm em 24 horas foram de 154,0 mm em 2005, 125,5 mm em 1993, 110,1 mm em 1991 e 105,0 mm em 1999 (TAVARES, 2008).

Andrade (2007) estudou as tendências das temperaturas de Rio Claro a partir de dados, do período 1994/2006, coletados na estação meteorológica de primeira ordem do Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), da Universidade Estadual Paulista (UNESP). A autora detectou que as temperaturas médias apresentaram crescimento de $0,0505^{\circ}$ C por ano e as mínimas de $0,0236^{\circ}$ C. Nesta pesquisa, as temperaturas máximas não apresentaram propensão à elevação.

Tais resultados são condizentes com os obtidos por outros pesquisadores. Gonçalves e Assad (2009), ao investigarem as tendências térmicas no Brasil, verificaram aumentos das temperaturas mínimas em 72 das 78 estações meteorológicas utilizadas. Nas seis em que não houve tal constatação, a série de dados era de apenas dez anos, o que impossibilitou a verificação de propensões. Na região norte o acréscimo encontrado foi de $0,5^{\circ}$ C por década, no nordeste e no sudeste $0,3^{\circ}$ C e no centro-oeste e sul $0,2^{\circ}$ C.

Morais et al. (2011), utilizando dados de estações meteorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em períodos que começaram entre 1958 e 1979 e que se estenderam até 2009, observaram que em 15 dos 21 postos avaliados houve elevação das temperaturas mínimas. Todos os locais localizados no norte e leste do estado do Paraná (PR) apresentaram tendência de aumento na temperatura mínima. Os aumentos registrados variaram de $0,0393^{\circ}$ C por ano, em Cambará, a $0,0173^{\circ}$ C, em Bandeirantes. Com relação às temperaturas máximas, os resultados não foram expressivos.

Gasparotto, Caramori e Vasconcellos (s/d) também analisaram as temperaturas de cidades paranaenses e, no tocante às temperaturas mínimas, obtiveram resultados parecidos com os expostos por Moraes et al. (2011). Neste

estudo, cidades como Bandeirantes, Cascavel e Cerro Azul apresentaram acréscimos nas temperaturas mínimas superiores a 0,03°C por ano, Telêmaco Borba e Fernandes Pinheiro superiores a 0,04° C, e Palmas aumento maior do que 0,05° C a cada ano.

Ricce et al. (2009) constataram, de 1961 a 2008, em Londrina – estado do Paraná (PR), um aumento de 1,33° C na temperatura mínima anual, de 0,83° C na temperatura média e de apenas 0,33° C na temperatura máxima.

No estado de São Paulo, Blain, Picoli e Lulu (2009) também detectaram aumentos significativos nas temperaturas mínimas de algumas localidades, com postos meteorológicos gerenciados pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Houve destaque para Campinas, que, entre 1917 e 2006, teve sua temperatura mínima elevada na proporção de 0,0231° C a cada ano, e para Ribeirão Preto e Cordeirópolis, onde, de 1951 a 2005, as elevações anuais foram, respectivamente, de 0,031° C e de 0,032° C.

Tavares, Souza e Pitton (2007), considerando as médias móveis de cinco anos das temperaturas mínimas dos meses de junho, julho e agosto, verificaram que as temperaturas de Piracicaba, entre 1970 e 2002, medidas no posto meteorológico da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), tiveram um acréscimo de 0,0427° C a cada ano. No mesmo período, as máximas apresentaram um acréscimo similar. No entanto, as temperaturas mínimas mostraram uma variabilidade mais acentuada.

O crescimento das temperaturas e, no caso, das temperaturas mínimas, é um fenômeno esperado, de acordo com as previsões relatadas pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), que vislumbra uma diminuição de dias e noites frias.

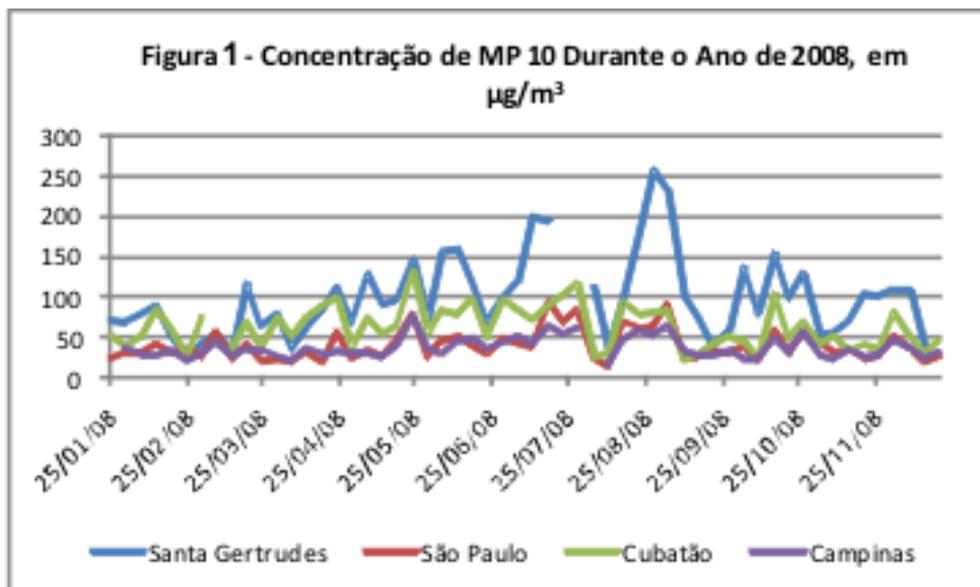
O inverno em Rio Claro, além das baixas temperaturas, corresponde ao final do período de estiagem. A ausência das chuvas propicia o acréscimo de materiais particulados na atmosfera, o que é facilitado também pelas frequentes

inversões térmicas. A piora da qualidade do ar no período e as quedas da temperatura e da umidade relativa foram associadas ao aumento de doenças do aparelho respiratório (CASTRO, 2000).

Segundo dados da Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento (ASPACER, 2011), no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, que se estende pelas cidades vizinhas de Limeira, Cordeirópolis, Rio Claro, Ipeúna, Piracicaba e Araras, há 34 indústrias cerâmicas, a maioria instalada em Santa Gertrudes, respondendo por 56% da produção brasileira de 760 milhões de m² de pisos e por 50% das exportações.

Esta atividade é responsável por lançar grandes quantidades de material particulado na atmosfera. A poluição do ar se dá na extração da argila, quando há altas emissões de clásticos pelo uso de retroescavadeiras, tratores de esteira, pás carregadeiras e, em alguns casos, também de explosivos. Ocorre também pelo transporte, feito diariamente por centenas de caminhões que circulam com as caçambas descobertas em estradas não pavimentadas, e na preparação da matéria-prima, com a passagem de roletes metálicos, puxados por tratores, sobre a argila espalhada no pátio das indústrias ou nos lugares de extração.

Como decorrência dessas ações, tomando-se, por exemplo, as concentrações de material particulado (MP10) no ano de 2008, constatou-se que elas foram sempre maiores em Santa Gertrudes do que nas cidades de Campinas, Cubatão e São Paulo (Figura 1). Embora isso tenha ocorrido durante todo o ano, os maiores valores detectados e as discrepâncias mais acentuadas se deram nos meses de julho, agosto e setembro, mostrando a influência dos tipos de tempo predominantes no inverno.



Fonte: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2008)

Assim, o estudo das temperaturas mínimas dos meses de inverno em Rio Claro, estado de São Paulo, se justifica por permitir verificar, como em outros locais, a diminuição das noites e dias frios, o que acentuaria a deficiência hídrica e diminuiria a umidade relativa. Justifica-se também possibilitar melhor conhecimento dos tipos de tempo favoráveis à concentração de poluentes na atmosfera, que, ao lado dos parâmetros mencionados, respondem por estados atmosféricos desfavoráveis à agropecuária e à saúde dos cidadãos.

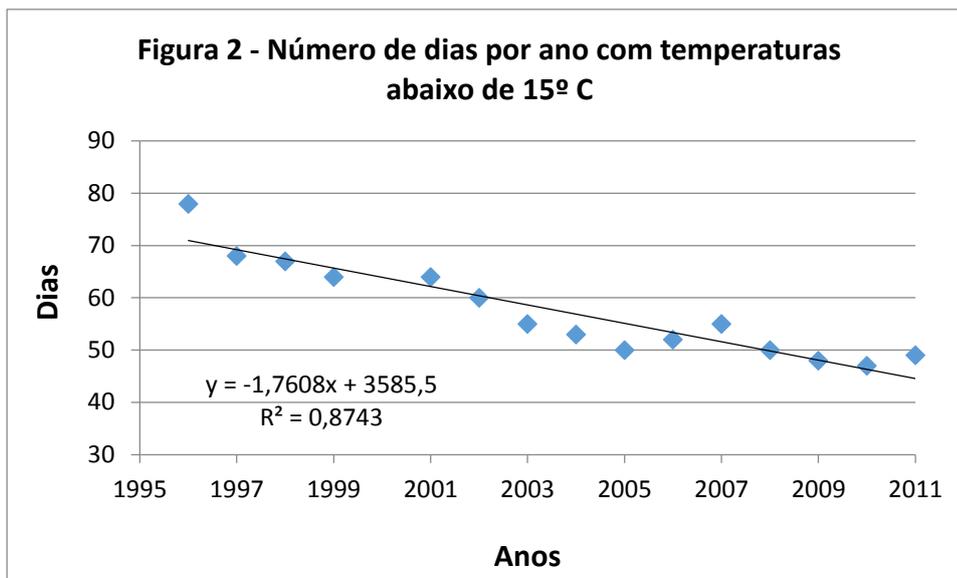
Coleta e análise dos dados

Foram consideradas, no presente estudo, as temperaturas horárias de todos os dias dos meses de julho, agosto e setembro (inverno), do período 1995/2012, coletadas no posto instalado nas dependências da UNESP, no bairro Santana, em Rio Claro, localizado numa altitude de 622 metros, a $22^{\circ} 23' 24''$ de latitude sul e $47^{\circ} 34' 18''$ de longitude oeste. Em todo o período de coleta de dados não houve modificações nas instalações físicas da Universidade e em seus arredores. Não foram analisados os dados do ano 2000 em razão das numerosas falhas apresentadas. O período de inverno foi tomado para investigação por combinar noites e dias frios, com tempo seco e piora na

qualidade do ar. Junho possui baixas temperaturas, porém não contempla a época mais acentuada da estiagem.

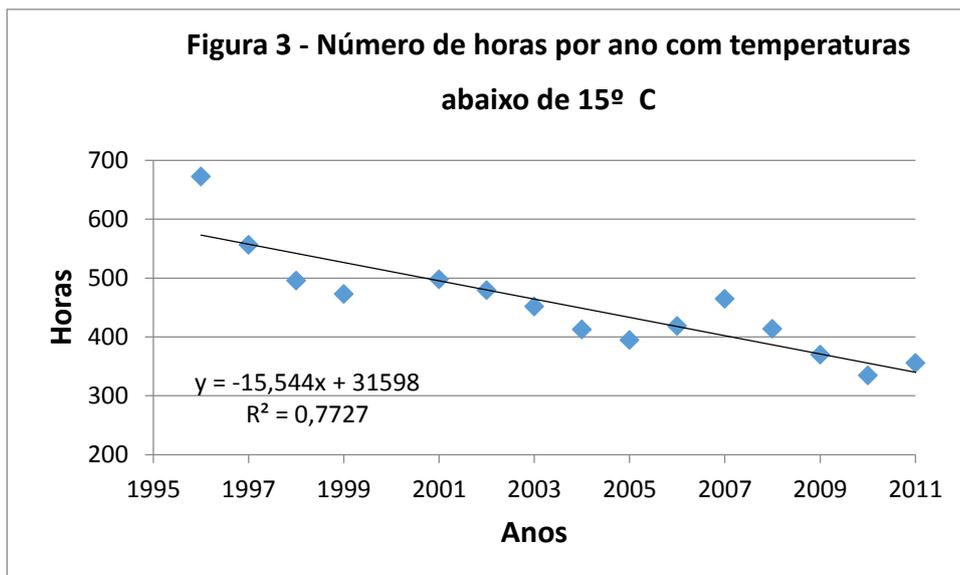
Na pesquisa, foram consideradas as temperaturas inferiores a 15° C como associadas ao tempo frio, tendo em vista que, salvo raras exceções, elas ocorreram na madrugada, no início das manhãs e no final do período noturno. Com a vigência de tais valores térmicos, numa cidade tropical, onde predominam registros superiores a 20° C e uma temperatura média do mês mais frio em torno de 18° C, as pessoas procuram se agasalhar. Os valores de temperatura foram separados em quatro classes: entre 14,9° e 12° C, de 11,9° a 9° C, de 8,9° a 6° C e menos do que 6° C. Isso permitiu verificar o número de horas mensais em que as temperaturas se mantiveram dentro de cada intervalo de classe e o número de dias em que foram registrados valores abaixo de 15° C.

Após a organização dos dados, foi possível perceber uma tendência para a diminuição no número de dias com temperaturas abaixo de 15° C, ao longo do período estudado. Para amenizar a influência da variabilidade, utilizou-se a média móvel para cada três anos de observação. Aos valores obtidos, ajustou-se uma reta de regressão, cuja equação revelou uma diminuição de quase dois dias frios por ano, ou perto de 30 dias ao longo do período focado, conforme a Figura 2. Assim, enquanto na segunda metade da década de 1990, durante o inverno, a temperatura ficava abaixo de 15° C entre 65 e 75 dias, por volta de 2010 os dias designados frios já eram inferiores a 50. Mantida esta propensão, é possível esperar que, por volta de 2040, Rio Claro não registre mais temperaturas inferiores a 15° C durante o inverno.



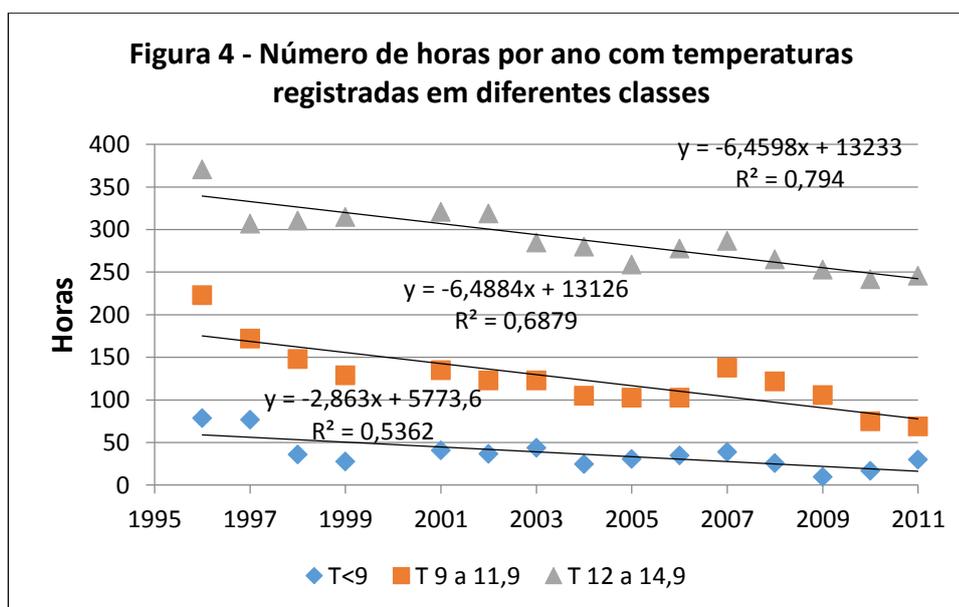
Organizada pelos Autores

O mesmo padrão foi observado em relação ao número de horas em que a temperatura permaneceu abaixo de 15° C. Para verificar o comportamento dessa variável, em razão da intenção mencionada, foi calculada também a média móvel de três anos. Os resultados mostraram que, a cada ano, diminuiu, em torno de 15, o número de horas com temperaturas abaixo do valor estipulado na pesquisa. Se entre 1995 e 1997 havia mais de 550 horas com temperaturas inferiores a 15° C, depois de 2009 esse número apresentou tendência para ficar próximo de 350 horas (Figura 3). Tal propensão é mais preocupante do que a do número de dias com temperaturas inferiores a 15° C, pois, se mantida, Rio Claro, na primeira metade da década de 2030, deixará de registrar dados inferiores a este valor no inverno.



Organizada pelos Autores

Calculada a média móvel de três anos para as temperaturas distribuídas pelas classes com valores inferiores a 9° C, entre 9° C e 11,9° C, e de 12° C a 14,9° C, as mesmas propensões apresentadas pelo número de dias e pelo número de horas em que as temperaturas foram inferiores a 15° C foram constatadas, conforme exposto na Figura 4.



Organizada pelos Autores

As temperaturas entre 12 e 15,9° C e as situadas entre 9 e 11,9° C diminuiram 6,5 horas por ano e as inferiores a 9° C declinaram perto de três horas anualmente. Temperaturas inferiores a 9° C tiveram menor queda do que as das demais classes por já serem, naturalmente, mais escassas. Provavelmente, depois de 2020, temperaturas abaixo de 10° C dificilmente ocorrerão na cidade de Rio Claro, caso as tendências verificadas no período estudado permaneçam (Figura 4).

Durante os anos analisados, por 7918 horas as temperaturas foram inferiores a 15° C, o que dá uma média de 465 horas anuais. No entanto, em 1996 ocorreram 775 horas e 705 horas em 1995. Em contrapartida, em 2005 houve 316 horas; de 2009 a 2011, 329, 327 e 349 horas, respectivamente; e em 2004, 388 horas. Portanto, em 1996 foram 2,5 vezes mais horas de baixas temperaturas do que em 2005. Em 1995 foram 84 dias com temperaturas abaixo de 15° C, 46 em 2005 e 43 em 2009, isto é, nos dois últimos anos houve perto da metade das ocorrências do primeiro. Isso mostra a forte variabilidade no número de dias e de horas de baixas temperaturas, que está ligada a diferentes padrões de circulação atmosférica e não apenas a uma tendência linear. A Tabela 1 mostra a distribuição das horas de temperaturas menores do que 15°C entre 1995 e 2012.

Os anos mais frios foram os do início do período, sobretudo 1996, que teve 47 horas de temperaturas menores do que 6° C. O segundo menor valor, de 16 horas, ocorreu em 1997. Também em 1996, no mês de julho, as horas com temperaturas entre 9 e 11,9° C superaram as com valores superiores a 12° C.

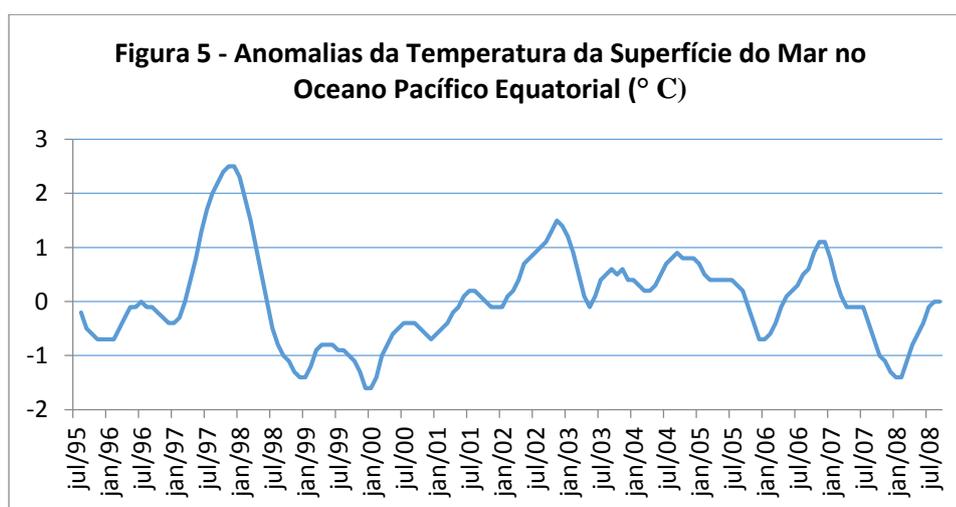
Os menos frios foram 2005, 2009 e 2010, quando em apenas duas, sete e dez horas, respectivamente, as temperaturas ficaram aquém de 9° C. Em 2005 houve 56 horas abaixo de 12° C. Este valor superou em apenas 7 horas as temperaturas mais baixas do que 6° C, ocorridas em 1996 (Tabela 1).

Tabela 1 – Número de horas em que a temperatura ficou abaixo de 15° C																			
Mês	Classes (°C)	Anos																	Total
		5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	
Jul	< 6		9																9
	6 a 8,9		6		3	0	4	7	1	1		5	2	4				1	35
	9 a 11,9	7	37	0	4	1	3	7	2	2	2	9	8	22	1	5	8	1	159
	12 a 14,9	47	10	54	34	56	60	47	88	17	34	47	36	26	46	17	7	33	339
ago	< 6			6															6
	6 a 8,9		1	4		8			0	3		5					2		72
	9 a 11,9	5	8	3	7	02	0		0	4	2	0	7		0	4	6	4	68

	1 2 a 14,9	44	35	29	7	28	23	5	25	7	6	03	13	9	9	8	8	6	645
et	< 6																		
	6 a 8,9	5	2					3				5							8
	9 a 11,9	0	7	3	7	9	4	0	4			0	2	0			3	7	96
	1 2 a 14,9	48	22	4	8	3	8	5	7		0	7	5	17	6	3	2	6	035
Total		05	75	40	56	92	72	42	37	88	16	83	59	54	29	27	49	94	918

Organizada pelos Autores

Essa variabilidade pode ser explicada, parcialmente, pelas temperaturas do Oceano Pacífico Equatorial. Com base nas temperaturas registradas entre as latitudes de 5° N e 5° S e entre as longitudes de 120° W e 170° W, no período entre 1971 e 2000, foram estabelecidas pelo National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, s/d) as anomalias térmicas registradas na superfície do mar, as quais, durante o período estudado, variaram entre 2,4° C, em outubro de 1997, a -1,6° C, em dezembro de 2009 (Figura 5).



Fonte: NOAA (2011)

Nos anos de 1995 e 1996, por exemplo, que tiveram um maior número de horas com temperaturas abaixo de 15° C, as temperaturas no Pacífico estiveram abaixo do normal, o que se prolongou até o início de 1997. A partir do início desse ano houve um rápido aquecimento, que chegou ao auge na primavera e que se prolongou pelo primeiro semestre do ano seguinte. Como resultado, 1998 teve cerca da metade das horas com temperaturas designadas frias em comparação com os dois anos iniciais da série (Figura 5).

Entre junho de 1998 e o final de 2001, o Pacífico apresentou novamente anomalias negativas de temperatura, que atingiram o valor extremo em dezembro de 1999. O número de horas com baixas temperaturas voltou a crescer no período. Em 2002, outra ascensão térmica, que atingiu seu pico no

final daquele ano, esteve associada a um ligeiro declínio no número de horas com temperaturas abaixo de 15°C. No começo de 2003 as temperaturas retornaram aos valores normais, mas, em seguida, tornaram a subir, até o final do inverno de 2005, sem, contudo, ultrapassarem valores de 1° C em relação aos valores médios. Embora o aquecimento tenha sido menor do que o verificado em 1997/1998, ele foi mais duradouro e, com isso, o número de horas com baixas temperaturas, em 2004 e 2005, foram similares ao ocorrido em 1998. As temperaturas no Pacífico apresentaram anomalias positivas e negativas no final do período estudado, que variaram entre 1,1° C em novembro de 2006 e -1,1° C em novembro de 2007, sem, contudo, interferirem no número de horas de frio no inverno de Rio Claro (Figura 5).

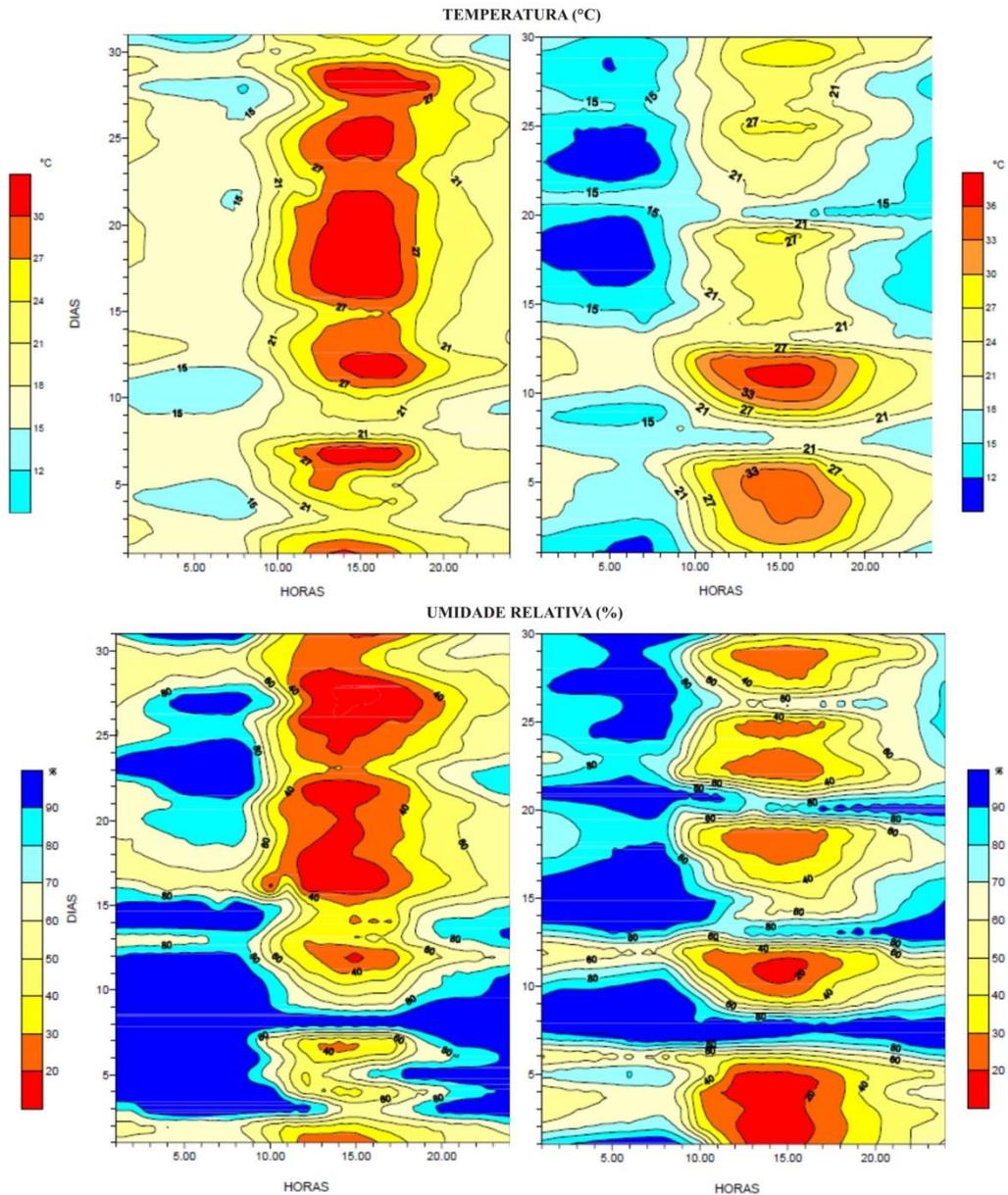
Tipos de tempo e qualidade do ar no inverno

O episódio compreendido entre 1° de agosto e 21 de setembro de 2008 foi tomado como exemplo em razão da disponibilidade de dados de material particulado MP 10, medidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), nas cidades de Santa Gertrudes, adjacente a Rio Claro, Limeira e Piracicaba, todas situadas na Média Depressão Periférica Paulista e integrantes do Polo Cerâmico. Suas populações, de acordo com o censo demográfico de 2010, eram, respectivamente, de 21.634, 276.022 e 364.571 habitantes (BRASIL, 2010). Esta análise episódica teve a intenção de ilustrar a influência da circulação atmosférica e dos tipos de tempo do inverno na qualidade do ar.

Agosto teve início com uma frente fria que passou nos dias 2 e 3 de setembro de 2008 pelo estado de São Paulo. No posto meteorológico do campus da UNESP, no bairro Bela Vista, choveu 17,5mm. Na região predominaram ventos de norte com velocidades médias de 3,2 m/s e rajadas de até 22,7 km/h. Seguiu-se à onda frontal uma massa de ar frio, que provocou temperaturas abaixo de 15° C pela manhã e à noite e máximas inferiores a 24° C. A umidade

relativa, nos momentos de temperatura mais elevada, esteve sempre acima de 60% (Figura 6).

Figura 6 - Temperatura e Umidade Relativa
Posto: UNESP - Santana - Agosto e Setembro/2008.
Latitude: 22°23'59"S Longitude: 47°34'18"W Altitude: 622m



Organizada pelos Autores

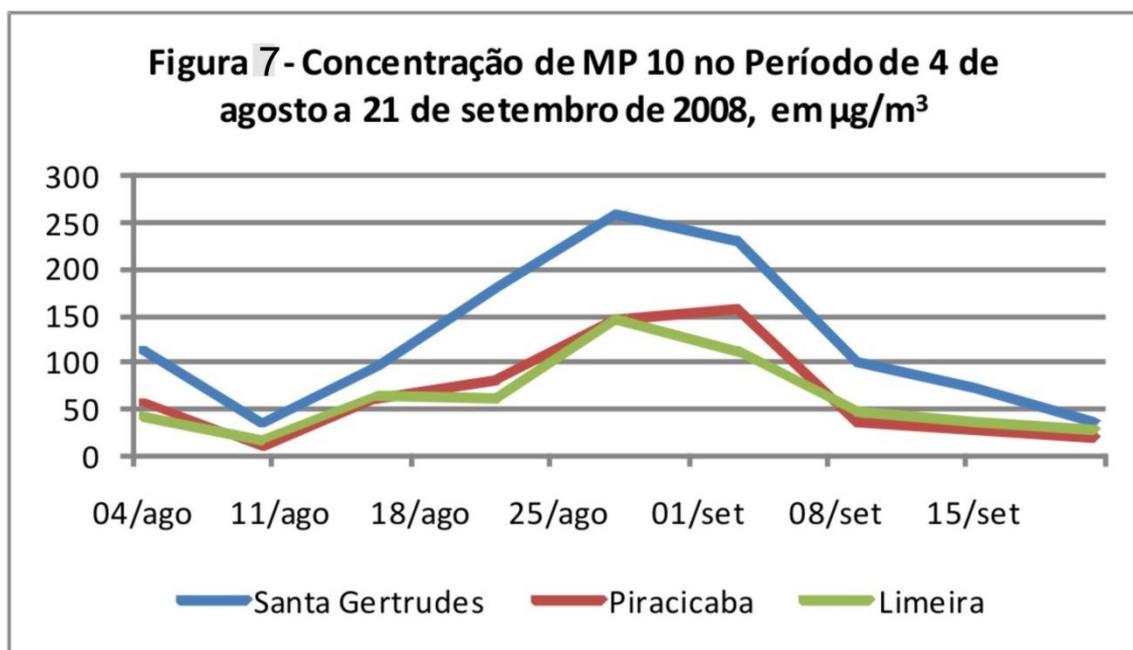
A partir do dia 5, cavados tornaram o céu nublado em Rio Claro, mas sem registro de chuvas. Porém, no final do dia 7, a interação com o ar úmido oriundo

da Amazônia Ocidental desencadeou outro sistema frontal que atuou na latitude tropical até o dia 10. Entre os dias 8 e 9 choveu em Rio Claro 50,2 mm e os ventos foram os mais fortes registrados no mês, com rajadas de SW, que alcançaram 45,7 km/h. Com a ação do sistema polar, subiu a umidade relativa, e as temperaturas máximas ficaram aquém de 24° C e as mínimas abaixo de 15° C. Depois das chuvas do começo de agosto, a concentração de MP 10 na atmosfera foi de 34 µg/m³ em Santa Gertrudes, de 10 µg/m³ em Piracicaba e de 17 µg/m³ em Limeira (Figura 7).

A partir do dia 11 de agosto, a Média Depressão Periférica Paulista permaneceu sob o domínio do anticiclone subtropical do Atlântico, que ocasionou uma rápida elevação das temperaturas e queda na umidade relativa. Esta tendência foi interrompida nos dias 13 e 14, 22 e 23 e 27 de agosto de 2008, quando frentes frias se posicionaram ao sul da área estudada ou se deslocaram principalmente pelo litoral. Nestas ocasiões, os ventos sopraram de sudoeste e sul, causando breves refrigérios e elevação da umidade relativa (Figura 6).

Com o predomínio do anticiclone subtropical do Atlântico, que se prolongou desde o dia 11 até o final do mês de agosto, houve grande acúmulo de material particulado na atmosfera. Assim, no dia 28 de agosto, as concentrações de MP 10 atingiram 258 µg/m³ em Santa Gertrudes, 145 µg/m³ em Piracicaba e 146 µg/m³ em Limeira (Figura 7). A frente fria que passou pela região no final de agosto também não provocou chuva. Sob sua influência, as temperaturas foram reduzidas, mas a umidade relativa durante as horas de maior calor estiveram abaixo de 40% e até mesmo de 20% nos primeiros dias de setembro (Figura 6). Nestas circunstâncias, a concentração de MP10 se manteve elevada, com registro de 231 µg/m³ na cidade de Santa Gertrudes, no dia 3 de setembro (Figura 7). A este episódio frontal se seguiu uma forte onda de calor, com as temperaturas superando 33° C e a umidade relativa atingindo valores abaixo de 20% (Figura 6).

Esta situação prolongada e favorável à concentração de poluentes começou a se desfazer com o sistema frontal que, embora sem provocar chuva, trouxe ventos do quadrante sul, derrubou as temperaturas e elevou a umidade relativa na área analisada nos dias 7 e 8 de setembro (Figura 6). A ele se seguiu um rápido e forte aquecimento, interrompido por outra frente, de atuação principalmente litorânea, que passou por São Paulo no dia 14. Em continuidade, o domínio do anticiclone polar gerou temperaturas abaixo de 12° C durante as madrugadas, o que não havia ocorrido em todo o mês de agosto, elevando a umidade relativa. A frente que sucedeu o domínio da massa polar provocou, no dia 21 de setembro, chuvas de 22,2 mm. As sucessivas incursões frontais, com ventos do quadrante sul dotados de velocidades superiores a 8 m/s, queda na temperatura e aumento da umidade relativa, associados à precipitação ocorrida no último evento, reduziram as concentrações de MP10 para 38 µg/m³ em Santa Gertrudes, 19 µg/m³ em Piracicaba e 28 µg/m³ em Limeira (Figura 7).

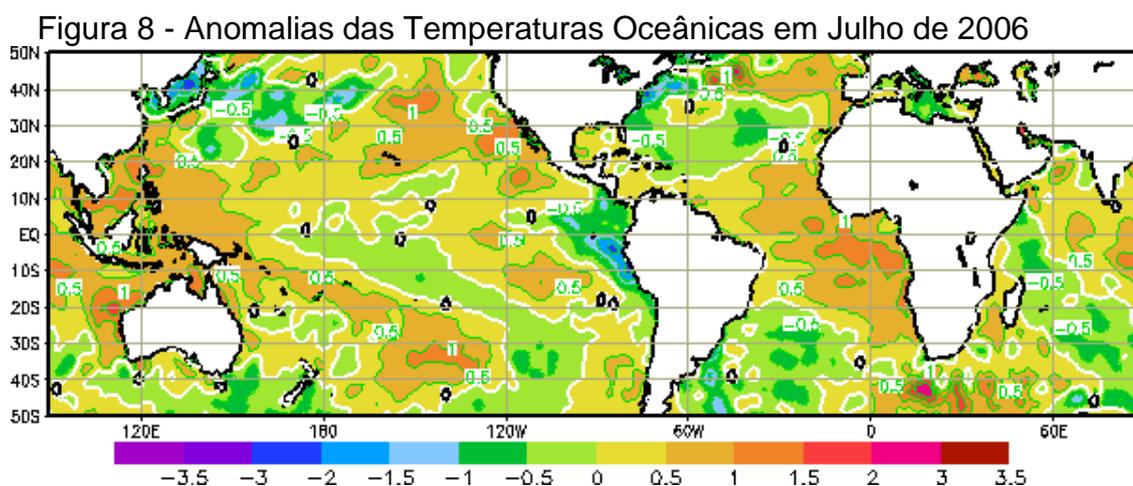


Fonte: CETESB (2009)

Tipos de tempo no inverno e baixas temperaturas

O mês de julho de 1996 foi o que apresentou um maior número de horas com temperaturas abaixo de 15° C e menores do que 6° C. De todos os meses analisados entre os invernos de 2005 e 2012, este foi, portanto, o mais frio.

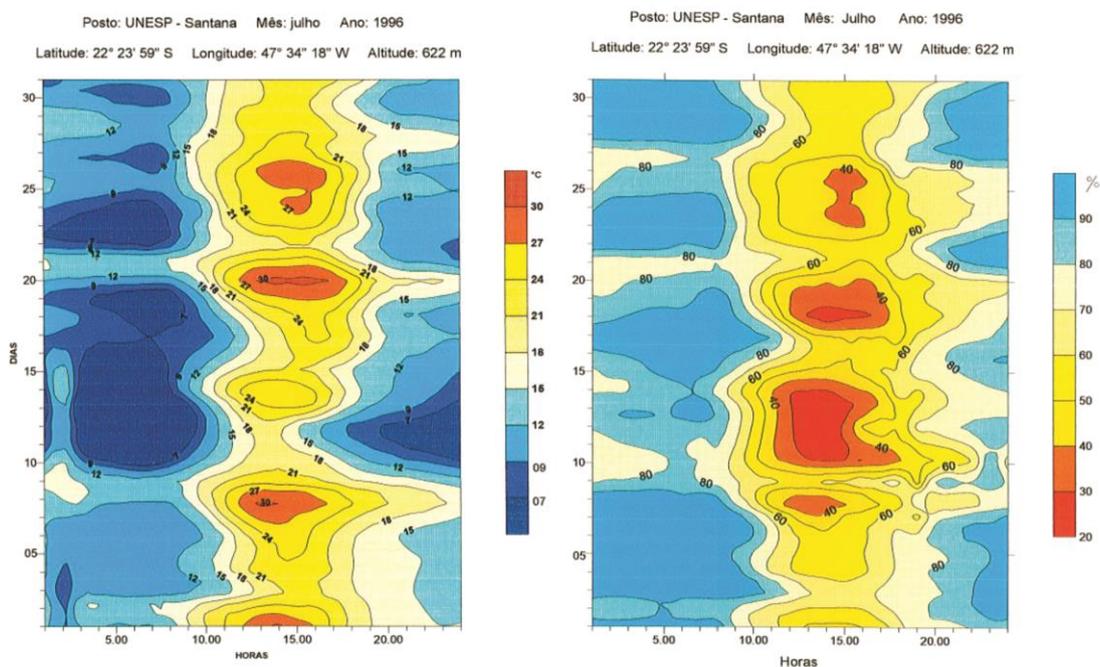
As temperaturas da superfície do mar sobre o Oceano Pacífico Equatorial, na porção central e, principalmente, nas imediações da América do Sul, estavam abaixo da média em decorrência do fenômeno La Niña, que se iniciara no ano anterior. Junto ao litoral das regiões sul e sudeste do Brasil, as águas do Oceano Atlântico também apresentavam anomalias negativas de temperatura (Figura 8). As baixas temperaturas do Pacífico Equatorial e do Atlântico influenciaram as temperaturas reduzidas no continente, principalmente por ocasião do predomínio dos anticiclones polares.



O mês de julho de 2006 começou com o Estado de São Paulo sob o domínio de um anticiclone polar. O último sistema frontal que passou pela latitude tropical no mês antecedente se achava atuando no sul da Bahia. Nestas condições as temperaturas em Rio Claro ficaram, durante toda a madrugada até o início da manhã, e nas horas finais do período noturno, entre 12° e 15° C, com

umidade relativa superior a 80% e ventos soprando, predominantemente, do nordeste, com velocidades médias de 1 a 2 m/s (Figura 9).

Figura 9 - Temperatura e Umidade Relativa



Organizada pelos Autores

Os dois primeiros sistemas frontais que alcançaram a região sudeste passaram por São Paulo nos dias 3 e 6 de julho e chegaram rapidamente ao estado baiano. Eles influenciaram o tempo principalmente na região litorânea, causando nebulosidade e chuveiros. A penetração do ar polar, que sucedeu esses dois sistemas frontais, abaixou ainda mais as temperaturas, que, em Rio Claro, entre 0 e 8 horas, permaneceram inferiores a 12° C. A umidade relativa durante este tempo e no final do período noturno ficou acima de 90% (Figura 9). Sob o domínio dos anticiclones polares, os ventos foram do quadrante sul até o dia 8, quando mudaram para leste e nordeste, à medida que um sistema de baixa pressão se estabelecia entre o Paraguai e o Rio Grande do Sul e dava origem a outro sistema frontal.

A frente que se formou no interior do continente passou rapidamente pelo sul e pelo sudeste e, no dia 13, já se posicionava ao sul da Bahia, onde entrou em frontólise. Durante sua passagem, o céu permaneceu nublado e as temperaturas caíram acentuadamente, com registro de valores abaixo de 7° C durante a madrugada, no começo da manhã e no período noturno. Todavia, mesmo com temperaturas reduzidas, a umidade relativa ficou abaixo das registradas nas invasões polares anteriores, não ultrapassando 90% nos momentos em que se mostrou mais elevada. Durante o período vespertino, com temperaturas menores que 27° C, a umidade relativa caía para valores entre 20% e 30%, mostrando a baixa umidade da atmosfera, propiciada por um anticiclone polar continental, que favorecia amplitudes térmicas em torno de 20° C (Figura 9).

Antes que a região, onde está situada a cidade de Rio Claro, sofresse um aquecimento, ela foi alcançada por outra frente fria, que no dia 14 estava no Rio Grande do Sul e entre os dias 15 e 16 já atuava na latitude tropical. Este novo fluxo de ar frio manteve as condições vigentes até o dia 20 de julho, quando se estabeleceram temperaturas acima de 12° C durante e madrugada e de 30° C durante o período da tarde, sob o predomínio de ventos que oscilaram entre o leste e o noroeste, denotando um período de rápido aquecimento pré-frontal (Figura 9).

Outra frente fria, que atuava no Rio Grande do Sul no dia 18, se deslocou pelo litoral e influenciou o interior paulista a partir do dia 22, quando as temperaturas declinaram novamente e atingiram, na madrugada, menos de 7° C, com umidade relativa maior do que 90%. Entre os dias 22 e 24, os ventos sopraram do quadrante sul, à medida que o sistema frontal se dirigia até Salvador, onde entrou em frontólise. Entre os dias 25 e 27, os ventos em Rio Claro sopraram principalmente do nordeste, enquanto o anticiclone polar se dirigia para o Atlântico (Figura 9).

A última frente fria que atuou no estado de São Paulo, em julho de 2006, passou a influenciar Rio Claro no dia 28, quando ventos dos quadrantes sul e norte se alternaram. A partir do dia seguinte imperaram ventos de sudoeste e sul, as temperaturas declinaram para valores menores que 9° C na madrugada, com umidade relativa maior que 90%, e entre 21 e 24° C durante a tarde, quando a umidade relativa caía para menos de 60% (Figura 9).

Conclusões

Os resultados obtidos permitiram tecer as seguintes conclusões:

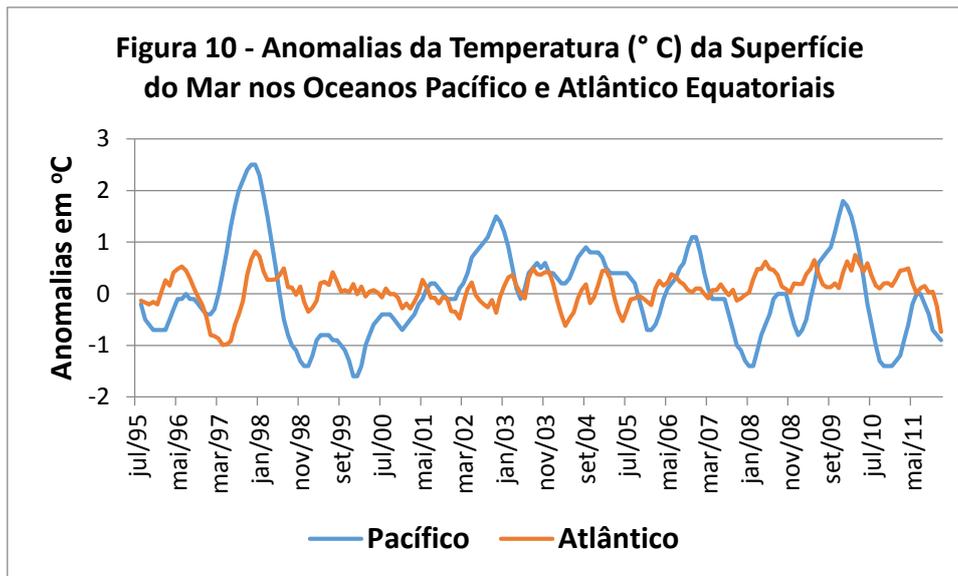
a) É grande a variabilidade das temperaturas no inverno na cidade de Rio Claro – SP e tal constatação pode ser extrapolada para outras cidades interioranas localizadas na latitude tropical;

b) Durante os meses de inverno há tipos de tempo com temperaturas elevadas para a estação do ano, baixa umidade relativa e grandes amplitudes térmicas diárias, sobretudo durante atuações prolongadas da Massa Tropical Atlântica ou ainda de Anticiclones Polares Tropicalizados. Durante esses episódios a qualidade do ar tende a sofrer uma piora, com a concentração de poluentes, entre os quais os materiais particulados, em razão da ocorrência de inversões térmicas propiciadas pela subsidência, o que é prejudicial à saúde dos cidadãos. Nessas situações agravam-se as alergias e crescem os registros de doenças associadas ao aparelho respiratório, principalmente entre idosos e crianças e em pessoas com predisposição a tais males.

c) Em outras ocasiões, no período de inverno, há uma sucessão de incursões da Frente Polar Atlântica pelo Brasil Meridional, a qual ultrapassa rapidamente os trópicos e alcança o sul da Região Nordeste. Em tais casos, o domínio dos Anticiclones Polares, em seguidas ondas de frio que se estabelecem à medida que os eixos frontais se posicionam em baixas latitudes, propiciam duradouros períodos com temperaturas menores do que 6° C durante

as madrugadas, início das manhãs e no final das noites, criando condições para a ocorrência de geadas nos locais em que o fenômeno é facilitado pela topografia. O ar muito frio é dotado de baixa umidade absoluta, gerando grandes amplitudes térmicas diárias, que podem superar 20° C. Em invernos com essas características, fruto das sucessivas passagens frontais, a turbulência se encarrega de dissipar os poluentes, mesmo com a ausência de precipitações. Ainda assim, com ar muito frio e fortes contrastes térmicos que acontecem em, no máximo, oito horas, crescem as doenças associadas ao aparelho respiratório, conforme constatado por Castro (2000).

d) A variabilidade das temperaturas em Rio Claro e os diferentes padrões da circulação atmosférica que a proporcionam sofrem forte influência das temperaturas reinantes no Oceano Pacífico Equatorial e, por conseguinte, dos fenômenos *El Niño* e *La Niña*, conforme se depreendeu das observações efetuadas entre 1995 e 2012. A variabilidade das temperaturas também depende das anomalias térmicas existentes no Atlântico. Durante a maioria dos dezessete anos estudados, as variações das temperaturas dos dois oceanos, nas latitudes equatoriais, apresentaram correlações positivas, conciliando as influências exercidas. Anos dotados de menor número de horas com temperaturas abaixo de 15° C coincidiram com anomalias positivas de temperatura nos dois oceanos, como 1998, 2009 e 2010. No entanto, a oscilação das temperaturas nas baixas latitudes do Atlântico, entre 0° e 20° S e 10° E e 30° W, é muito menor do que no Pacífico, razão pela qual o principal fator que responde pela variabilidade térmica deve ser buscado neste último oceano (Figura 10).



Fonte: NOAA (2011)

e) A par da variabilidade encontrada, é incontestável que está ocorrendo em Rio Claro, como em outras cidades das latitudes tropicais, um declínio dos dias e das horas com baixas temperaturas. Mediante tais observações, é prematuro afirmar uma tendência de aquecimento do planeta, em conformidade com as considerações do IPCC (2007), haja vista que os ritmos deste fenômeno são díspares e, diante disso, estariam ligados principalmente a fatores locais ou regionais. Por outro lado, se a causa fosse principalmente o crescimento das cidades, como frequentemente apontado, postos localizados nos maiores centros urbanos ou adjacentes a eles deveriam possuir maior aquecimento, o que nem sempre acontece, como visto, por exemplo, nos estudos de Blain, Picoli e Lulu (2009);

f) Da mesma forma que não se pode negar a influência do crescimento das cidades nas temperaturas, é possível afirmar que existe uma clara tendência ao aquecimento, demonstrada neste estudo pela diminuição das horas e dias com temperaturas de baixos valores, que está em sintonia com um aquecimento global, independentemente de suas causas. Fruto disso e mantida a propensão encontrada entre 2005 e 2012, a área urbana de Rio Claro, depois

de 2035, não terá temperaturas inferiores a 15° C. Temperaturas inferiores a 10° C deixarão de ocorrer após 2020.

Referências

ANDRADE, L. M. **Avaliação das Tendências Térmicas Urbanas: o exemplo de Rio Claro – SP**. 2007. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP.

ASPACER Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento. **Estatísticas**. Disponível em <<http://www.aspacer.com.br/estatisticas.html>>. Acesso em 18 de Agosto de 2011.

BRASIL Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em:< <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em 18 de agosto de 2011. 2010.

BLAIN, G. C.; PICOLI, M. C. A.; LULU, J. Análises estatísticas das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Joanópolis. v. 68, n. 3, p. 807- 815, 2009.

CASTRO, A. W. S. **Clima Urbano e Saúde: as patologias do aparelho respiratório associadas aos tipos de tempo no inverno, em Rio Claro – SP**. 2000. 201f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP.

CEPAGRI Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos Municípios Paulistas: Rio Claro**. Disponível em <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_494.html>. Acesso em 23 de agosto de 2011.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade do Ar**. Disponível em <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_boletim_mensal.asp>. Acesso em Setembro de 2009.

GASPAROTTO, F. K.; CARAMORI, P. H.; VASCONCELLOS, M. E. da C. Análise de tendência de variáveis climáticas térmicas e hídricas para o Estado do Paraná. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2005, **Anais...** Campinas: 2005. p. 1 -2.

GONÇALVES, R. R. do VALLE; ASSAD, E. D. Análise de Tendências de Temperatura Mínima do Brasil. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2005, **Anais...** Belo Horizonte: 2009. p. 1 – 5.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS E CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS – I INPE/CPTEC. **CLIMANÁLISE**: Boletim de Monitoramento e Análise Climática, Cachoeira Paulista. v. 11, n. 7, 1996.

MORAIS, H. et al.. Tendências de Alterações de Temperaturas no Estado do Paraná. In: IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA. **Anais...** 2011, João Pessoa: 2005. Disponível em <sic2011.com/sic/arq/94083652716939408365271.pdf>. Acesso em 12 de Novembro de 2011.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA. National Weather Service / Climate Prediction Center. **Cold and warm episodes by season / Changes of Oceanic Niño Index**, 2011. Disponível em <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em 27 de Dezembro de 2011.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA. National Weather Service / Climate Prediction Center. **Monthly Atmospheric & SST Indices**, 2011. Disponível em <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>>. Acesso em 27 de Dezembro de 2011.

RICCE, W. da S. et al. Análise de Tendências na Temperatura e Precipitação em Londrina, Estado do Paraná. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2005, **Anais...** Belo Horizonte: 2009.

TAVARES, A. C. e SILVA, A. C. F. Urbanização, Chuvas de Verão e Inundações: uma análise episódica. **CLIMEP**. Rio Claro, v. 3, n. 1, p. 4 - 18 2008.

TAVARES, A. C.; SOUZA, A. C. M. P. de e PITTON, S. E. C. Avaliação das Tendências Térmicas Urbanas: o exemplo de Piracicaba – SP nos períodos de verão e inverno. **Geografia**. Rio Claro, v. 32, n. 3, p. 699 - 710, 2007.

Resumo

Este trabalho estuda a ocorrência de temperaturas inferiores a 15^o C, no período de inverno, de 1995 a 2012, na cidade de Rio Claro – SP, Brasil, localizada a 22^o 25' S e 47^o 34' W, relacionando-as à circulação atmosférica e à qualidade do ar. Analisa episódios favoráveis à má qualidade do ar e ao registro de frio mais intenso, e conclui que há uma grande variabilidade das temperaturas mínimas nesta estação do ano, associada, principalmente, às temperaturas do Oceano Pacífico Equatorial. Conclui, também, que os dias e horas com temperaturas inferiores a 15^o C estão diminuindo acentuadamente, para, provavelmente, deixarem de ocorrer, após 2035, na área urbana de Rio Claro.

Palavras-chave: Temperatura. Variabilidade Climática. Mudança Climática. Qualidade do Ar.

Abstract

This paper studies the occurrence of temperatures below 15° C in winter period, from 1995 to 2012 in the city of Rio Claro – State of São Paulo, Brazil, located at 22° 25' S and 47° 34' W, relating them to the atmospheric circulation and air quality. Besides analyzing favorable episodes of poor air quality and the occurrence of more intense cold, the conclusion is that there is a great variability in minimum temperatures this season, mainly associated to the Equatorial Pacific Ocean temperatures, and that the days and hours with temperatures below 15° C are declining sharply, for probably fail to occur after 2035 in the urban area of Rio Claro.

Keywords: Temperature. Climate Variability, Climate Change. Air Quality.

Resumen

Este trabajo estudia la aparición de temperaturas inferiores a 15° C en el periodo de invierno, de 1995 a 2012, en la ciudad de Río Claro – SP, Brasil, situada a 22° 25' S y 47° 34' W, habiendo una relación entre la circulación atmosférica y la calidad del aire. Además de analizar los episodios favorables a la mala calidad del aire y al registro del frío más intenso, la investigación concluye que existe una gran variabilidad de temperaturas mínimas en esta temporada (invierno) principalmente asociada a las temperaturas del Océano Pacífico Ecuatorial, y que los días y horas con temperaturas inferiores a 15° C están disminuyendo drásticamente, para que probablemente dejen de ocurrir después de 2035 en el área urbana de Río Claro.

Palabras clave: Temperatura. Variabilidad del Clima, Cambio Climático, Calidad del Aire.

Sobre os autores:

¹Antonio Carlos Tavares - <http://lattes.cnpq.br/3052933076991771>

Professor Adjunto III do Departamento de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Rio Claro - SP. Membro do Núcleo de Pesquisas sobre Desastres (NUPED).

Contato: atavares@rc.unesp.br

²Thiago Salomão de Azevedo - <http://lattes.cnpq.br/0445268569159693>

Ecólogo e Geógrafo. Mestre e Doutor em Geografia. Docente das Faculdades Integradas Claretianas, Rio Claro – SP. Membro do Núcleo de Pesquisas sobre Desastres (NUPED).

Contato: thiagosalomaodeazevedo@gmail.com

Iara Regina Nocentini André - <http://lattes.cnpq.br/2608778695278973>

Professor Assistente Doutor do Departamento de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Rio Claro - SP. Membro do Núcleo de Pesquisas sobre Desastres (NUPED).

Contato: iaranocentini@gmail.com

Anderson Luiz Hebling Christofoletti - <http://lattes.cnpq.br/6145995445352330>
Professor Assistente Doutor do Departamento de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Rio Claro - SP. Membro do Núcleo de Pesquisas sobre Desastres (NUPED).
Contato: alhc@rc.unesp.br