



Análise Climática da Cidade de Manaus (AM), Usando Dados Geotérmicos e Meteorológicos

Rutenio Luiz C. Araujo; Flávio Natal M. Oliveira; João Silva Carvalho; Clauzionor Lima Silva
Universidade Federal do Amazonas

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The focus of this paper is on the detect microclimate changes in Manaus City (AM), Brazil in attempting to indicate the possible causes for the fluctuations and trends observed. The analysis is based in Meteorological and shallow geothermal records. The meteorological data indicated an increment of 0.27 ± 0.04 °C in the mean surface air temperature during the last 80 years with reference to the 1950-1979 climatological mean and this increment has not been continuous, but seem to be modulated by frequency of El Niño, La Niña e Neutral events over the tropical Pacific Ocean. Though, an quasi-instantaneous increment of 3.17 ± 0.53 °C was determined from geothermal data, which is likely associated with the land-use changes. From shallow geothermic data under sites with vegetation cover we verified that transient perturbations are good indicators of recent annual climate variability, while analysis of temperature profiles data under sites without vegetation cover seem to indicate microclimate changes related to the anthropogenic actions like deforest and urbanization action.

Keywords: Microclimate Changes; Anthropogenic Actions; Natural Variability.

Introdução

Alterações no microclima de uma determinada região podem ocorrer tanto por influências antropogênicas, como as emissões dos gases do efeito estufa e o uso do solo, tais como urbanização e agricultura (KALNAY e CAI, 2003), como por fenômenos naturais de grande-escala, como o El Niño – Oscilação do Sul (ENOS), que possuem um papel essencial nas variabilidades intrasazonais a decadais do clima.

O presente trabalho está dividido em duas partes, sendo dado enfoques distintos. Primeiramente tratamos das séries dos perfis geotérmicos, onde o uso do solo é fator primário para as mudanças de temperatura do solo junto à superfície e, segundo, é

realizado uma análise observacional das anomalias da temperatura média do ar de superfície (ATS) da estação meteorológica de Manaus, verificando suas possíveis relações com as anomalias das temperaturas superficiais (ATSM) no Pacífico tropical, tratando a variabilidade natural do clima como fator preponderante.

Pretendemos, assim, enfatizar que mudanças no microclima podem ser decorrentes tanto de fatores climáticos, quanto de fatores não necessariamente climáticos, em especial aqueles relativos ao uso do solo e determinar o quanto cada fator antrópico ou natural contribui efetivamente nos valores de temperatura média no microclima da cidade de Manaus (AM).

Material e Métodos

a- Série de Dados Geotérmicos

Neste estudo foram analisados os perfis geotérmicos de onze furos distribuídos na cidade de Manaus, com período médio de perfilagens pós-perfuração de 11 anos. Destes, seis poços com cobertura vegetal (LCCV) e cinco poços sem cobertura vegetal (LSCV). As medições de temperatura foram realizadas em intervalos discretos de 5 metros e profundidade de até 300 metros.

Nas perfilagens rasas superficiais, até 0,20 m, foram utilizadas sondas com sensor térmico de termopar, com precisão de $\pm 0,1$ °C (ARAUJO, 1999). Nas perfilagens mais profundas, o sensor térmico foi de termistor, com precisão de $\pm 0,01$ °C (ARAUJO, 1999). As temperaturas superficiais do solo serão denominadas de T_{SP} .

Para determinar a variação das temperaturas superficiais consideramos a hipótese de Roy *et al* (1971) de um perfil geotérmico inicial, referente ao período anterior às atividades antrópicas. Com método em apreço, se estima que o rearranjo térmico tenha iniciado juntamente com o processo de urbanização do município de Manaus. O resultado é que o perfil geotérmico iniciaria na superfície, com o valor da temperatura média anual superficial do solo, anterior às atividades antrópicas, doravante denominadas de T_{LD} , e os valores de temperatura aumentariam gradual e linearmente com a profundidade, visto que as variações térmicas neste perfil são funções, apenas, do fluxo de calor oriundo do interior da Terra (fluxo geotérmico). Este perfil é denominado de perfil Inicial. Considerando as perturbações de superfície, pós-atividades antrópicas, encontra-se um perfil térmico denominado de perfil Final, onde obtém-se o valor das temperaturas médias anuais atuais superficiais do solo, denominadas de T_{SA} . Este perfil Inicial é, portanto, função tanto do fluxo geotérmico, quanto do fluxo de radiação solar e, ainda, leva-se em conta, tipo de vegetação e da variabilidade sazonal de chuva.

Conforme Roy *et al* (1971) a extrapolação da reta que determina o gradiente geotérmico profundo possibilita o cálculo da T_{LD} . Conforme Araujo (1999) a extrapolação da reta, logo após a inversão térmica subsuperficial, possibilita apenas o cálculo da T_{SA} . Logo, a T_{LD} somente é obtida a partir das profundidades onde não sejam registradas influências oriundas de perturbações térmicas do clima, região denominada de Zona Termicamente Estável (ZTE). A zona superior do subsolo superior que apresenta variações térmicas é denominada de Zona Termicamente Perturbada (ZTP).

Os valores da T_{SA} e da T_{LD} foram obtidos através do perfil geotérmico Inicial, projetada a partir de equações lineares e calculadas, ponto a ponto, partindo como base do valor prévio do gradiente geotérmico médio do local (Γ). Os cálculos pontuais nos permitem obter os valores das temperaturas dos perfis Iniciais e Finais ($T_{(z)}$) para cada nível de profundidade do perfil.

O conjunto de perturbações térmicas ou banco de dados de longa data (pré-atividades antrópicas) e transientes (atual) foram obtidos por cálculos de resíduos térmicos referentes aos perfis Inicial e Final. T_{OBS} é a temperatura observada nas perfilagens geotérmicas. Com o intuito de eliminar as perturbações transientes de temperatura, associadas às intempéries climáticas de superfície, objetivando o período anterior as atividades antrópicas sobre a área superficial local do perfil e, deste modo, o tempo de ocorrência da mudança de temperatura superficial é considerado ter ocorrido a partir da segunda metade do século XIX, a qual corresponde ao início das perturbações antrópicas de maior impacto no solo de Manaus. Contudo, ressalta-se as alterações no microclima pelo uso do solo, que independem dos fenômenos de grande escala atmosférica e ocorrem de forma quase que instantânea. Assim, os resultados das perfilagens geotérmicas propiciaram a obtenção dos dados necessários à realização de estudos para efeitos do uso do solo no microclima de Manaus (AM).

b- Série de Dados Meteorológicos

Calculamos e analisamos uma série de dados de anomalias de temperatura média mensal do ar (ATS), pertencentes ao banco de dados de temperatura média do ar da Estação Climatológica Principal de Manaus (Esmet de Manaus) do INMET, referentes ao período de 1921 a 2000, e comparamos por cruzamento, com as anomalias de temperatura superficiais do mar (ATSM) do Pacífico na região Niño 3.4 (120°W - 170°W e 5°S - 5°N) obtidas de Trenbert & Stepaniak (2001) para o mesmo período. A série de ATSM é oriunda das análises do banco de dados do *Hadley Centre Global Sea Ice and Sea Surface Temperature (HadISST)*, desenvolvido pelo *Met Office Hadley Centre*, Reino Unido. O HadISST consta de uma série de dados de TSM de 1870 até a presente data, estimados por observações, e derivados de produtos de satélite com resolução global $1^\circ \times 1^\circ$.

Com o objetivo de determinar como e quanto cada evento do ENOS (El Niño - fase quente, La Niña - fase fria e Neutros - fase neutra) contribui nas variabilidades da temperatura média do ar, distribuímos o ciclo de um ano em períodos trimestrais, classificados de

acordo com padrões normais de precipitação, descrito por Oliveira (2006). A separação em períodos trimestrais faz-se necessária devido ao uso dos conceitos de estação seca e estação chuvosa em regiões tropicais, as quais substituem os conceitos de verão e inverno das estações de latitudes médias. Conforme Oliveira (2006), o início e término do período chuvoso ocorrem de dezembro a maio, enquanto que o período de junho a novembro corresponde ao início e término do período seco. Assim, usando o proposto por Oliveira (2006), os trimestres chuvosos e secos foram distribuídos como se segue: O primeiro e segundo trimestres chuvosos, de dezembro a fevereiro - DJF (1TC) e de março a maio - MAM (2TC), respectivamente; O primeiro e segundo trimestres secos de junho a agosto - JJA (1TS) e setembro a novembro - SON (2TS), respectivamente.

Para o cálculo das tendências de temperatura média do ar em Manaus, optou-se por uma análise de regressão linear simples.

Os meses das fases quente e fria do ENOS foram classificados conforme TRENBERT (1997), para a região Niño 3.4, quando as anomalias de TSM na região excedem o valor de $0,4^\circ\text{C}$ (fase quente - El Niño) e $-0,4^\circ\text{C}$ (fase fria - La Niña), respectivamente, e ainda persistem, no mínimo, por seis meses ou mais.

Resultados

a- Perfis Geotérmicos

Nos perfis do tipo LCCV determinamos gradientes positivos de magnitude pequena, desde a superfície do subsolo até as maiores profundidades investigadas, enquanto que nos perfis do tipo LSCV verificamos gradientes negativos, com magnitudes elevadas desde a superfície até profundidades de 30 a 80 metros, seguidos de uma zona com fluxo de calor nulo, denominada por Araujo (1999) de "zona de cotovelo térmico" e de uma zona de inversão térmica em profundidades médias de 78m, a partir da qual a temperatura aumenta linearmente com a profundidade. As observações destas condições nos permitiram admitir que a Zona Termicamente Perturbada (ZTP) se encontra dividida em dois setores (figura 1), onde a porção superior está associada a dados transientes devido a variabilidades climáticas sazonais e anuais, enquanto a porção inferior, após a zona do cotovelo térmico, está associada às informações de longa data. Deste modo, passamos a admitir os termos ZTP_{ITR} e ZTP_{ILD} , como designativos da divisão da Zona Termicamente Perturbada.

Nos perfis LCCV encontramos valores médios de $5 \times 10^{-3} \pm 1,5 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C.m}^{-1}$ e $2,42 \times 10^{-2} \pm 4 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C.m}^{-1}$ para Γ_{ZTP} e Γ_{ZTE} , respectivamente. Para os perfis LSCV, encontramos $4,9 \times 10^{-3} \pm 3,3 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C.m}^{-1}$ e $2,43 \times 10^{-2} \pm 5 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C.m}^{-1}$, para Γ_{ZTP} e Γ_{ZTE} , respectivamente. Nota-se que os valores de Γ_{ZTP} e Γ_{ZTE} para os dois tipos de cobertura vegetal são muito próximos. Tal valor aproximado deve-se a ausência de perturbações transientes de superfície nas regiões ZTP_{ILD} e ZTE. Desta forma, observa-se que a partir das profundidades médias de 78 metros (ZTP_{ILD}) e 165 metros (ZTE), os perfis adquirem padrões com inclinações semelhantes (figura 1). Não obstante, os valores médios de Γ_{ZTP} e Γ_{ZTE} para o conjunto global dos perfis foram de $4,9 \times 10^{-3} \pm 2,5$

$\times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ e $2,43 \times 10^{-2} \pm 5 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$, respectivamente. Nota-se que na região ZTP_{ITR} os gradientes negativos identificados nos perfis LSCV e positivos nos perfis LCCV são oriundos da variabilidade climática local sazonal e anual (figura 1). Já os gradientes superficiais em locais do tipo LSCV fornecem um conjunto de informações transientes oriundas tanto das intempéries climáticas como das atividades antrópicas associadas ao uso do solo. Ambos os gradientes negativos e positivos destas regiões superficiais podem ser considerados temporais de alta variabilidade, enquanto que o campo das perturbações térmicas referentes às informações de longa data (ZTP_{ILD}) persistem até as profundidades médias de 165 metros e abaixo destas profundidades médias não encontramos perturbações oriundas do campo climático temporal de superfície.

Em base nos valores observados nos campos de temperatura dos perfis térmicos, calculamos os valores médios de T_{SP} , de $26,75 \pm 0,20 \text{ } ^\circ\text{C}$ e $28,37 \pm 0,51 \text{ } ^\circ\text{C}$ e amplitudes térmicas de $0,55 \text{ } ^\circ\text{C}$ e $1,38 \text{ } ^\circ\text{C}$ para os perfis LCCV e LSCV, respectivamente. Assim, os valores médios de T_{SP} , nos perfis LSCV, são $1,62 \text{ } ^\circ\text{C}$ mais elevadas que os valores nos perfis LCCV. Tal diferença é atribuída às mudanças ocorridas no balanço de energia do solo perante a substituição das áreas de floresta por pastagens. Deste modo, concluímos que a retirada da floresta gerou um incremento médio na média anual de $+1,62 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Na figura 2 representamos o cálculo dos perfis geotérmicos inicial ($T_{(z)}; \Gamma_{ZTE}$) e Final ($T_{(z)}; \Gamma_{ZTP}$), sendo os valores médios de T_{SA} e T_{LD} , de $26,76 \pm 0,10 \text{ } ^\circ\text{C}$ e $23,59 \pm 0,54 \text{ } ^\circ\text{C}$, respectivamente. Os valores de T_{SA} e T_{LD} são lidos em $z=0$.

Determinamos os resíduos \mathfrak{R}_f (transientes) dos perfis geotérmicos analisados e os resíduos \mathfrak{R}_{i-f} (longa-data). O valor do resíduo \mathfrak{R}_f (transientes) em superfície nos possibilita estimar a recente variabilidade climática sazonal e anual individual de cada perfil associado às variações climáticas em superfície.

Os valores correspondentes aos resíduos transientes dos poços do tipo LCCV têm magnitude próxima de zero; este comportamento é verificado desde a superfície até as maiores profundidades, enquanto que os valores referentes aos resíduos dos poços do tipo LSCV apresentam valores com magnitudes muito elevadas. Dessa maneira, conclui-se que tais diferenças são características da intensidade da radiação solar incidente na superfície e do fluxo de calor ganho ou perdido pelo subsolo para a atmosfera. Os conteúdos de umidade do solo e precipitação, também são fatores que influenciam os valores dos resíduos transientes.

Observa-se nos perfis LCCV, pouco ou nenhum sinal de variabilidade climática anual em superfície, cerca de $+ 0,03 \pm 0,18 \text{ } ^\circ\text{C}$, confirmando o papel da cobertura vegetal como agente filtrador da radiação solar incidente, enquanto que nos perfis LSCV verificou-se uma recente variabilidade climática anual de $+ 1,58 \pm 0,51 \text{ } ^\circ\text{C}$. Os elevados valores de dispersão dos desvios padrões representam alta variabilidade entre as informações

transientes, bem como é evidente que tais valores podem ser alterados conforme o período ou época do ano analisado.

Nos resultados obtidos dos resíduos térmicos de longa-data, verificamos um acréscimo médio nas temperaturas médias superficiais do solo para os perfis do tipo LSCV de $+ 3,15 \pm 0,65 \text{ } ^\circ\text{C}$ e de $+ 3,19 \pm 0,42 \text{ } ^\circ\text{C}$ para os perfis do tipo LCCV. Tais valores são característicos das condições climáticas da região de Manaus.

Para ratificar que os dados transientes de locais protegidos por cobertura vegetal podem indicar boas resoluções anuais das recentes variabilidades climáticas, analisamos as perturbações transientes relativas aos perfis LCCV, relativos ao período dos anos de 1991-1993-1996 e 1997 com a média móvel de 5 meses das ATS's, referentes aos anos completos de 1991-1993-1996 e até abril de 1997. A análise foi realizada somente até o mês de abril de 1997, devido ao clássico El Niño de abril de 1997 a março de 1998, o qual poderia causar severas discrepâncias nos resultados.

O desvio na temperatura média do ar foi de $+ 0,17 \pm 0,08 \text{ } ^\circ\text{C}$. Tal valor está de acordo com as informações transientes dos perfis LCCV de $+ 0,03 \pm 0,18 \text{ } ^\circ\text{C}$, o qual oscila de $- 0,15 \text{ } ^\circ\text{C}$ a $+ 0,21 \text{ } ^\circ\text{C}$. Isto ratifica a ligação entre as informações transientes do subsolo de locais com cobertura vegetal com as variabilidades climáticas detectadas em superfície. Com exceção dos meses de julho e agosto (meses geralmente secos ou pouco chuvosos), onde foram verificados ATS maiores do que os valores residuais transientes de superfície.

Nos perfis do tipo LSCV, tais comparações são muito problemáticas, visto que as mudanças na cobertura vegetal alteram significativamente o balanço de energia na superfície do solo (FERGUSON, 2005). Isto é verificado pela discrepância dos dados, contudo, os dados obtidos nos perfis LSCV mostram a importância das modificações no clima regional por forçantes antrópicas.

b- Análise da Temperatura Média do Ar

A estação meteorológica de Manaus situa-se na região nordeste do Estado do Amazonas, Brasil ($60,02^\circ \text{ W}$ e $2,13^\circ \text{ S}$). Com base na série de dados do INMET, utilizando o período de 1950-79, calculamos as médias mensais da temperatura do ar. O valor médio anual foi de $26,65 \pm 0,33 \text{ } ^\circ\text{C}$. As temperaturas médias são menores durante os meses de fevereiro e março, com valores de $25,8 \text{ } ^\circ\text{C}$, podendo alcançar valores ligeiramente abaixo de $25,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ e os maiores valores são observados nos meses de agosto a outubro, com médias de $27,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ a $27,9 \text{ } ^\circ\text{C}$, respectivamente, podendo o máximo das médias alcançar valores de $28,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ e $30,2 \text{ } ^\circ\text{C}$, respectivamente. Na figura 3, se verifica que a amplitude anual das temperaturas médias do ar é de $2,1 \text{ } ^\circ\text{C}$, devido aos altos valores de energia da radiação solar incidente na superfície terrestre ao longo de todo o ano e os desvios da temperatura média são maiores durante os meses de agosto a novembro, meses que pertencem aos trimestres secos.

É notável observar que o valor médio anual de $26,65 \pm 0,33 \text{ } ^\circ\text{C}$ observado na estação meteorológica está em concordância com o valor médio observado para

a temperatura média anual atual da superfície do solo de $26,76 \pm 0,10$ °C, considerando o desvio médio. Assim, para as localidades que não possuem estações meteorológicas, torna-se possível obter um padrão climatológico de temperatura por meio de perfis geotérmicos.

A figura 3 mostra que a tendência linear observada para o período de 1921 a 2000 na cidade de Manaus - AM foi de $0,27 \pm 0,04$ °C. Observa-se na figura 3 a variabilidade dos picos de anomalias anuais e o comportamento da média móvel de cinco anos. Tal tendência foi obtida em torno do valor médio calculado da temperatura média do ar de superfície, referente à média (normal) climatológica de 1950 a 1979.

Na análise dos dados de temperatura média do ar efetuamos os cálculos das ATS e relacionamos com as ATSM do Pacífico tropical da região Niño 3.4, cujo objetivo foi demonstrar a influência dos eventos do ENOS para com o aquecimento médio representado na figura 3, que foi de $0,27 \pm 0,4$ °C, no período de 1921 a 2000.

Oliveira (2006), usando a metodologia proposta por Trenbert (1997) para a classificação dos eventos do ENOS, encontrou desde 1921 um total de 322 meses com fase quente e 281 meses com fase fria e 352 meses como neutros. Desta classificação, verificamos que os eventos da fase quente geralmente destacam-se pela intensidade das ATS, onde os valores das ATS positivas sobre o continente eventualmente ultrapassam o valor médio de $1,5$ °C, enquanto que os eventos da fase fria se destacam pela durabilidade do evento, sendo comum uma fase fria permanecer até 30 meses, embora os valores das ATS dificilmente alcancem o valor médio de $-0,9$ °C. Observa-se que as ATS negativas durante os trimestres das fases frias e meses neutros contrapõem-se às tendências de aquecimento observadas nos trimestres sob influência das fases quentes. As fases quentes do ENOS contribuíram na elevação das temperaturas médias em até $0,50$ °C durante os trimestres chuvosos, enquanto que durante as fases frias verificamos tendências negativas de até $-0,29$ °C, relativas à média do primeiro trimestre chuvoso. Conforme já comentado, a fase quente do ENOS durante o período chuvoso da Amazônia central afeta o posicionamento dos sistemas dinâmicos geradores de chuva, reduzindo a umidade do ar, inibindo a convecção e ocasionando períodos de seca em períodos climatológicos chuvosos, enquanto que o oposto é verificado na fase fria, a qual estimula a liberação de calor latente, portanto, os resultados são bem coerentes.

Analisando as fases do ENOS dentro dos três períodos da ODP, verifica-se que polaridades positivas da ODP coincidiram com maior frequência com as fases quente do ENOS, enquanto que a polaridade negativa da ODP coincidiu com maior frequência com a fase fria do ENOS. Também observamos ao longo da escala temporal uma redução do número de meses neutros de 136 para 59 meses, entre as duas fases positivas da ODP, a qual, aparentemente, representa redução no período de transição entre as fases quente e fria do ENOS. Deste modo, as séries estudadas indicam que tanto a fase quente quanto a fase fria do ENOS incrementou em frequência ao longo dos últimos 80 anos. Durante a fase positiva da ODP de 1925-46, apesar da superioridade numérica mensal dos eventos de El Niño

sobre La Niñas, não se evidenciou ATS positivas significativas em Manaus, exceto durante o trimestre 1TC do evento jul/25-ago/26. Nota-se que as ATS em Manaus durante os eventos de La Niña desta fase foram mais significativas, praticamente durante todos os trimestres, com predominância durante os períodos secos.

Na fase fria da ODP, aparentemente os eventos de El Niño proporcionaram padrões de anomalias positivas muito significativas, acima de 1 °C, na cidade de Manaus, principalmente no segundo trimestre seco (2TC) e primeiro trimestre chuvoso (1TC). Eventos de La Niña não registraram anomalias negativas significativamente elevadas. Entretanto, tal elevado padrão de ATS positivos durante eventos de El Niño parecem se contrabalancear com pequena superioridade numérica de meses com La Niña, somados com uma quantidade de meses neutros proporcional a mesma quantidade de meses com La Niña. Foi observado que os meses neutros predominantemente contribuem com ATS negativas. Consequentemente, a influência da ODP negativa não pôde ser evidenciada somente por uma alta frequência de La Niñas sobre El Niños na região Niño 3.4, já que há uma diferença numérica mensal mínima entre Niñas e Niños, contudo, notou-se que a fase negativa da ODP pode ter favorecido uma alta frequência de meses neutros no Pacífico tropical.

Na última fase positiva da ODP há um padrão de ATS positivas bastante significativo, aliado a alta frequência de meses com El Niño. Nesta fase da ODP é digno de nota que foram dois os eventos clássicos de El Niño, compreendendo o evento de 1982/83 e o evento de 1997/98. No evento de 1982/83, durante o subgrupo 1TC (chuvoso), foram registradas ATS extremamente elevadas de até $1,84$ °C sobre o valor médio do período. Já durante o episódio de 1997/98, as maiores ATS foram registradas durante o período normalmente mais seco e quente do ano e alcançou um valor médio de $1,71$ °C durante o subgrupo 2TS. Com isto, as temperaturas médias mensais do ar atingiram valores médios de $29,3$ °C durante o segundo trimestre seco e de $30,2$ °C durante o mês de setembro de 1997.

Desta forma, o aquecimento de $+0,27 \pm 0,04$ °C nos últimos 80 anos não tem sido um fator constante ao longo da série. A figura 4 corresponde a uma análise observacional intrafases da ODP e observa-se que as tendências expostas ratificam as observações de Mantua *et al* (1997) e Molion (2004) nas informações entre polaridades da ODP e frequências de meses com El Niño e/ou com La Niña.

Na figura 4-b observa-se tendências lineares negativas de $-0,23$ °C e $-0,33$ °C na seqüência das duas décadas internas à fase quente da ODP de 1925-46.

Na seqüência da fase quente de 1925-46, a fase fria da ODP de 1947 a 1976 apresenta um período com forte aquecimento de $+0,44$ °C, ressaltando que outros mecanismos podem estar envolvidos. Contudo, nota-se que na década anterior havia fortes anomalias negativas (Figura 4-a); Todavia, as próximas duas décadas são seguidas com mais de 20 anos de tendências negativas, sendo de $-0,32$ °C e $-0,11$ °C, respectivamente, as quais conferem com a maior frequência de La Niñas e meses Neutros, conforme Oliveira (2006), o qual verificou que eventos neutros propiciaram um maior número de meses com desvios positivos de precipitação. Neste

sentido, poderia se diagnosticar uma tendência de anomalias negativas nas temperaturas médias do ar na região da cidade de Manaus para os próximos 20 ou 30 anos, caso se confirme um período de ODP com polaridade negativa, contudo, foi visível observar que outros mecanismos podem estar envolvidos. Ainda na figura 4-b, no período de 1976 a 1998 (fase quente da ODP), observa-se duas décadas com tendências de aquecimento de $+ 0,16 \text{ }^\circ\text{C}$ e $+ 0,25 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente. Na segunda década observa-se novamente a nítida influência dos clássicos eventos de El Niño 1982-83 e 1997-98, considerados os eventos de maior magnitude e de maior impacto econômico e social ao redor do globo.

As variabilidades interdecadais apresentadas na figura 4-a permitem concluir que grande parte do incremento registrado na temperatura do ar em Manaus ocorreu em dois períodos, nas décadas de 1950 e a partir da década de 1980 com aquecimento acentuado durante a década de 1990, atribuídos aos fortes episódios de El Niño registrados neste período. Isto não pode ainda ser considerado como padrão de mudança climática, e entendemos por variabilidade climática, visto o recente período de análise, como também da forte associação com as oscilações climáticas naturais do oceano Pacífico.

De um modo geral, as tendências verificadas neste trabalho comprovam que os eventos de El Niño contribuem de forma significativa no aumento da temperatura média na cidade de Manaus e que os eventos de La Niña e meses Neutros contribuem com tendências de anomalias negativas para com a temperatura média do ar na cidade de Manaus.

Pelo acima exposto, verificamos haver boa consistência entre os valores de anomalias das TSM do Pacífico, na Região Niño 3.4 e padrões da ODP, com os valores de anomalias de temperatura do ar e precipitação pluviométrica na região de Manaus. É evidente que as Oscilações Decadais do Pacífico e a quantidade de meses de um determinado evento ENOS estão relacionadas por algum mecanismo dinâmico e que influenciam diretamente nos valores de temperatura sobre os continentes

Assim, existe um entendimento real de que o comportamento das condições térmicas superficiais da bacia do Pacífico tem importância primária no câmbio das variabilidades climáticas sobre os continentes, em específico neste estudo, na cidade de Manaus.

Conclusões

Os resultados deste estudo enfatizam que as variabilidades e mudanças climáticas das temperaturas médias do ar e do solo de superfície nas abrangências da cidade de Manaus são em parte modulados pela frequência de eventos do ENOS e que outros mecanismos atmosféricos, não apresentados neste trabalho, devem estar envolvidos, além disto, o do uso do solo modifica e incrementa os valores de temperatura superficial quase que instantaneamente.

Observamos que os desvios da temperatura média do ar na cidade de Manaus, em parte modulados pelas frequências de meses com El Niño, La Niña e Neutros, teve ao longo dos últimos 80 anos um incremento linear observado de $0,27 \pm 0,04 \text{ }^\circ\text{C}$ e que

grande parte deste incremento ocorreu em dois períodos, na década 1950 e a partir da década de 1980, com aquecimento acentuado durante a década de 1990.

Em base na geotermia rasa, determinamos o valor da temperatura média anual atual da cidade de Manaus de $26,76 \pm 0,10 \text{ }^\circ\text{C}$, cujo valor está em conformidade com o valor obtido via observação instrumental de $26,65 \pm 0,33 \text{ }^\circ\text{C}$. Conclui-se que para as localidades que não possuem dados meteorológicos, o método geotermal é bastante preciso na obtenção de valores climatológicos de temperatura média do ar.

As análises das perfilagens indicam um incremento médio da temperatura média anual na cidade de Manaus de $3,17 \pm 0,53 \text{ }^\circ\text{C}$, estimado desde a segunda metade do século XIX, e modulado pela ocupação do homem na região mediante a alteração do balanço energético da superfície pelo desmatamento e urbanismo e também verificamos que tais incrementos ocorreram na época de forma quase que instantânea.

Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Meteorologia por disponibilizar registros instrumentais e ao Laboratório de Geofísica da Universidade Federal do Amazonas e a Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado do Amazonas que forneceram a infra-estrutura necessária para a execução do projeto.

Referências

- ARAUJO, R. L. C. 1999. Contribuição da Geotermia Rasa aos Estudos Ambientais. Manaus. Ed. Universidade do Amazonas. 88p.
- FERGUSON, G and BELTRAMI, H. 2005. Transient Lateral Heat Flow due to Land-Use Changes. *Earth and Planetary Science Letters*.
- KALNAY, E. and KAI, MING. 2003. Impact of Urbanization and Land-Use Change on Climate. *Nature*, V423, 528-531.
- MANTUA, N.J., HARE, Y. ZHANG, J.M. WALLACE, AND R.C.FRANCIS. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, pp. 1069-1079.
- MOLION, L.C.B. 2004. Aquecimento Global, Manchas Solares, El Niño e Oscilação Decadal do Pacífico. Disponível em: <<http://geocities.yahoo.com.br/zuritageo/aquecimentoglobal.htm>>. Acessado frequentemente de Agosto de 2004 a março de 2006.
- OLIVEIRA, F.N.M. 2006. Inferência de Mudanças Microclimáticas na Região de Manaus (AM) Usando dados Geotérmicos e Meteorológicos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas (AM). 138f.
- ROY, R. F., Blackwell, D.D., Decker, E.R.1971. Continental Heat Flow. In: Robertson, R. The Nature of Soil. New York: Mc Graw-Hill. P.506-543.
- TRENBERT, K, E. The Definition El Niño. 1997. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, pp. 2771-2777.
- TRENBERT, K. E & STEPANIAK, D.P.-2001- Indices of El Niño Evolution. *J. Climate.*, 14, 1697-1701.

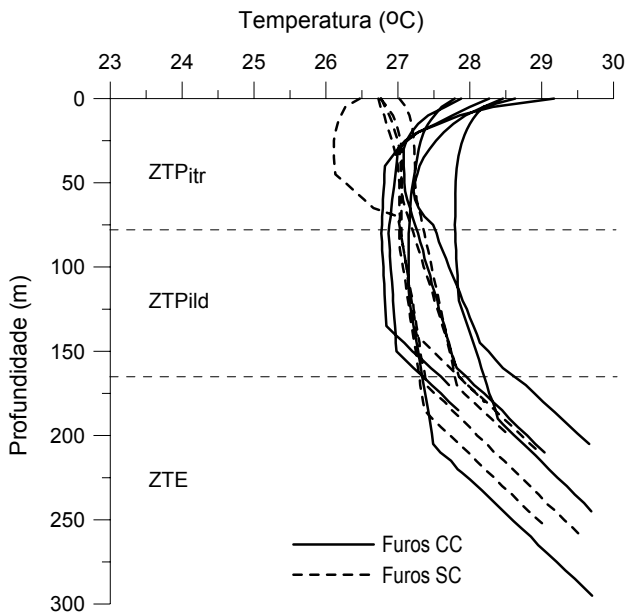


Figura 1. Perfis de Temperatura versus profundidade dos furos em Manaus (AM). CC são relativos aos furos com cobertura vegetal, e SC aos furos sem cobertura vegetal.

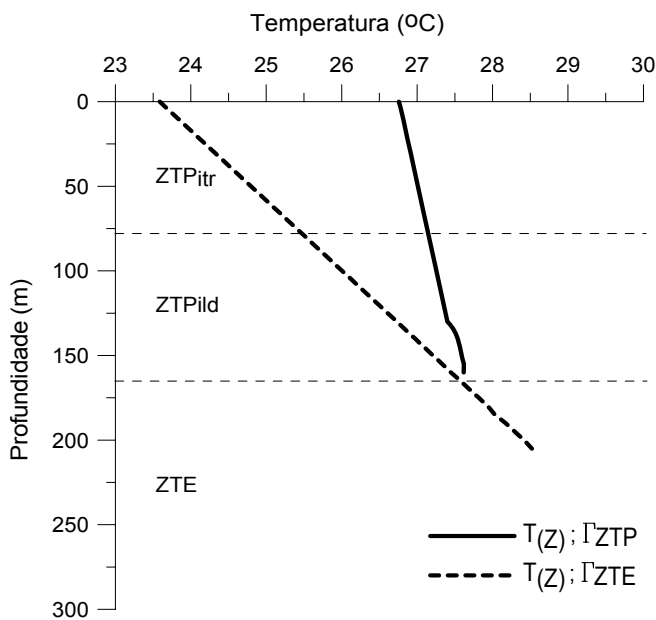


Figura 2. Inferência das Temperaturas médias anterior ao rearranjo térmico e atual em Manaus (AM)

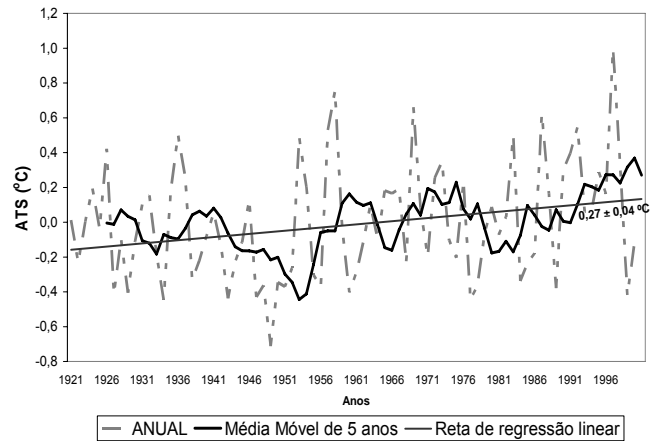


Figura 3 - Tendência observada das temperaturas médias do ar de superfície em Manaus-AM, de 1921 a 2000

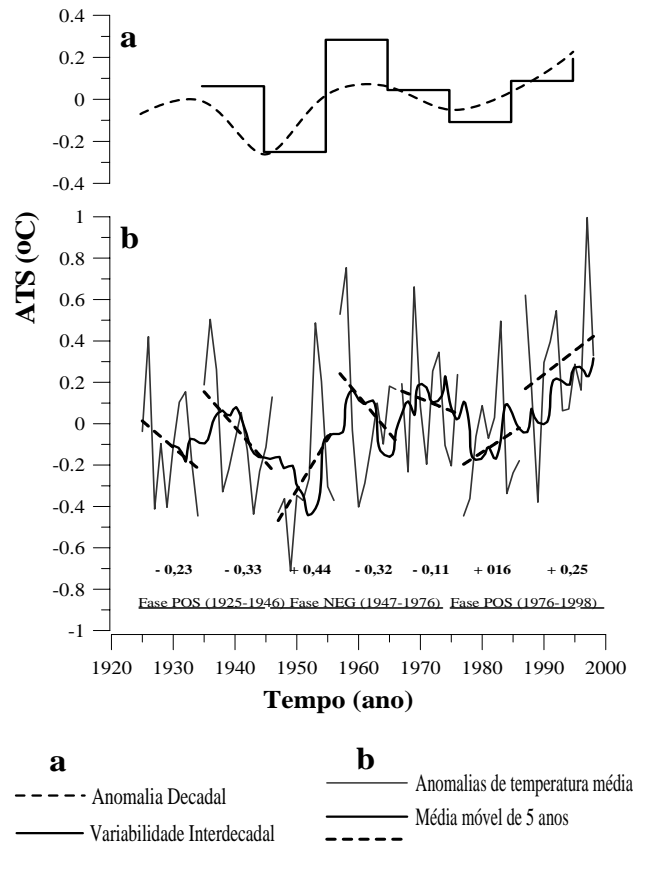


Figura 4. Variabilidades e Tendências observadas da temperatura média do ar de superfície em Manaus entre 1921 a 2000. a – Variabilidades Interdecadais. b – Variabilidades Intrafases da ODP