CARACTERÍSTICAS DAS CONDIÇÕES DE TEMPO E CLIMA E POLUIÇÃO DO AR EM GOIÂNIA

Sylvia Elaine Marques de Farias
Meteorologista, Especialização em Planejamento e Gestão Ambiental – EEC - UFG
Instituto de Estudos Sócio Ambiental - IESA/Universidade Federal de Goiás – UFG - Campus Samambaia (Campus II) – CEP 74001-970, Caixa Postal: 131. Goiânia, GO.

Karla Emmanuela Ribeiro Hora, Saulo Bruno Silveira e Sousa.

sylfarias@gmail.com

RESUMO: O processo de urbanização proporciona mudanças significativas nas propriedades físicas da superfície e da atmosfera urbana. O ar proveniente de regiões rurais encontra diferentes condições radiativas, térmicas, hidrológicas e aerodinâmicas sobre o ambiente construído. O ecossistema urbano também é caracterizado por atividades antrópicas e pelos resíduos provenientes destes processos. Neste ambiente, pessoas animais e plantas são expostas a concentrações danosas de poluentes particulados atmosféricos. Tais concentrações de poluentes na atmosfera urbana podem ser potencializadas ou minimizadas dependentes das condições de tempo e clima, assim como em decorrência da energia térmica proveniente do ambiente construído. Desta forma, Foram analisadas duas áreas distintas na cidade de Goiânia-GO considerando variáveis climáticas e de tempo e a presença de material particulado em suspensão (MPS). As áreas possuem características distintas sendo, uma densamente urbanizada (centro da cidade) e outra em processo de urbanização (região suburbana). Os elementos meteorológicos climáticos observados foram temperaturas máximas, mínimas e médias, umidade relativa e precipitação, direção e velocidade do vento entre os anos de 1975 a 2009. E, de tempo as mesmas variáveis meteorológicas , porém para os meses de Setembro e Outubro de 2007. Para as análises foram considerados os dados das Estações Meteorológicas do INMET (16º40'S, 49º15'W; 741,48m) localizada no centro da cidade e da Estação Evaporimétrica de Goiânia (16º41'S, 49º16'W; 741,48m) localizada no campus Samambaia da UFG na área rural, distando entre si, de 8,5km. Comparando-se as temperaturas médias mensais em ambas, verificou-se que são significativamente mais elevadas na área urbana central. Sendo as diferenças para as temperaturas na área urbana de 2,5^{o}C (máxima), 3,4^{o}C (mínima) e 2,3^{o}C (média). O centro da cidade foi 11% mais seco que a região periférica. Tal condição climática no centro da cidade e a elevada emissão de gases de origem veicular tendem a explicar a maior concentração percentual de MPS nesta área. Menores concentrações de MPS são observadas durante a estação chuvosa. A região central da cidade apresentou condições mais extremas de estresse térmico e hídrico, implicando maior desconforto térmico para a população, potencializando os efeitos negativos da qualidade do ar e suas implicações sobre a saúde humana.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição do ar, Goiânia, Tempo, Clima, Urbanização.

INTRODUÇÃO

Embora seja um problema tão antigo quanto à domesticação do fogo pela humanidade, a poluição do ar é atualmente um dos maiores problemas que acometem as sociedades humanas. Altos índices de poluição do ar são responsáveis pelo agravamento de doenças respiratórias e cardíacas na população urbana, assim como contribuem para a deterioração da vegetação e das construções nas cidades. O ar poder estar poluído por meio de gases e partículas tão microscópicas que não se percebe. Altos índices de poluição do ar em geral, acontecem nos centros urbanos, onde estão localizadas as fontes poluidoras. Essas migram pelo vento, como consequências da circulação natural do ar, para as regiões rurais, menos poluídas. A poluição do ar nos centros urbanos é decorrente de fontes antrópicas, principalmente a veicular e resíduos industriais. Todavia, fontes naturais também podem poluir a atmosfera urbana. As altas concentrações de poluentes no ar podem ser agravadas ou minimizadas em condições extremas de tempo e de sazonalidade climática. Assim como, podem influenciar o tempo sobre o ambiente urbano, ou serem influenciadas dadas as condições meteorológicas atuantes. Sobre o ambiente construído o ar interage diretamente com a superfície e influencia diretamente a

qualidade de vida da população. Sob este contexto, as cidades são sistemas dinâmicos que concentram pessoas e ativos econômicos sob a dinâmica da poluição atmosférica, influenciando diretamente os processos de concentração, remoção e dispersão dos poluentes no ar.

O processo de urbanização no Brasil possui características singulares. Por um lado ocorreu em ritmo intenso decorrente da migração para centros urbanos incrementados pelo desenvolvimento econômico. Por outro, ainda é resultado da especulação imobiliária, de vazios urbanos e concentrações em áreas consideradas de risco. Os vazios urbanos nos centros das cidades associados ao elevado custo da terra urbana aumentam os deslocamentos centro-periferia, distribuindo mal o fluxo de veículo entre as regiões comerciais, industriais e residenciais nas áreas urbanas. Este processo contribui para elevar as condições de cenários de riscos socioambientais para as populações urbanas. Todavia, o planejamento urbano em muitos casos não contempla a mitigação dos problemas causados pelo tráfego veicular. A realidade urbana convive com dificuldades de mobilidade intermunicípio, verificada no movimento pendular centro-periferia, nos problemas de trânsito e na especulação imobiliária. Tal situação contribui para a elevação dos efeitos decorrentes de altas concentrações de Gases de Efeito Estufa (GEE) e material particulado em suspensão (MPS) na atmosfera urbana, advindos do uso do solo e aumento da frota veicular, por conseguinte, elevando os gastos com saúde pública e eventos extremos climáticos. Desta forma, este estudo tem por objetivo caracterizar condições de tempo e sazonalidade climática que podem potencializar ou minimizar as concentrações de material particulado em suspensão na atmosfera urbana.

A ATMOSFERA DA TERRA E A POLUIÇÂO DO AR

Poluente por definição é qualquer substância que, pela sua concentração, possa tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e ao gozo da propriedade, bem como às atividades normais de uma comunidade. Estes podem ser emitidos diretamente pelas fontes de emissão (fonte primária), ou aqueles formados na atmosfera através da reação química entre os poluentes primários e constituintes naturais da atmosfera (fonte secundária). São também classificados como fontes móveis (automóveis, caminhões, motocicletas, etc;) e Fontes fixas (fábricas, construções, manejo do solo, etc). Os poluentes podem estar ainda na forma de poeira, fumaça, pólen, cinzas (material particulado – MP) ou na forma de gases (dióxido e monóxido de Carbono, óxidos de Nitrogênio, Ozônio, etc.).

A Legislação Brasileira estabeleceu padrões de qualidade do ar para concentrações de partículas totais em suspensão (PTS) para curtos e longos períodos. Para o período de 24 horas (curto) existe o padrão de qualidade do ar primário (240 $\mu g/m^3$), cujas concentrações de poluentes que ultrapassarem esse padrão poderão afetar a saúde da população e o secundário (150 $\mu g/m^3$), no qual as concentrações de poluentes atmosféricos estão abaixo do que se prevê para o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à flora e a fauna. Para longos períodos foram definidas as médias geométricas anuais nos valores de 80 $\mu g/ m^3$ (primário) e 60 $\mu g/m^3$ (secundário). Os padrões de qualidade do ar são estabelecidos pela resolução do CONAMA 03/90 e pelo Decreto n^o 1745, de 06 de Dezembro de 1979 que regulamenta a Lei 8.544/78 do Estado de Goiás. A legislação estadual define no artigo 33 os padrões de qualidade do ar para partículas em suspensão: Concentração média anual: 40$\mu g/ m^3$; Concentração máxima diária: 120$\mu g/m^3$.

CONDICIONANTES DA POLUIÇÃO DO AR NA BAIXA TROPOSFERA

A atmosfera tem como limite inferior a superfície terrestre. É justamente nesta interface ar-superfície onde acontecem a maioria das atividades humanas e suas interações com o ambiente e vice versa. É na Troposfera, portanto que se percebem mais naturalmente as mudanças no tempo e no clima, assim como os estádios de concentração de material particulado em suspensão. No interior desta camada, mais próxima ainda da superfície e totalmente influencia por ela, encontra-se outra camada comumente conhecida na literatura como Camada Limite Atmosférica (CLA). É definida como a região da Troposfera que é diretamente influenciada pela presença da superfície terrestre e responde a esta forçantes (térmica ou mecânica) em uma escala de tempo da ordem de uma hora ou menos (STULL, 1988). O nascer e o por do Sol, são gatilhos para o desenvolvimento e decréscimo da altura da CLA. A espessura da CLA varia no tempo e no espaço com amplitudes de centenas de metros a poucos quilômetros. Sobre centros urbanos normalmente varia da ordem de 1 a 2 km de espessura (STULL, 1988), ocupando cerca de 10 a 20% da Troposfera. Em momentos de extrema convecção, pode chegar a 3 km ou mais. As forçantes, ou mecanismos físicos inerentes a esta parte da atmosfera são térmicas (energia solar que chega e é emitida de volta a atmosfera) e mecânicas (rugosidade do terreno e o atrito do ar como o solo). Tais mecanismos térmicos e mecânicos induzem a turbulência que conforme as condições de

tempo e sazonalidade climática induzem os processos físicos de concentração, dispersão e remoção de material particulado em suspenção no ar.

As interações entre o balanço de energia e o ciclo hidrológico na superfície são predominante para as trocas verticais de calor, momentum, vapor d'água e emissões de poluentes no interior da CLA que é diretamente sentida pelos seres vivos no seu interior. O balanço de energia à superfície é o resultado da contabilização da radiação de ondas curtas (do sol) que incide e reflete á superfície e, da radiação de ondas longa incidente e refletida pela superfície. Desta forma, o balanço de energia é fortemente modulado pela radiação solar incidente e é repartido em energias para o aquecimento do ar e do solo e para evaporação. Estes percentagens de energia disponíveis à superfície são controladas pelo tipo e estado da superfície.

Segundo MÖLDERS (2012, pg. 27), as emissões antropogênicas ocorrem em conexão com o uso do solo urbano. As mudanças no uso do solo alteram a distribuição das emissões antropogênicas e biogênicas e como consequência altera a composição química da atmosfera o ciclo dos gases traços e se, o GEE e material particulado estão envolvidos, também o balanço de radiação.

O processo de urbanização proporciona mudanças significativas nas propriedades físicas da superfície e da atmosfera. A maior porção de energia que chega ao ambiente construído das cidades é armazenada nos constituintes de que são feitas as construções. Além do mais, a pouca umidade disponível no ambiente construído e consequentemente as temperaturas elevadas produzem o desconforto térmico para a população e condicionam a concentração de poluentes no ar. O ar proveniente de regiões rurais que chega a cidade encontra diferentes condições radiativas, térmicas, hidricas e aerodinâmicas. O grande número de edificações e ruas proporciona que uma grande porção da superfície do solo seja coberta por materiais impermeáveis como concreto e asfalto. A superfície da cidade possui uma característica muito complexa consistindo de um mosaico de diferentes materiais de superfície. Cada material da superfície possui albedos diferentes. O albedo é a medida da quantidade de radiação solar refletida para o espaço ou absorvida pela superfície. Muitos dos materiais de construção das cidades são caracterizados por uma alta capacidade térmica e alta condutividade térmica. Adicionalmente, a forma das cidades tende a armazenar a radiação próxima a superfície. A energia é armazenada na cidade durante as horas do dia e perdida gradualmente à noite. Outro importante fator que modifica o tempo na cidade é a poluição do ar. As mudanças na composição do ar reduzem a quantidade de radiação solar que chega a superfície do solo. Os poluentes fazem com que o ar seja menos transparente a luz solar.

Portanto, a urbanização aumenta as emissões urbanas. Com o crescimento das cidades aumentam as emissões de CO, NOx e material particulado, proporcional ao número de veículos. Os aglomerados urbanos favorecem a advecção do ar urbano poluído sobre áreas rurais menos poluídas (MÖLDRS, 2012, p. 101)

CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO DA ATMOSFERA URBANA

A atmosfera sobre os centros urbanos é dependente das condições do tempo e do clima que, influencia diretamente sobre os processos de dispersão, remoção e deposição dos poluentes do ar. Precipitação, temperatura e vento são elementos climáticos essenciais para se compreender o processo da poluição do ar nas cidades. A precipitação funciona como o principal removedor do poluente do ar. Ela limpa a atmosfera. A temperatura, porém pode atenuar ou facilitar a dispersão do poluente. Temperatura mais baixa concentra o poluente próximo da superfície da cidade impedindo que ele se disperse para as outras camadas de ar acima, caso da inversão térmica. Temperaturas mais altas tendem a facilitar a dispersão destes poluentes, porém potencializa as reações químicas próximas a superfície urbana, favorecendo as fontes de poluentes de segunda ordem, como o ozônio. Todavia, as correntes de ar, especificamente a velocidade do vento é o agente potencializador de todos os processos (dispersão, remoção e deposição) de poluição do ar sobre a cidade.

Nos centros urbanos, a velocidade do vento é mais baixa que nos arredores, tende a se mover mais devagar próximo ao solo, devido à rugosidade da superfície edificada e, aumenta a sua velocidade com a altura. Contudo, em alguns casos, a configuração de vias e edifícios pode acelerar a velocidade do vento urbano – efeito canalização de ruas, efeito pilotis, desviando o fluxo de ar para o solo por edifícios altos. Ao chegar à cidade, o vento pode mudar de direção, ao seguir os túneis criados pelas ruas com edificações altas em ambos os lados, ou ao incidir em edificações perpendiculares a direção original do vento.

A turbulência, movimento aleatório do ar, favorece a pequenas brisas urbanas. A convergência de fluxos de ar, da periferia para o centro densamente urbanizado, quando o vento regional está fraco ou em calmaria, denomina-se brisa urbana. Este fenômeno surge a partir do estabelecimento de um gradiente horizontal de

temperatura, e quando a ilha de calor (denominação atribuída ao maior aquecimento das cidades em relação a sua periferia rural) apresenta-se bem desenvolvida. O ar mais fraco, ao chegar à cidade, reduz temporariamente a intensidade da ilha de calor. Cria-se assim, um sistema de circulação local, de modo que o ar mais fresco procedente do campo ou da periferia dirige-se ao centro urbano, de onde ascende para retornar ao campo, onde, já mais frio, descende novamente. Esse fenômeno é, em geral, intermitente.

A circulação do ar urbano no interior da malha urbana e acima dela, pode potencializar ou minimizar os efeitos da poluição do ar sobre os seres vivos. Neste sentido, o acúmulo de poluentes na atmosfera urbana lhe dá maior densidade e, consequentemente, maior acúmulo de energia térmica nessa atmosfera (efeito estufa). A corrente de ar, quente ascendente, junto ao aumento de poluentes, pode provocar um aumento de precipitações, que podem ser danosas (chuva ácida) à cidade, corroendo a massa construída, prejudicando a vida ali existente e poluindo os cursos de água ao serem canalizados. O ar urbano mais fresco pode também ajudar a reduzir os níveis de ozônio e smog ao nível do solo. O smog não sai direto das chaminés de fábricas ou dos escoamentos dos carros. Ele é formado por meio de uma reação química que ocorre quando poluentes do ar como óxidos de nitrogênio (NOx) e compostos orgânicos voláteis (COVs) se misturam no ar. Quanto mais quente, mais rapidamente acontece a reação e maior é a quantidade de smog formado.

Os efeitos mitigatórios da poluição do ar podem vir das plantas. Plantas absorvem CO_2 da atmosfera durante o processo de fotossíntese, armazenando carbono para o crescimento e emitindo oxigênio de volta para a atmosfera. Devido à produção de oxigênio por si só, árvores e vegetações são partes vitais de nosso ecossistema. A remoção do CO_2 atmosférico é também uma importante função de árvores e vegetação. Anualmente árvores e vegetação removem ou sequestram quantidades significativas de CO_2 do ar, armazenando seu carbono e liberando seu oxigênio. As arvores retiram os poluentes do ar absorvendo gases ou armazenando partículas pelas suas folhas.

CONCENTRAÇÃO OBSERVADA DE MATERIAL PARTICULADO EM GOIÂNIA

Os centros urbanos são responsabilizados pela maior parte dos poluentes lançados na atmosfera. Grande parte desta poluição do ar sobre os centros urbanos se deve as fontes móveis (veicular) e ao padrão de consumo dos citadinos. As características socioeconômicas de uma região estão relacionadas à qualidade de vida de seus habitantes. A cidade de Goiânia foi projetada para 50 mil habitantes e hoje conta com uma população de 1.302.001 habitantes, em uma área de 732.801 Km^2. A população residente urbana é de 99.6%, enquanto a rural é de 0.38% segundo o Censo de 2010. Está localizada na latitude 16º40'43'' Sul e longitude 49º15'14'' Oeste. O clima da cidade é caracterizado por um verão chuvoso e com temperaturas elevadas (Outubro a Março) um inverno seco (Abril a Setembro) com elevada amplitude térmica. A cidade sofre as influencias diretas das ZACAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) e das Monções sobre a América do Sul, corroboradas pela circulação de mesoescala como as massas de ar Equatorial e Tropical Continental e as massas Tropical e Polar Atlântica. A cidade possui características peculiares, no município ocorreu um crescimento de 8,2% na frota de veículos de 2009 para 2010, representando 64.5 veículos para cada 100 habitantes, tornando-se a capital brasileira com o maior índice de veículo por habitante. Conforme estudos realizados pela Agência Municipal do Meio Ambiente (AMMA), Goiânia é a capital brasileira que possui maior número de metros quadrados de áreas verdes por habitantes no Brasil, com 94 m² de áreas verdes por habitante. Superando em aproximadamente oito vezes o índice recomendado pela Organização das Nações Unidas (ONU).

COSTA, (20011) estudou o material particulado inlável no centro de Goiânia. Seus resultados mostraram que: as concentrações de partículas finas ($MP_{2,5}$) e grossas (MP_{10})apresentaram variação sazonal com uma redução de 80% no período chuvoso; As maiores concentrações de MP_{10} e $MP_{2,5}$ sofrem influencias das queimadas de vegetação e de lixo em Goiânia, onde as maiores concentrações de particulado ocorrem nos meses de maior número de queimadas; O teor de fração fina está em torno de 35%, tanto nas estações seca e de chuvas; O padrão primário previsto na resolução CONAMA, de 150µm.m^{-3}, em 24 horas, não foi ultrapassada em nenhum dos dias amostrados; Porém, se for considerado o valor médio anual, de 50µm.m^{-3}, o estudo mostrou que este valor foi ultrapassado algumas vezes. Indicando que em alguns períodos de tempo, a qualidade do ar variou de "boa" a "regular" no período seco e, "boa" no período chuvoso; As concentrações de material particulado fino (menor que 2,5 µm.m^{-3}) ficaram acima do limite recomendado no período seco. Dentre as concentrações de metais (Chumbo-Pb, Cobre-Cu,Cromo-Cr, Manganês-Mn e Níquel-Ni) que estão associados ao material particulado em suspensão, somente o Cádmio (Cd), em algumas amostras, ultrapassou os limites recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e Agencia de Proteção Ambiental dos Estados

Unidos (USEPA); Como forma de minimizar os efeitos da poluição do ar sobre o ambiente, foi observado que a vegetação contribui para melhorar a qualidade do ar. Esta contribuição esta relacionada à capacidade das folhas em adsorver o material particulado em suspensão. A vegetação retém e acumula o material particulado nas folhas impedindo que voltem a ser dispersos novamente no ar. As espécies que mais contribuíram para melhorar a qualidade do ar foi o Oiti, seguido pela Monguba.

CONSIDERAÇÕES SOBRE TEMPO E CLIMA

O sistema climático terrestre é caracterizado por três fatores principais: fatores externos, interações entre a atmosfera e superfície terrestre e fatores internos. Como fatores externos do atual clima terrestre consideram-se as forçantes externas como as mudanças nas placas tectônicas, mudanças na órbita da Terra e intensidade da radiação solar. Sobre este paradigma encontram-se as interações entre a atmosfera, litosfera, hidrosfera e biosfera. Como fatores internos, agentes modificadores em uma menor escala espaço-temporal, estão às mudanças no uso da terra, na composição química da atmosfera, na vegetação, nos oceanos e camada de gelo. Tais mudanças podem ter causas antrópica ou natural.

O Clima na Terra é caracterizado por *elementos* e *fatores*. Os elementos são grandezas (variáveis) da atmosfera, ou seja, radiação solar, temperatura, umidade relativa, pressão, velocidade e direção do vento, precipitação. Tais variáveis descrevem as condições atmosféricas num dado local e instante. Fatores são agentes causais que condicionam os elementos climáticos. Fatores geográficos, tais como latitude, altitude, continentalidade/oceanalidade, tipo de correntes oceânicas. A radiação solar pode ser tomada ou como fator condicionante, ou como elemento dependente da latitude, altitude e época do ano. A época do ano é caracterizada pela posição relativa Terra-Sol, tomando-se o equador terrestre como referencial. Aliado a inclinação da Terra em relação ao Sol e aos movimentos de rotação e translação do planeta definem-se as estações do ano.

Frequentemente ocorre confusão conceitual entre *clima* e *tempo*, duas grandezas que se distinguem, pelo espaço temporal de referência. Numa simplificação de abordagem, segundo Vianelo e Alves (2004) o estado de tempo refere-se ao conjunto das condições meteorológicas num dado local num dado tempo cronológico. Tais como: a temperatura e a umidade do ar, a precipitação, a nebulosidade, o vento e à sua evolução no dia a dia. Por outro lado, o Clima poderá traduzir-se pelo conjunto de todos os estados que a atmosfera pode ter num determinado local, durante um tempo longo, mas definido (Vianelo e Alves, 2004). Este intervalo de tempo durante o qual pode-se dizer que existe um determinado tipo de clima é escolhido como "suficientemente longo", em geral 30 anos. O clima abrange maior número de dados e eventos possíveis das condições de tempo para uma determinada localidade ou região. Inclui considerações sobre os desvios em relação às médias, variabilidade climática, condições extremas e frequências de eventos que ocorrem em determinada condição do tempo. Dessa forma, para se estudar o tempo e clima necessários o registro das variáveis físicas. Para tanto é imprescindível suas medidas e armazenamento em bando de dados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Sob o contexto da qualidade do ar urbano e o material particulado em suspensão (MPS) nesta atmosfera, foram consideradas comparações e análises entre os elementos climatológicos e de Tempo (Temperatura, Umidade Relativa e Precipitação) e as condições favoráveis ou desfavoráveis a concentração, dispersão e remoção deste material particulado na atmosfera urbana de Goiânia, GO.

Dados de Tempo e Clima

Os dados utilizados são provenientes da estação Evaporimétrica de Goiânia e foram obtidos da página da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimento, UFG (www.agro.ufg.br). Os dados provenientes do INMET foram obtidos da própria Instituição. Sendo que para o INMET os dados estavam dispostos em medidas diáriss enquanto que na Estação Evaporimétrica, em médias mensais. Os elementos do clima observados foram médias mensais para as temperaturas máxima, mínima e média, umidade relativa e precipitação, entre os anos de 1975 a 2009, coincidindo o período de dados entre as Estações Meteorológicas. As variáveis consideradas foram também analisadas sazonalmente para os períodos seco (Abril a Setembro) e chuvoso (Outubro a Março).

Todavia, para a estação do INMET a temperatura média e umidade relativa média diária foram calculadas segundo a metodologia proposta pelo INMET. As Equações (1) e (2) respectivamente foram utilizadas para calcular a temperatura e a umidade relativa média:

$$T_{MC,kij} = (T_{max,kij} + T_{min,kij} + T_{12,\,kij} + 2T_{24,kij})/5 \quad (1)$$

$$UR_{C,kij} = (UR_{12,kij} + UR_{18,kij} + 2UR_{24,kij})/4 \quad (2)$$

Onde os índices k, i, j correspondem respectivamente a dia, mês e ano. Os índices 12, 18 e 24, referem-se ao horário padrão UTC.

Após o cálculo da temperatura média e umidade relativa estas, foram compiladas para médias mensais. As temperaturas máximas e mínimas se referem aos maiores e menores valores medidos durante os horários sinóticos 00, 12 e 18 TMG. Posteriormente estas foram calculadas como médias mensais. Para a precipitação foram calculadas médias mensais e anuais.

Para efeitos das análises e a avaliação dos dados de Temperaturas, Umidade relativa e Pressão, foram feitas análises estatísticas baseadas nas correlações entre os dados provenientes das duas estações meteorológicas convencionais, INMET e Escola de Agronomia. Neste estudo somente foram analisados dados com correlações iguais ou superiores a 70%.

DADOS DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO

Os dados de material particulado sobre o centro urbano de Goiânia são provenientes da Secretaria de Recursos Hídricos de Goiás (SEMARH). Estes dados são originários de um programa de controle da qualidade do ar na cidade. O material particulado é medido por um Amostrador de Grandes Volumes (HiVol) instalados em diferentes pontos da cidade: Neste estudo foram consideradas a Praça do Trabalhador e terminal de ônibus urbano, Terminal Izidória, durante o ano de 2007, durante os meses de Agosto, Setembro e Outubro. Sendo para o Terminal Izidória o período de 13 de Setembro a 17 de Outubro; e, para a Praça do Trabalhador o período de 28 de Agosto a 17 de Outubro. Época de transição entre os períodos seco e chuvoso.

ÁREA DE ESTUDO

As análises entre os elementos do clima foram realizadas para duas áreas distintas representando diferentes níveis de ocupação e cobertura de terra urbana, tais como: rugosidade, vegetação, emissão de calor antropogênico e urbanização. Tais áreas foram escolhidas como representativas do centro da cidade e de uma região periférica na parte nordeste de Goiânia, GO. Esta, menos urbanizada, porém configurada atualmente como fator da expansão mobiliária nos últimos anos. Todavia, consta nestas áreas a instalação de Estações Meteorológicas convencionais que representam dados históricos sobre a cidade. As Estações Meteorológicas são representadas pelo INMET (16º40'S, 49º15'W; 741,48m) localizada no centro da cidade e pela Estação Evaporimétrica de Goiânia (16º41'S, 49º16'W; 741,48m) localizada na Faculdade de Agronomia e Engenharia de Alimentos, no campus Samambaia, na Universidade Federal de Goiás, distando entre de 8,5km. Os dados provenientes das Estações Meteorológicas são decorrentes de observações diárias nos horários sinóticos 00, 12 e 18 UTC, padrão da OMM. As áreas possuem características distintas quanto ao uso e ocupação da cobertura de terra, quanto à urbanização, percentual de vegetação, mobilidade urbana, tráfego veicular e qualidade do ar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudando e avaliando a variação das Temperaturas (máximas, mínimas e médias) ao longo do ano entre o centro da cidade e a região suburbana de Goiânia foi observado que as temperaturas seguem sazonalmente um mesmo padrão de elevação e diminuição. Porém, as Temperaturas foram sempre mais elevadas no centro da cidade (CC) comparados a região suburbana (RS). Tal variação, segundos alguns estudos (LANDSBERG, 1981; OKE, 1987; STULL, 1988) se devem a constituição dos materiais pouco refletivos das construções, a

menor evapotranspiração, e consequentemente menor concentração de umidade sobre o ambiente construído. O elevado tráfego veicular no centro da cidade potencializam as altas concentrações de material particulado em suspensão (MPS). Estes processos modificam o balanço de energia à superfície e como cosequencia a camada limite interna urbana, favorecendo o que se conhece na literatura como uma característica do clima urbano, a ilha de calor (ou frescor) e a brisa urbana. Estes fenômenos corroboram para que ocorram padrões distintos de variação sobre a Precipitação e a Umidade Relativa. Em média, chove mais sobre o CC em relação a RS. Todavia, o CC é bem mais seco que a RS. Este contraste se deve a que sobre CC o balanço hídrico urbano proporciona um maior escoamento superficial e elevadas taxas de evaporação (LANDSBERG, 1981).

As Tabelas 1 e 2 descrevem a variação sazonal de variável climática Temperatura do ar, Umidade relativa e Precipitação entre duas áreas distintas na cidade de Goiânia durante o período de 1975 a 2009. As áreas em estudo são representadas por duas Estações Meteorológicas do tipo convencional, distante entre si de aproximadamente 8,5 km, e são representativas das condições de clima urbano, refletindo-se nas características do uso do solo urbano, caso do centro da cidade (CC) e da região suburbana (RS). Esta, em processo de urbanização, ainda com remanescentes de vegetação e com relativamente, menor movimento de tráfego. As Tabelas 1 e 2 mostram características climáticas distintas entre as áreas, configurando-se no uso e ocupação do solo urbano.

TABELA 1 – Variação sazonal entra as épocas seca e chuvosa para o Centro da Cidade (CIDADE) e Região Suburbana (SUBUR) de Goiânia para as Temperaturas máximas, mínimas e médias entre 1975 a 2009.

PERÍODO		TEMPERATURA MÁXIMA (°C)		TEMPERATURA MÍNIMA (°C)		TEMPERATURA MÉDIA (°C)	
		CIDADE	SUBUR.	CIDADE	SUBUR.	CIDADE	SUBUR.
ESTAÇÃO SECA	MÉDIA	32,8	30,5	17,5	12,8	24,3	21,0
	MÁXIMA	35,4	32,3	20,3	16,4	26,1	23,0
	MÍNIMA	31,0	29,2	15,4	9,9	22,7	19,0
ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIA	33,1	30,5	20,2	18,1	24,9	23,5
	MÁXIMA	35,2	32,0	20,3	18,5	26,1	24,1
	MÍNIMA	32,4	29,8	20,0	17,4	24,5	23,3
MÉDIA MENSAL		33,0	30,5	18,8	15,4	24,6	22,3

Na Tabela 1, observam-se as diferenças significativas para as temperaturas quanto às estações seca e chuvosa. Observa-se que as temperaturas sempre foram significativamente mais elevadas sobre o centro da cidade que sobre a região periférica, em qualquer época do ano. Considerando-se as estações chuvosa (Outubro a Março) e seca (Abril a Setembro), as análises mostraram que a média das diferenças foi: Temperatura mínima (2,1°C – chuvoso; 4.7°C – seco); Temperatura máxima (2,6°C – chuvoso; 2,3°C – seco) e Temperatura média (1,4°C – chuvoso; 3,2°C – seco). As maiores diferenças entre CC e RS, são mais significativas, superiores a 2,5°C entre os meses de Agosto a Dezembro, durante a estação chuvosa. Verifica-se que o aumento da temperatura é mais evidente na medida em que se inicia o período chuvoso. Em média a temperatura máxima na área urbanizada é de 33,0°C e na área rural é de 30,5°C. A temperatura média no (CC) foi de 24,6°C enquanto em (RS) foi de 22,3°C.

Na Tabela 2, são mostradas as variações sazonais para a umidade relativa do ar e precipitação mensais e totais anuais. Os percentuais de umidade relativa do ar foram sempre superiores sobre a região suburbana (RS). Tanto para a época seca quanto para a época chuvosa, os percentuais de umidade relativa estão próximos ou superiores a 70% e mais constantes, enquanto sobre CC estes, apresentam maior variação e valores mínimos de 45%. Em média, a umidade relativa sobre CC foi de 63,4%, enquanto para RS foi de 78,3%. Uma diferença de aproximadamente 15%. Considerando-se as médias mensais, verifica-se que RS é aproximadamente 11,2% mais úmida que CC. Quanto à precipitação, observa-se que sobre CC na maioria dos casos foi superior a RS. Tal verificação é observada principalmente na estação das chuvas, tanto para os totais mensais quanto anuais. A precipitação média mensal foi de 131,8 mm em CC e de 126,7 mm em RS. Considerando os totais anuais

médios, foram observados 1611,5mm sobre CC e de 1509,2mm sobre RS. Considerando-se os totais médios mensais, na estação seca chove 236,7mm em RS e 243,7mm em CC. Enquanto na estação chuvosa é de 1283,4mm para RS e de 1338,3mm para CC.

TABELA 2 - Variação sazonal entra as épocas seca e chuvosa para o Centro da Cidade (CIDADE) e Região Suburbana (SUBUR) de Goiânia para a Umidade relativa do ar e Precipitação média e total entre 1975 a 2009.

PERÍODO		UMIDADE RELATIVA (%)		PRECIPITAÇÃO MÉDIA (mm)		PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm)	
		CIDADE	SUBUR.	CIDADE	SUBUR.	CIDADE	SUBUR.
ESTAÇÃO SECA	MÉDIA	55,9	74,4	40,6	39,4	1421,6	1380,5
	MÁXIMA	68,2	81,5	120,0	111,0	4198,4	3886,5
	MÍNIMA	45,1	67,9	5,2	5,2	180,6	183,0
ESTAÇÃO CHUVOSA	MÉDIA	71,3	82,1	223,0	213,9	7806,3	7486,4
	MÁXIMA	75,0	84,4	272,6	259,3	9540,6	9077,1
	MÍNIMA	60,8	76,3	146,0	151,1	5108,5	5288,4
MÉDIA MENSAL		63,6	78,3	131,8	126,7	4613,9	4433,4

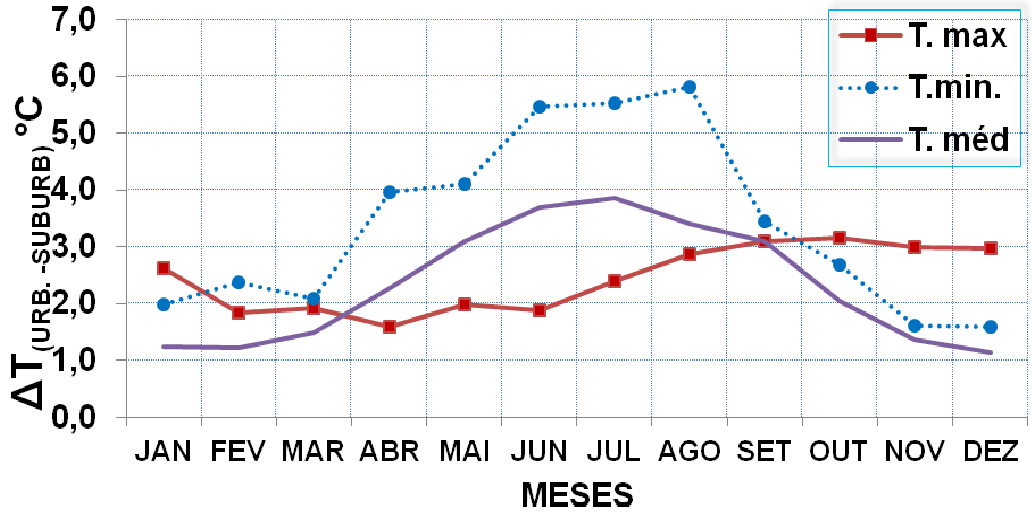
A Figura 1 (A) e (B) mostram a variação da diferença entre elementos climáticos para duas áreas urbanas em Goiânia. Uma no Centro da Cidade (Estação Meteorológica do INMET) e outra na Região Suburbana (Estação Evaporimétrica de Goiânia). Em resumo, estas diferenças se referem aos elementos climáticos de CC menos aos da RS. Vale ressaltar que os dados entre as Estações Meteorológicas foram correlacionados entre si. Os coeficientes de correlação entre as áreas foram: temperaturas mínimas (0,94), temperaturas máximas (0,87) e temperaturas médias (0.70).

Na Figura 1 (A), são mostradas as variações das diferenças entre as áreas para as Temperaturas máximas, mínimas e médias. Os valores são significativos quando comparamos o período entre Abril a Setembro, período seco e frio. Todavia, menores amplitudes ocorrem nos meses de Março e Setembro, limite entre a estação seca e chuvosa. As maiores amplitudes ocorrem para as Temperaturas mínimas. Seguida das Temperaturas média e máxima. Considerando-se as médias geométricas dessas diferenças, a Temperatura mínima (3,4^{o}C) foi mais significativa. Enquanto as médias para as temperaturas máximas (2,4^{o}C) e médias (2,3^{o}C), foram praticamente iguais. As diferenças entre CC e RS para a Temperatura mínima ficou em torno de 5,0^{o}C no trimestre Junho-Julho-Agosto (JJA).

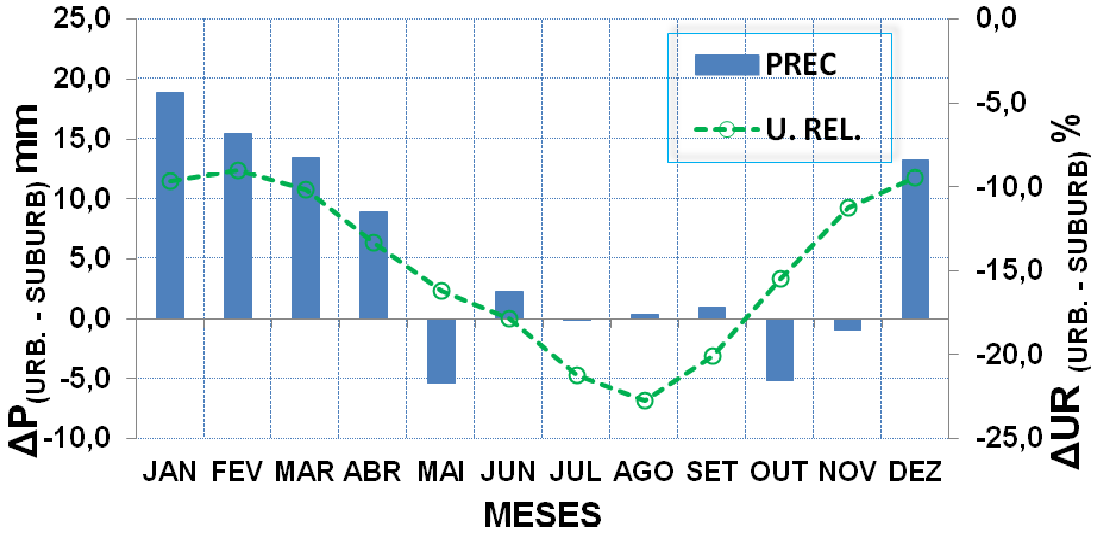
Analisando-se as Temperaturas mínimas médias ao longo do ano, para as áreas em discussão, observa-se que elas são menores em RS. Valores mínimos significativos ocorrem para Junho e Julho. Estes decrescem de Abril a Julho e voltam a ascendera de Agosto a Outubro. Em média, as mínimas são de 15,4^{o}C (RS) e de 18,8^{o}C (CC). Sendo a mínima (1,6^{o}C) nos meses de Novembro e Dezembro e máxima (5,8^{o}C) em Agosto.

A variação anual da Temperatura máxima é mais elevadas entre os meses de Julho a Outubro e ligeiramente mais baixos entre os meses de Novembro a Junho. O aumento das temperaturas máximas ocorre no período seco. Considerando-se a variação anual das Temperaturas máximas para CC e RS sobre a cidade, têm-se: menor em Julho (29,6^{o}C – RS) e (31,0 ^{o}C – CC) e maior em Outubro (32,0 ^{o}C – RS) e Setembro (35,4 ^{o}C – CC). Analisando-se o período chuvoso, as máximas mais baixas são observadas em Dezembro (29,8^{o}C – RS) e em Fevereiro (32,4^{o}C – CC); enquanto as máximas mais altas ocorrem em Março (30,7^{o}C – RS) e em Novembro (33,3^{o}C – CC).

Com relação à variação anual da Temperatura média estas, são menores nos meses de Junho e Julho e maiores nos meses de setembro e outubro. Verifica-se que as maiores diferenças entre o CC e RS ocorrem de Maio a Outubro sendo mínima nos meses de Dezembro a Fevereiro (em torno de 1,2^{o}C) e máxima nos meses de Junho (3,7^{o}C) e Julho (3,9^{o}C).



(A)



(B)

FIGURA 1 - Variação da diferença (Centro da Cidade-Região Suburbana) entre as Temperaturas Máxima, Mínima e Média (A) e entre a Precipitação e a Umidade Relativa para Goiânia-GO, entre os anos de 1975 a 2009.

Na Figura 1 (B), é apresentada a variação da diferença da precipitação e umidade para as duas áreas distintas (CC – RS). Observa-se que em média a quantidade precipitação sobre CC é maior que sobre RS. Salvo em alguns meses. Todavia, a Umidade Relativa sempre foi maior na RS. Períodos críticos para CC são observados para o trimestre Jun-Jul-Ago.

A precipitação sobre CC é significativamente superior a da RS (média de 9,1 mm). Isto é mais perceptível durante a estação chuvosa. O coeficiente de correlação para os dados de precipitação entre as duas áreas foi de 0,99. Todavia, os meses em que a precipitação em CC foi menor que na RS ocorreu nos meses de Maio (final das chuvas) e Outubro-Novembro (início da estação chuvosa). Respectivamente para valores absolutos (5,4 mm) e (5,1mm, 0,9mm).. Em média a precipitação no centro da cidade é 6,3% maior que na área da periferia. Comparando-se os ambientes urbanos e rurais, LANDSBERG (1981) observou que a precipitação é maior de 5 a 10% em áreas urbanas. Assim como, as tempestades são 10 a 15% mais frequentes sobre as cidades.

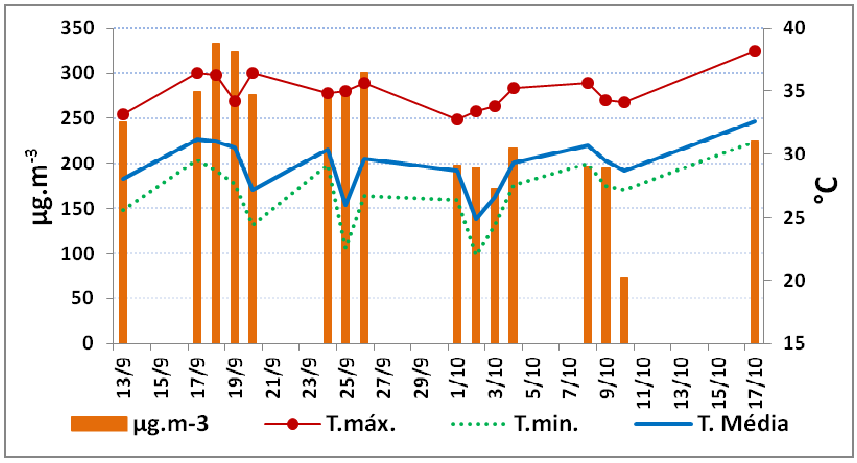
Considerando-se as diferenças médias mensais para a Umidade Relativa entre as áreas de estudo observa-se que RS é mais úmido que CC, considerando-se o período chuvoso (10,8%) e seco (18,6%), para valores absolutos. As diferenças mais significativas aparecem na medida em que se avança o período seco, consequentemente, diminuem com o avanço do período chuvoso. A diminuição da Umidade Relativa do ar nas cidades é uma característica importante do clima urbano (LANDSBERG, 1981, BARBIRATO, 2007). A maior percentagem de superfícies impermeabilizantes na cidade provoca o rápido escoamento das águas de chuva e reduz o índice de evapotranspiração. Valores mais baixos foram observados no mês de Agosto em ambas as áreas (67.9% - RS) e de apenas (45,1% - CC). Todavia, valores máximos, foram observados para o mês de Dezembro em ambas as áreas (84,4% - RS; 75,0% - CC). O coeficiente de correlação entre os dados para as áreas distintas em discussão foi de 0,99.

Existe uma relação forte entre as Temperaturas, a Precipitação e a Umidade Relativa quanto a sua variabilidade sazonal e o uso e cobertura de terra em Goiânia. As características decorrentes da urbanização, no centro da cidade, permite que a região se aqueça mais rapidamente e armazene calor. Isto se evidencia pelas maiores amplitudes observadas para as Temperaturas mínimas. Consequentemente, na área central são observados episódios críticos de baixa Umidade Relativa do ar. Contrastando com a baixa umidade ocorrem maiores percentuais de Precipitação, que são rapidamente evaporados e escoados superficialmente, impedindo um resfriamento gradual da atmosfera urbana. A água proveniente da precipitação, em decorrência da alta taxa de impermeabilização do solo urbano em Goiânia (ALVES et. al., 2011) potencializam os efeitos dos alagamentos urbanos e de vetores nocivos à saúde humana. Se considerarmos os efeitos destes elementos climáticos, das características urbanas e da qualidade do ar sobre a saúde, podemos constatar que a sazonalidade climática é um agente significante para o bem estar e qualidade de vida da população.

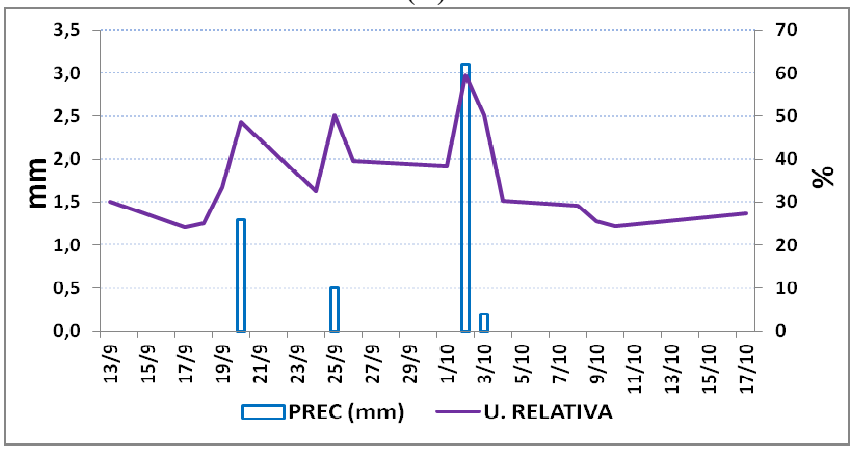
Nas figuras 2 3 estão representadas as concentrações de material particulado em suspensão (MPS) na atmosfera para o Terminal Izidória e Praça do Trabalhador para 16 dias de medidas. Assim como, a relação entre o MPS e as variáveis meteorológicas, Temperatura média, máxima e mínima, umidade relativa, velocidade e direção do vento, para o ano de 2007, compreendendo o período entre Setembro e Outubro. Tal período representa a transição entre época seca e chuvosa. As variáveis meteorológicas originárias da Estação Meteorológicas foram extrapoladas para a região centro-sul da cidade compreendendo os locais de amostragem do material particulado. Tais variáveis meteorológicas representam os valores diários. As temperaturas climatológicas (1975-2009) foram de 26.1^{o}C, 35,2^{o}C e 20,1^{o}C respectivamente média, máxima e mínima. Enquanto as temperaturas diárias foram de 32,6^{o}C, 38,2^{o}C e 31,0^{o}C respectivamente média, máxima e mínima. A Umidade Relativa climatológica variou de 51,2% (Setembro) a 60,8% (Outubro). Observa-se que o MPS está diretamente relacionado com a precipitação. A quantidade de MPS é maior sobre o terminal Izidória.

Para o Terminal Izidória (Figura 1) a concentração de MPS foi de 237,0 µg.m^{-3} em média durante o período. A precipitação máxima foi de 3,1mm no dia 02 de outubro e a partir daí, diminuíram as concentrações e MPS. As temperaturas também acompanharam a disponibilidade de umidade na atmosfera. A velocidade do vento variou de 0,9m.s^{-1} a 2,2 m.s^{-1}. A direção do vento foi de Nordeste.

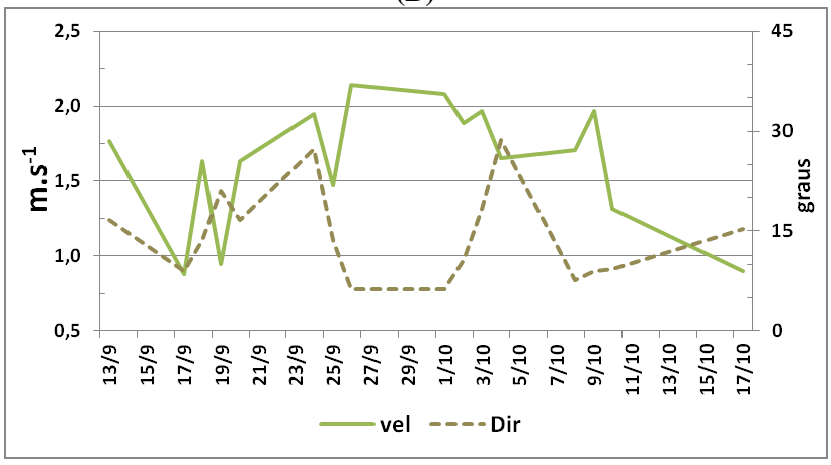
Para a Praça do Trabalhador (Figura 2), a concentração de MPS foi de 103,1µg.m^{-3}. A precipitação ocorrida durante o dia 02 de outubro (3,1mm) também se refletiu sobre a diminuição do MPS, voltando a crescer ao longo do período, sem a presença de precipitação. As temperaturas do ar também acompanharam a presença da precipitação de da umidade relativa do ar. O MPS entre os dias 17 e 19 acompanhou a velocidade do vento de 0,9m.s^{-1} e direção Nordeste.



(A)

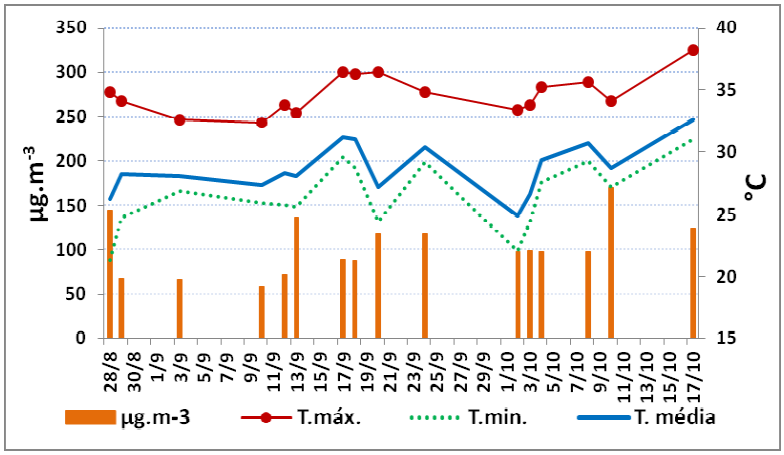


(B)

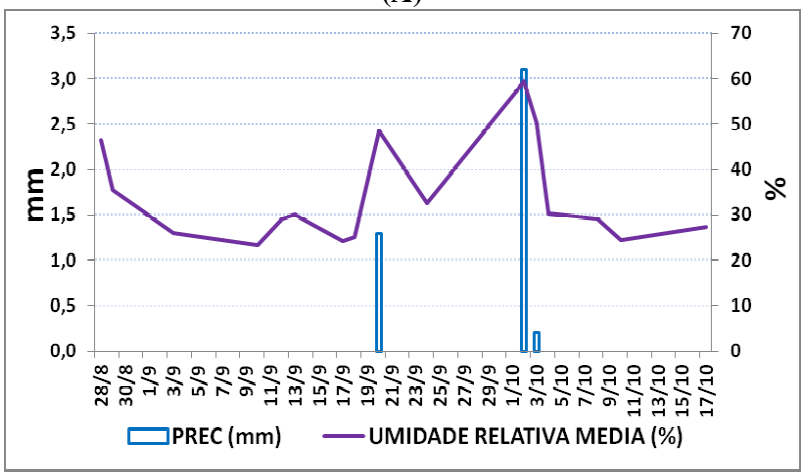


(C)

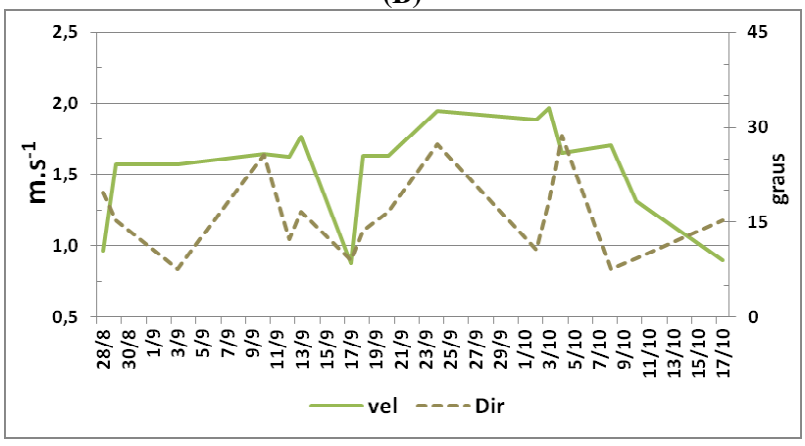
FIGURA 2 - Variação dos elementos de tempo como MPS para o Terminal Izidória (região sul da cidade próximo a conturbação como Aparecida de Goiânia). Temperatura média e umidade relativa do ar (A). Temperaturas máximas e mínimas (B) e Precipitação, velocidade e direção do vento (C). para o ano 2007.



(A)



(B)



(C)

FIGURA 3 - Variação dos elementos de tempo como MPS para a Praça do Trabalhador (região sul da cidade próximo a conturbação como Aparecida de Goiânia). Temperatura média e umidade relativa do ar (A). Temperaturas máximas e mínimas (B) e Precipitação, velocidade e direção do vento (C). para o ano 2007.

Forte intensidade da radiação e céu com nebulosidade do tipo cúmulos convectivos é condições de instabilidade na atmosfera. Tais condições favorecem aos movimentos verticais e horizontais e consequentemente a turbulência. Estes, por sua vez ajudam a dispersão do material particulado. Todavia, o vento é fator determinante para a diluição e dispersão do poluente no ar. Ventos fortes e constantes são determinantes para dissipação no meio urbano. Ventos fracos concentram estes, sobre as cidades. A precipitação é um importante removedor de poluentes no ar urbano. Assim como é um importante indicador da condição de instabilidade da atmosfera. A inserção de umidade condiciona ao padrão de estabilidade pela condição adiabática das moléculas no ambiente. A precipitação é um importante removedor do poluente atmosférico através da deposição úmida. Segundo COSTA (2011), a precipitação chega a remover cerca de 80% do material particulado na atmosfera. Neste estudo, existe uma relação direta entre o material particulado no ar e a precipitação. A época escolhida, início da estação chuvosa mostra que ainda existe uma presença marcante de MPS no ar, indicando que na medida em que o período chuvoso de configura, estes níveis de poluentes diminuirá. Todavia, sem a precipitação, a maior concentração de MPS é maior sobre uma área da densidade caracterizada pelo adensamento populacional, impermeabilização do solo urbano e grande fluxo de veículos. A urbanização também favorece a circulação atmosférica interna urbana, levando poluentes a outras áreas da cidade em que é emissão é mínima. As análises da direção e velocidade do vento não são conclusivas, tendo em vista que elas não condizem com a realidade da rugosidade urbana.

CONCLUSÕES

As análises apontam que o centro densamente urbanizado apresenta temperaturas significativamente maiores que sobre a região suburbana. A região central da cidade se aquece mais rápido e armazena a energia térmica com temperaturas altas e constantes e consequentemente se resfria mais lentamente ao longo do ano. As temperaturas máximas são 2,5^{o}C maiores no centro da cidade. Quanto às temperaturas mínimas, estas decrescem continuamente ao longo das estações na região suburbana em quanto na região central são mais altas e constantes. Considerando-se as temperaturas médias, estas são 2,3 ^{o}C maior no centro da cidade. No bimestre mais quente (Setembro-outubro) é mais elevada e constante (26,0 ^{o}C) no centro da cidade que na região suburbana (23,0 ^{o}C a 24,0 ^{o}C). A região suburbana é 11% mais úmida que o centro da cidade ao longo do ano. No período seco este percentual aumenta para 22,8% e no período das chuvas é de apenas 9,4%. Em média chove 6% mais no centro da cidade. Maio (final das chuvas) e Outubro (início da estação chuvosa) foram os períodos em que a precipitação foi maior na região suburbana. Este contraste de temperatura e umidade favorece a uma circulação interna urbana e condiciona que os poluentes atmosféricos sejam levados a grandes distancias para regiões mais afastadas do centro da cidade, pela advecção. Temperaturas elevadas e céu nublado e ventos calmos facilitam a concentração do poluente na região de emissão e dificultam sua dispersão e potencializam sua transformação em poluentes de fonte secundária. Além dos efeitos sobre a poluição do ar, a região mais densamente urbanizada, a região central da cidade apresenta condições mais extremas de estresse térmico e hídrico, implicando maior desconforto para a população, assim como, maior índice de poluição do ar. Embora tais resultados sejam parciais, estes devem ser correlacionadas às condições de vento e estabilidade da atmosfera urbana.

As particularidades climáticas de Goiânia produzem contrastes térmicos e hídricos que induzem uma circulação local responsável pela dinâmica da origem e dispersão dos poluentes antropogênicos. A região central da cidade se aquece mais rápido e armazena a energia térmica com temperaturas altas e constantes e consequentemente se resfria mais lentamente ao longo do ano. Maio (final das chuvas) e Outubro (início da estação chuvosa) foram os períodos em que a precipitação foi maior na região suburbana, tal fato é um indicador favorável a qualidade do ar.

Desta forma, a região mais densamente urbanizada, a região central da cidade apresenta condições mais extremas de estresse térmico e hídrico, implicando maior desconforto térmico para a população. Aliado ao estresse térmico, dependendo das condições de tempo, pode-se produzir concentrações elevadas de material particulado ou gasoso na atmosfera urbana. Dependendo da circulação do ar, estes poluentes podem ser levados a outras partes da cidade e potencializar efeitos na saúde da população. Todavia, é importante frisar que, mesmo mantidas as emissões, a qualidade do ar pode mudar em função das condições meteorológicas que determinam uma maior ou menor diluição dos poluentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. STULL, R. B. An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988. 666 p.
2. MÖLDERS, N. Land-use and land-cover changes: impact on climate and air quality. Springer. Atmospheric and oceanographic sciences library. 2012, vol. 44. 189p.
3. COSTA, E. C. Caracterização do material particulado inalável na atmosfera e na vegetação urbana da cidade de Goiânia. EEC. UFG. 143p. 2011
4. LANDSBERG, H. E. The urban climate. International Geophysics series. 1981, vol. 28.. 227p..
5. OKE, T. R. Boundary Layer Climates. Second Edition. Routledge London & New York. 435 pp. 1987.